

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Радіотехнічний факультет
Кафедра радіотехнічних систем**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Сергій ЖУК

«__» _____ 2024 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою

«Радіотехнічні комп'ютеризовані системи»

спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

на тему: «Модуль детектування акустичних хвиль»

Виконав:

студент IV курсу, групи РС-01

Мудрий Дмитро Ігорович _____

Керівник:

старший викладач, кандидат технічних наук

Неуймін Олександр Станіславович _____

Рецензент:

старший викладач кафедри ПРЄ

Адаменко Володимир Олексійович _____

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

Студент _____

Київ – 2024 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут/факультет Радіотехнічний факультет
(повна назва)

Кафедра Радіотехнічних пристроїв та систем
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ С. Я. Жук
(підпис) (імя, прізвище)

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Мудрому Дмитру Ігоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту Модуль детектування акустичних хвиль

керівник проєкту Неуймін Олександр Станіславович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «29» травня 2024 р. №2178-с

2. Строк подання студентом проєкту _____

3. Вихідні дані до проєкту:

1. Робоча температура від -40 до + 45°C.
2. Вхідна напруга від 3 до 5 В.
3. Відстань між мікрофонами від 120 мм.
4. Рівень сигнал/шум від 60 дБ.
5. Діапазон частот від 500 Гц до 5 кГц.

4. Зміст пояснювальної записки 1. Аналіз детектування акустичних хвиль. 2. Аналіз пристроїв детектування акустичних хвиль. 3. Структурна схема модуля детектування акустичних хвиль. 4. Вибір компонентної бази. 5.

Схема електрична принципова модуля. 6. Проектування друкованої плати модуля.

5. Перелік графічного матеріалу 1. Структурна схема модуля детектування акустичних хвиль. 2. Електрична принципова схема. 3. Кресленик друкованої плати. 4. Презентація.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання 20.04.2024

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Строк виконання етапів проєкту	Примітка
1	Аналіз детектування акустичних хвиль	20.04.2024	
2	Аналіз пристроїв детектування акустичних хвиль	27.04.2024	
3	Структурна схема модуля детектування акустичних хвиль	01.05.2024	
4	Вибір елементної бази	21.05.2024	
5	Схема електрична принципова модуля	01.06.2024	
6	Проектування друкованої плати модуля	08.06.2024	
7	Оформлення пояснювальної записки	13.06.2024	

Студент _____ Д.І. Мудрий
(підпис) (ініціали, прізвище)

Керівник проєкту _____ О.С. Неуймін
(підпис) (ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Метою проекту є розробка модулю детектування акустичних хвиль для дронів для задачі виявлення FPV дронів.

Проведено аналіз детектування акустичних хвиль та пристроїв, що його використовують. Запропоновано конструкцію на базі STM32F446RETx, який виконує обробку акустичних даних.

За допомогою KiCad EDA створені файли технічного процесу.

Результатом проведеної роботи є документація, що потрібна для виготовлення модулю детектування акустичних хвиль.

Дипломний проєкт включає в себе пояснювальну записку обсягом 61 сторінок, 53 рисунків, 3 креслень, 23 посилань, 8 додатків.

Ключові слова: модуль, MEMS-мікрофон, акустична локалізація, мікроконтролер.

ANNOTATION

The aim of the project is to develop an acoustic wave detection module for drones for FPV drone detection.

The analysis of acoustic wave detection and devices that use it was carried out. A design based on the STM32F446RETx, which processes acoustic data, is proposed.

The technical process files were created using KiCad EDA.

The result of the work is the documentation required for the manufacture of the acoustic wave detection module.

The thesis includes an explanatory note of 61 pages, 53 figures, 3 drawings, 23 references, and 8 appendices.

Keywords: module, MEMS microphone, acoustic localization, microcontroller.

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Модуль детектування акустичних хвиль»**

Київ – 2024 року

ЗМІСТ

Перелік скорочень	8
Вступ.....	9
1. Аналіз детектування акустичних хвиль.....	10
1.1. Аналіз практичних сфер, в яких застосовується детектування акустичних хвиль	10
1.2. Аналіз методів детектування акустичних хвиль	19
2. Аналіз пристроїв детектування акустичних хвиль	23
3. Схема електрична структурна модуля	34
4. Вибір компонентної бази.....	36
5. Схема електрична принципова модуля.....	48
6. Проектування друкованої плати.....	49
Висновки	60
Перелік посилань.....	62
Додаток А. Технічне завдання	66
Додаток Б. Відомість дипломного проекту	67
Додаток В. Схема електрична структурна.....	68
Додаток Г. Схема електрична принципова.....	69
Додаток Д. Плата.....	70
Додаток Е. Складальний кресленик	72
Додаток Є. Специфікація на друкований вузол.....	73
Додаток Ж. Перелік елементів.....	74

					<i>РС-01.468331.001 ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Мудрий Д.І.				Лім.	Лист.	Аркуші
Керівн.	Неуймін О.С.				7		
Н. Контр.					Модуль детектування акустичних хвиль <i>КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. РТПС, Гр. РС-01</i>		
Зав.каф.	Жук С.Я.						

Перелік скорочень.

IoT – Internet of Things

SMT – Surface Mount Technology

SMD – Surface Mounted Device

MEMS - Micro Electronic Mechanical Systems

SWD – Serial Wire Debug

DSP – Digital Signal Processing

SNR – Signal to Noise Ratio

АЦП – Аналого-цифровий перетворювач

ЦАП – Цифро-аналоговий перетворювач

RAM – Random-access memory

SRAM – Static random-access memory

CPU – Central processing unit

FPU – Floating-point unit

SPI – Serial Peripheral Interface

I2S – Inter-IC Sound

IC – Integrated Circuit

UART – Universal asynchronous receiver-transmitter

EEPROM – Electrically erasable programmable read-only memory

ДС – діаграма спрямованості

μP - microprocessor

					<i>PC-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Вступ.

В наш час розвиток бездротових і сенсорних технологій продемонстрував технічну можливість і ефективність використання акустичних хвиль для детектування. За останні десятиліття недорогі аудіо-інфраструктури широко розгорнуті та інтегровані в мобільні пристрої та пристрої Інтернету речей (IoT) для полегшення широкого спектру застосувань, включаючи розпізнавання людської активності, відстеження, локалізацію та моніторинг безпеки. Технологія, що лежить в основі цих додатків, полягає в аналізі властивостей поширення акустичних сигналів. В результаті, ці додатки слугують основою для підтримки різноманітних повсякденних функцій, таких як захист безпеки, інтелектуальна охорона здоров'я та взаємодія інтелектуальних приладів.

Вже існуюча акустична інфраструктура може дозволити створення пристроїв для детектування акустичних хвиль з метою виявлення положення цілі детектування.

Задача створення модулю детектування акустичних хвиль знайшла вирішення у цьому проекті. Задача передбачає розробку модулю, який дозволяє реагувати на акустичні сигнали у повітряному просторі для визначення напрямку на об'єкт детектування.

					<i>РС-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Аналіз детектування акустичних хвиль.

Детектування акустичних хвиль - це процес виявлення, реєстрації та аналізу звукових хвиль або звукових сигналів у середовищі з метою виявлення об'єктів або явищ. Технологія детектування акустичних хвиль базується на принципах фізики звуку та може варіюватись від простих систем до складних алгоритмів обробки сигналів, в залежності від конкретного застосування. Цей процес застосовує спеціалізоване обладнання, таке як мікрофони, гідрофони, акустичні сенсори та датчики, які перетворюють акустичні коливання в електричні сигнали, які потім можуть бути оброблені та проаналізовані.

1.1. Аналіз практичних сфер, в яких використовується детектування акустичних хвиль

Практичні сфери використання детектування акустичних хвиль включають:

Медицина: ультразвукові пристрої використовуються для діагностики, яка дозволяє візуалізувати внутрішні органи та структури тіла. Ультразвук також використовується для знищення каменів у нирках, лікування травм та інших захворювань.

Ультразвукова діагностика: використовує акустичні хвилі для візуалізації внутрішніх органів, тканин та структур. Вона є одним із найбільш поширених методів діагностики в медицині через свою безпечність, неінвазивність та високу роздільну здатність. Дозволяє лікарям отримувати детальні зображення органів, що допомагає в діагностиці різних захворювань та визначенні їхнього стану.

Ультразвукове скринінгове дослідження (УЗД): використовує детектування акустичних хвиль для візуалізації внутрішніх органів та тканин у реальному часі. Цей метод дослідження часто застосовується в медицині

					<i>РС-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

для оцінки розвитку плода під час вагітності, для виявлення різних патологій у вагітних жінок, таких як вроджені вади плода, аномалії розвитку та інші відхилення.



Рисунок 1.1 – Пристрій УЗД

Дослідження серцевого ритму: Акустичні датчики використовуються для моніторингу серцевого ритму та для виявлення аритмій шляхом запису звуків, які генеруються серцем під час його роботи.

Дослідження структури кісток та суглобів: використовує ультразвук для вимірювання щільності кісток, для оцінки структури суглобів, хрящів та зв'язок, для виявлення переломів та оцінки їхнього розміру та ступеня видалення, для виявлення різниці в рості кісток у дітей та моніторингу їхнього розвитку.

Промисловість: акустичні хвилі використовуються для неруйнівного контролю якості матеріалів, виявлення дефектів у металах та інших матеріалах, а також для моніторингу стану обладнання та інфраструктури.

Ультразвуковий контроль дефектів матеріалів: потужний і широко використовуваний метод для виявлення внутрішніх дефектів у різних матеріалах. Ультразвукові хвилі можуть проникати через матеріали для виявлення внутрішніх дефектів, таких як тріщини, пухирі, включення

					<i>PC-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

чужорідних матеріалів або нерівність структури. Цей метод використовується в аерокосмічній, автомобільній, металургійній та інших галузях для контролю якості матеріалів.



Рисунок 1.2 – Детектор дефектів

Ультразвуковий контроль зварних з'єднань: використовується для виявлення дефектів в зварних з'єднаннях, таких як тріщини, пухирі та неспрямованість шва, для оцінки розмірів та глибини дефектів, для контролю якості зварного шва, для моніторингу процесу зварювання, для випробування зварних з'єднань після завершення робіт.

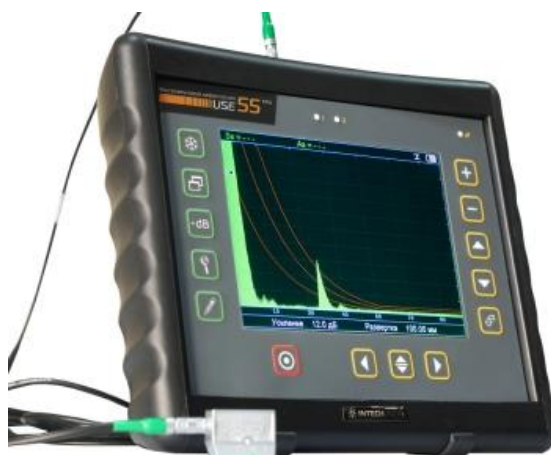


Рисунок 1.3 – Пристрій контролю зварних з'єднань

									Арк.
									12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>РС-01.468331.001 ПЗ</i>				

Дослідження процесів руйнування матеріалів: використовується для дослідження процесів руйнування матеріалів під впливом механічних чи теплових навантажень, для вимірювання швидкості поширення акустичних хвиль, що дозволяє визначити механічні властивості вимірюваних матеріалів, для моніторингу руйнування під час навантаження, для виявлення структурних змін у матеріалах, для акустичної емісії під час руйнування. У цілому, детектування акустичних хвиль використовується для розуміння механізмів руйнування матеріалів, виявлення дефектів та вивчення їх механічних властивостей. Це дозволяє покращити якість матеріалів, розробляти нові матеріали та забезпечувати безпеку в експлуатації конструкцій.

Археологія: акустичні методи допомагають в археологічних дослідженнях для виявлення структур та артефактів без їхнього руйнування.

Дослідження підземних структур: детектування акустичних хвиль виявляється дуже корисним у дослідженні підземних структур, де інші методи можуть бути обмеженими або неможливими. Ультразвукові хвилі можуть проникати через ґрунт та інші матеріали, що покривають археологічні рештки, дозволяючи археологам неінвазивно досліджувати підземні структури, такі як фундаменти будівель, підземні проходи, скрині та інші артефакти, виявляти порожнини та тунелі, моніторити руйнування або пошкоджень підземних структур, вивчати геологічні утворення.

Виявлення закопаних об'єктів: надзвичайно корисне у виявленні закопаних об'єктів, які можуть бути археологічними артефактами, залишками споруд або навіть підземними інженерними спорудами, без необхідності їх розкопок, що дозволяє зберегти цінні археологічні об'єкти та запобігти можливому їх пошкодженню. Здійснюється за допомогою георадарів та сейсмічних датчиків і акустичної емісії.

					<i>РС-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Дослідження структури матеріалів: використовується для вивчення структури матеріалів археологічних об'єктів, таких як камінь, кераміка, скло і т.д., що допомагає визначити їх склад, структуру та історію виготовлення, для виявлення внутрішніх дефектів, для вивчення консерваційного стану, що дозволяє визначити, наскільки добре матеріали збереглися та які додаткові заходи можуть бути необхідними для їх збереження, для дослідження технологій виготовлення цих об'єктів. Всі ці застосування детектування акустичних хвиль допомагають археологам отримувати інформацію про матеріали археологічних об'єктів та їх структуру, що важливо для розуміння історії та культурного контексту цих об'єктів.



Рисунок 1.4 – Ультразвукове дослідження структури археологічного об'єкту

Безпека: акустичні системи спостереження використовуються для виявлення звукових сигналів, що можуть вказувати на небезпеку або злочин.

Детектування специфічних звуків: використовується для виявлення незвичайних звуків або подій, таких як вибухи, стрілянина, пожежі, що допомагає оперативно реагувати на небезпеку та забезпечувати безпеку на

					<i>РС-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

публічних місцях, включаючи аеропорти, торгові центри, вокзали та інші об'єкти.



Рисунок 1.5 – Звуковий замок, що детектує звук розбитого скла

Моніторинг та контроль дорожнього руху: акустичні сенсори можуть використовуватися для виявлення звуків дорожнього руху, таких як аварії, шум від шин, гальмування тощо, що дозволяє оперативно реагувати на аварійні ситуації, для моніторингу швидкості та руху транспортних засобів, для моніторингу дорожньої інфраструктури, що допомагає виявляти пошкодження дороги, для контролю дотримання правил дорожнього руху.

Геологія та нафтова промисловість: використовується для пошуку нафти та газу, оцінки їхніх запасів та моніторингу процесів видобутку.

Сейсмічні дослідження: в геологічних дослідженнях акустичні хвилі використовуються для створення ґрунтового профілю та виявлення родовищ нафти, газу та інших корисних копалин. Сейсмічні вібраційні дослідження відправляють акустичні хвилі в ґрунт та реєструють їх відбиття від різних геологічних формацій. Аналіз цих відбиттів дозволяє геологам розуміти геологічну будову підземних структур та визначати наявність корисних ресурсів.

					<i>РС-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

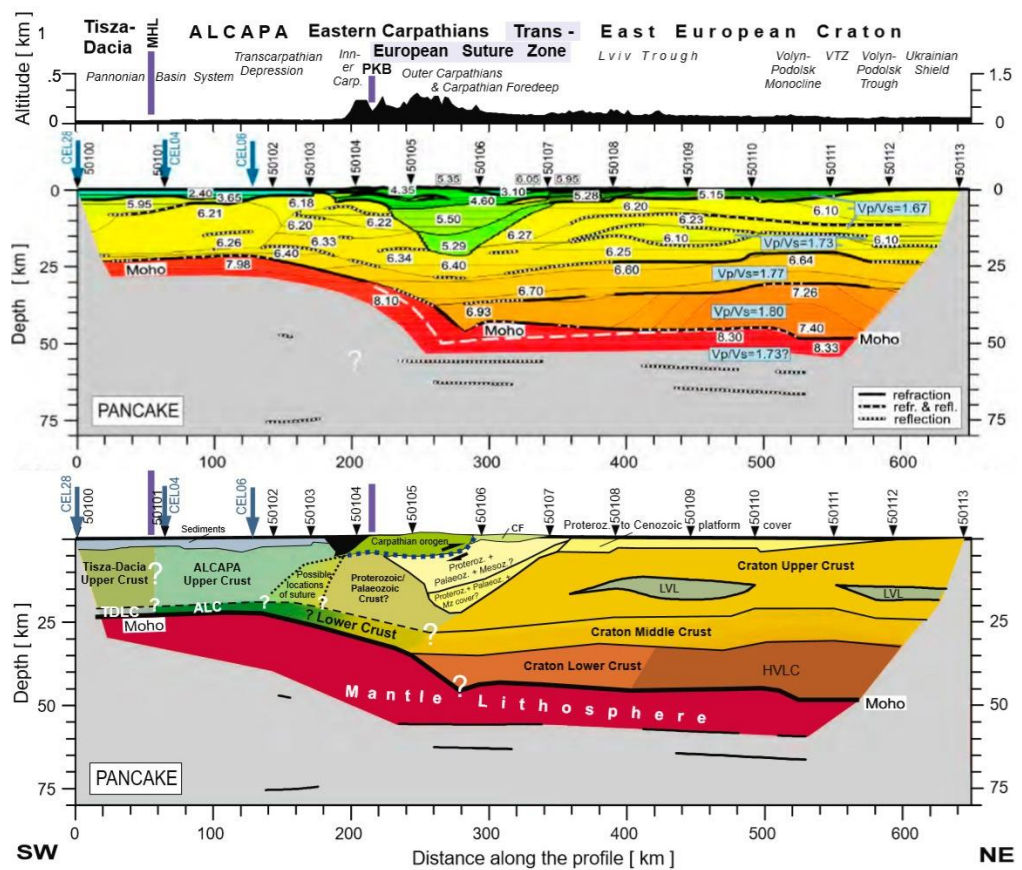


Рисунок 1.6 – Сейсмічні дослідження східно-європейського регіону

Музика та розваги: використання акустичних хвиль у звукозаписі, виступах в живому виконанні, акустичному дизайні для кіно та ігор.

Запис звуку: в аудіоіндустрії мікрофони використовуються для запису акустичних хвиль, які потім можуть бути оброблені та відтворені через акустичні системи. Це може бути студійний запис музики, озвучення фільмів, телевізійних програм, аудіокниг, аудіогайдів, ігор тощо.

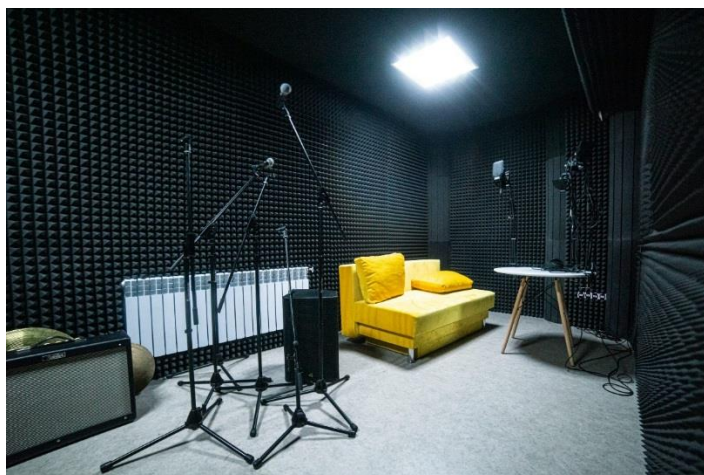


Рисунок 1.7 – Студія звукозапису

Екологія: методи акустичного моніторингу використовуються для вивчення звукового середовища в морських, лісових та інших природних середовищах, а також для виявлення та вивчення звукових сигналів тварин.

Моніторинг біорізноманіття: звуки природи можуть бути використані для оцінки різноманітності та активності тваринного світу в різних екосистемах. Експерти аналізують акустичні записи, щоб визначити видовий склад, густоту та поведінку різних видів тварин, що дозволяє вивчити стан біорізноманіття та екологічних систем.

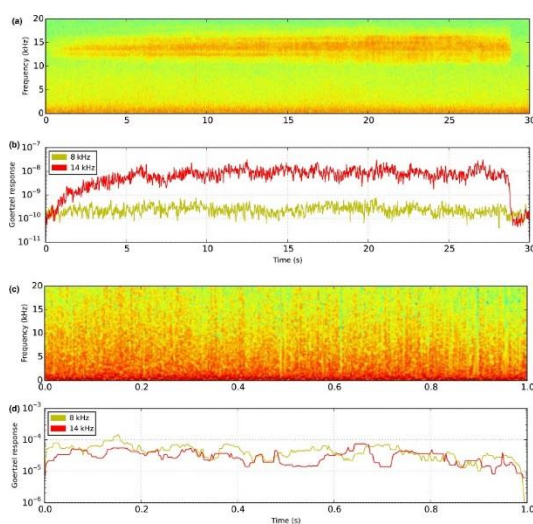


Рисунок 1.8 – Спектрограма та реакція фільтра Гертцеля, використані для класифікації пісні цикади

Виявлення змін в середовищі: звукові пейзажі можуть служити індикаторами змін у середовищі. Наприклад, зміни в активності птахів, звуках річкового потоку або шумі лісу можуть вказувати на зміни в кліматі, втрату біорізноманіття або вплив людської діяльності на природне середовище.

Моніторинг звукового забруднення: детектування акустичних хвиль допомагає визначати рівень шумового забруднення в природних, руральних та урбаністичних областях. Це дозволяє виявляти джерела забруднення та вплив шуму на екосистеми та здоров'я людей та тварин.

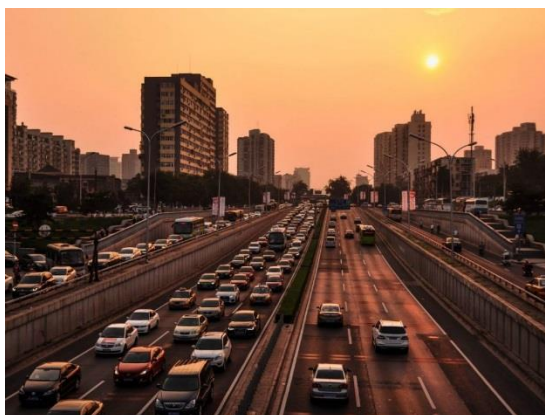


Рисунок 1.9 – Автомагістраль. Один з найбільших чинників звукового забруднення

Дослідження впливу людської діяльності на середовище: акустичний моніторинг може допомогти вивчити вплив людської діяльності на природне середовище. Записи шуму від доріг, промислових об'єктів, літаків та інших джерел дозволяють визначити рівень забруднення та його вплив на тваринний світ та екосистеми.

Детектування акустичних хвиль виявляється досить поширеним методом дослідження навколишнього середовища, інструментом захисту здоров'я, криптографії та безпеки, який активно використовується, як вирішення маси задач та проблем, які виникають у різних практичних сферах на повсякденній основі.

					<i>РС-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Практична сфера безпеки є найближчою до теми модулю детектування акустичних хвиль, оскільки у сфері безпеки для виявлення небезпечних звуків або подій, таких як вибухи, стрілянина, пожежі, є необхідним технології, що можуть надати можливість детектувати специфічні звуки, що є задачею модулю, що розробляється у представленому дипломному проекті.

1.2. Аналіз методів детектування акустичних хвиль.

Методи детектування акустичних хвиль можуть варіюватися в залежності від джерела звуку, середовища передачі та специфічної задачі вимірювання чи аналізу. Для створення модуля детектування акустичних хвиль потрібен метод, який дозволить модулю виявляти напрямок на об'єкт у повітряном просторі. Це можна зробити за допомогою методу триангуляції, використання доплерівського ефекту, напрямлених мікрофонів та акустичної локалізації.

Визначення напрямку на об'єкт за допомогою триангуляції з використанням акустичних хвиль базується на вимірюванні часу приходу звукових хвиль до кількох мікрофонів, розташованих на відомих відстанях один від одного.

Коли сигнал надходить на мікрофони, обчислюється різниця між часом приходу. Використовуючи різниці у часі приходу, складіть систему рівнянь, що описують геометричні взаємозв'язки між мікрофонами та джерелом звуку. Для прикладу з трьома мікрофонами (M1, M2, M3) з координатами (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) і джерелом звуку (x, y) маємо формули 1 та 2:

$$\sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} - \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2} = c \cdot \Delta T_{12} \quad (1)$$

$$\sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} - \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2} = c \cdot \Delta T_{13} \quad (2)$$

					<i>РС-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

де ΔT_{12} - різниця між прибуттям сигналу на М1 та М2, ΔT_{13} - різниця між прибуттям сигналу на М1 та М3 та c – швидкість звуку у повітрі (343 м/с).

Далі виконується розв'язок рівняння за допомогою чисельних методів або алгоритмів оптимізації, таких як метод найменших квадратів.

Напрямок на об'єкт визначається за допомогою формули 3, використовуючи значення, після розв'язання рівняння.

$$\theta = \arctan\left(\frac{y-y_1}{x-x_1}\right) \quad (3)$$

Визначення напрямку на об'єкт за допомогою доплерівського ефекту вимагає вимірювання змін частоти звукових хвиль, які надходять від об'єкта.

Доплерівський ефект полягає у зміні частоти звукових хвиль через відносний рух джерела звуку та приймача. Якщо об'єкт наближається до приймача, частота звуку збільшується; якщо віддаляється — зменшується.

Приймач приймає сигнал зі зміненою частотою та вираховує різницю від відомої частоти джерела звуку.

Відносна швидкість об'єкта вздовж лінії, що з'єднує джерело звуку і приймач, розраховується за формулою 4.

$$\Delta f = \frac{v}{c} f_0 \quad (4)$$

де v – відносна швидкість c — швидкість звуку в повітрі, f_0 — відома частота джерела звуку, Δf - різниця виміряної частоти від відомої.

Для визначення напрямку руху можна використати кілька приймачів, розташованих на відомих відстанях один від одного, і виміряти доплерівське зміщення на кожному з них. Різниця в доплерівських зсувах дозволяє обчислити кут напрямку.

					<i>РС-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

У випадку, коли використовуються 2 приймачі, напрямок визначається за формулою 5.

$$\theta = \arctan \left(\frac{v_2}{v_1} \right) \quad (5)$$

де v_1 та v_2 – відносні швидкості, розраховані для кожного з двох приймачів.

Метод використання направлених мікрофонів є дуже простим у застосуванні. Застосовуються направлені мікрофони для визначення напрямку на ціль у такий спосіб, що якщо з напрямку, на який направлений мікрофон, надходить сигнал, то об'єкт знаходиться в напрямку направлення мікрофона.

Для втілення цього методу є сенс використовувати набір з мікрофонів для збільшення зони виявлення.

Акустична локалізація - це процес визначення місця розташування джерела звуку у просторі на основі аналізу звукових сигналів, які отримуються від різних датчиків або мікрофонів.

Вона здійснюється за рахунок збирання акустичних даних, які включають звукові сигнали, що надходять від джерела звуку, на різних датчиках або мікрофонах, розташованих у просторі, та програмної обробки цих даних. Ці дані можуть бути записані або оброблятися в реальному часі. Для знаходження місцеположення вимірюється часова різниця між прибуттям звукових сигналів до різних датчиків. На основі вимірюваних часових різниць прибуття сигналів та відомого часу поширення звуку у середовищі можна визначити відстань між джерелом звуку і кожним датчиком. Для цього застосовується техніка кутового методу визначення координат для визначення місця розташування джерела звуку у просторі, що відповідає формулі 6.

					<i>РС-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

$$\Delta t = \frac{x \cos \theta}{c} \quad (6)$$

де Δt — різниця в часі, x — відстань між мікрофонами, θ — кут між основою положення мікрофонів та джерелом звуку, c — швидкість звуку (343 м/с)

На основі вимірюваних відстаней між джерелом звуку і кожним датчиком та їх геометричних параметрів обчислюється напрямок на місце розташування джерела звуку.

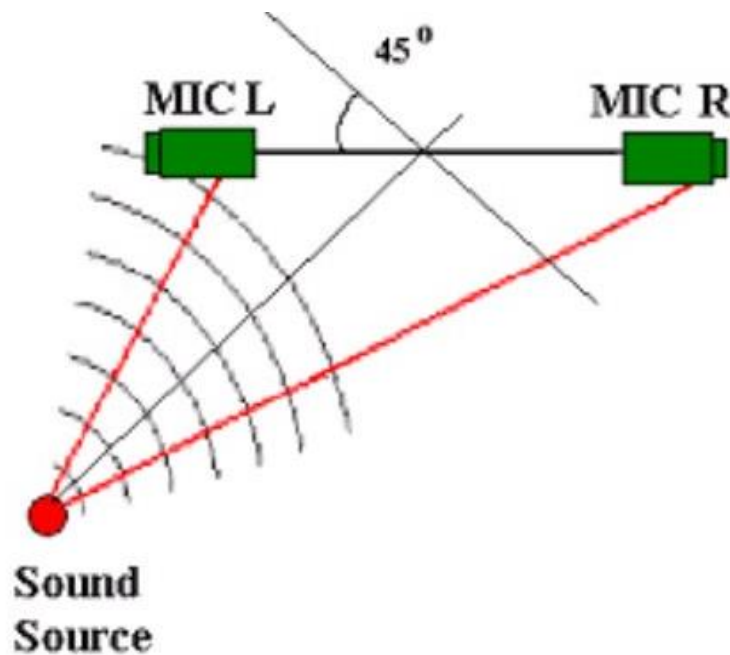


Рисунок 1.10 – Демонстрація методу акустичної локалізації

Виявляється, що розрізняють досить велику кількість методів детектування акустичних хвиль, адже загалом вони варіюються на основі мети його застосування або використовуваної технології, за допомогою якої воно здійснюється. Оскільки застосування детектування акустичних хвиль є поширеним у різних практичних сферах, методів існує дуже багато.

На основі згаданих методів для виконання задачі створення модулю детектування акустичних хвиль краще за все підходить метод акустичної локалізації. Техніка кутового методу є дуже простою у реалізації на відміну від триангуляції, відповідно, не потребує великої кількості складних

					<i>РС-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

обчислень, і має не гіршу точність. Метод використання доплерівського ефекту, хоч і дозволяє вимірювати відносну швидкість наближення до об'єкта, але не є досить точним. А метод використання напрямлених мікрофонів, окрім того, що має високу вартість через кількість дорогого обладнання (направлені мікрофони є дорожчими за звичайні), що він потребує для свого втілення, є досить немобільним. Також в умовах експлуатації модулю обладнання, що потребує цей метод буде часто ламатись та зношуватись.

Отже, для задачі створення модулю детектування акустичних хвиль буде використовуватись метод акустичної локалізації через високу точність, легкість реалізації та меншу вартість.

2. Аналіз пристроїв детектування акустичних хвиль.

Існує безліч пристроїв детектування акустичних хвиль. Вони включають усілякі гідрофони, сейсмографи, сонометри, п'єзоелектричні перетворювачі і т.д. Для задачі детектування акустичних хвиль у повітряному середовищі краще за все підходять мікрофони, враховуючи сутність їх застосування.

Аналіз мікрофонів охоплює різні аспекти їхньої роботи, конструкції та застосування. Мікрофони є перетворювачами, що перетворюють звукові хвилі в електричні сигнали. У загальному випадку мікрофони перетворюють звукові хвилі на електричні сигнали, шляхом реакції вібруючої частини мікрофона на акустичні хвилі. Акустичні хвилі, потрапляючи на вібруючу частину, змушують її коливатися відповідно до амплітуди та частоти звуку, що зумовлює зміну напруги, що відображається як електричний сигнал на виході мікрофону. Склад вібруючої частини та ефект, що використовується для генерації вихідного сигналу, залежать від використовуваної технології.

Мікрофони мають свої характеристики, по яким обирається той, що відповідає необхідності у застосуванні:

					<i>РС-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

1. Чутливість – відображає, наскільки добре мікрофон перетворює звукові хвилі в електричний сигнал.

2. Частотний діапазон – діапазон частот, який мікрофон може сприймати.

3. Діаграма спрямованості – визначає, як мікрофон сприймає звук з різних напрямків (кардіоїдна, всеспрямована, суперкардіоїдна тощо).

4. Імпеданс – електричний опір мікрофона, що впливає на сумісність з іншими пристроями.

5. Рівень шуму – кількість власного шуму, що генерується мікрофоном.

6. Динамічний діапазон – діапазон між найменшою та найбільшою гучністю, яку може зафіксувати мікрофон.

Розрізняють 6 видів мікрофонів:

1. Динамічні мікрофони
2. Конденсаторні мікрофони
3. П'єзоелектричні мікрофони
4. Електретні мікрофони
5. Лавальєрні мікрофони
6. Направлені мікрофони

Основними з них є динамічні та конденсаторні.

Динамічні мікрофони використовують діафрагму, що є тонкою, гнучкою і чутливою пластинкою, яка реагує на звуковий тиск, як вібруючу частину, яка з'єднана з легкою котушкою індуктивності, що поміщена в сильне магнітне поле, створюване постійним магнітом, яка, рухаючись за рахунок коливання діафрагми, викликає індукцію електричного струму, що зумовлює зміну напруги.

					<i>РС-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

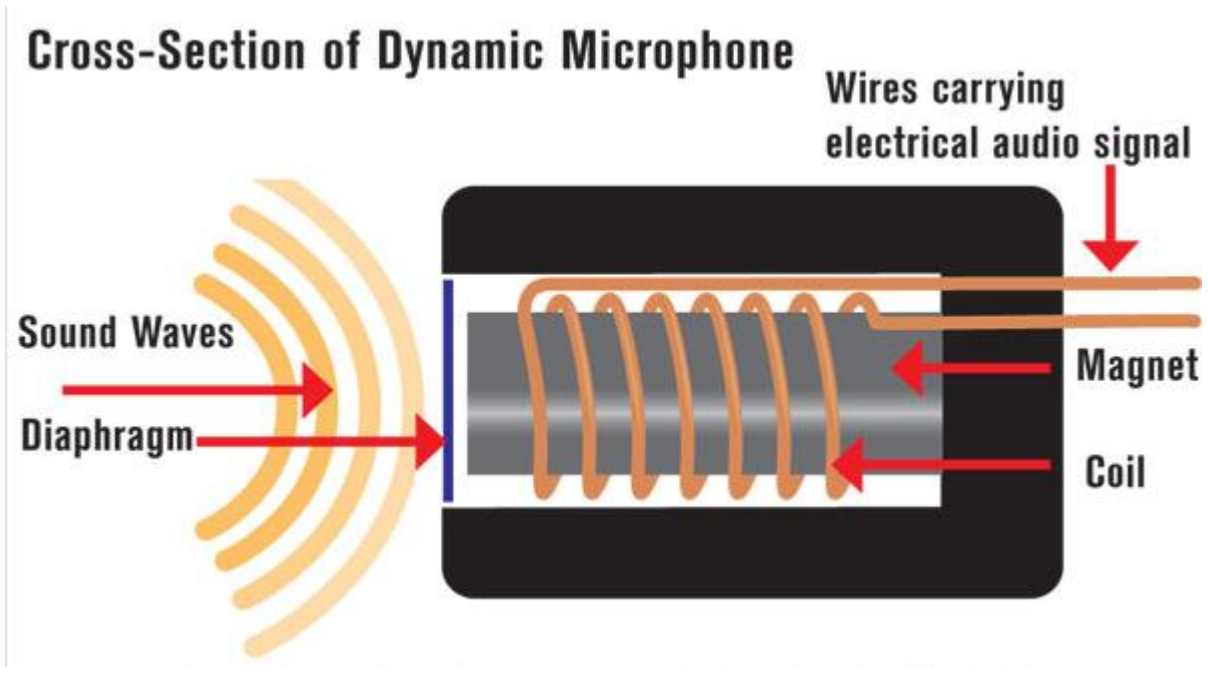


Рисунок 2.1 – Схема динамічного мікрофона

Конденсаторні мікрофони, на відміну від динамічних, мають діафрагму, що з'єднана з пластиною. Діафрагма вібрує під дією звукових хвиль, змінюючи відстань між двома пластинами і, відповідно, змінюючи ємність. Зокрема, коли пластини знаходяться ближче одна до одної, ємність збільшується і виникає струм заряду. Коли пластини віддалені одна від одної, ємність зменшується і виникає струм розряду.

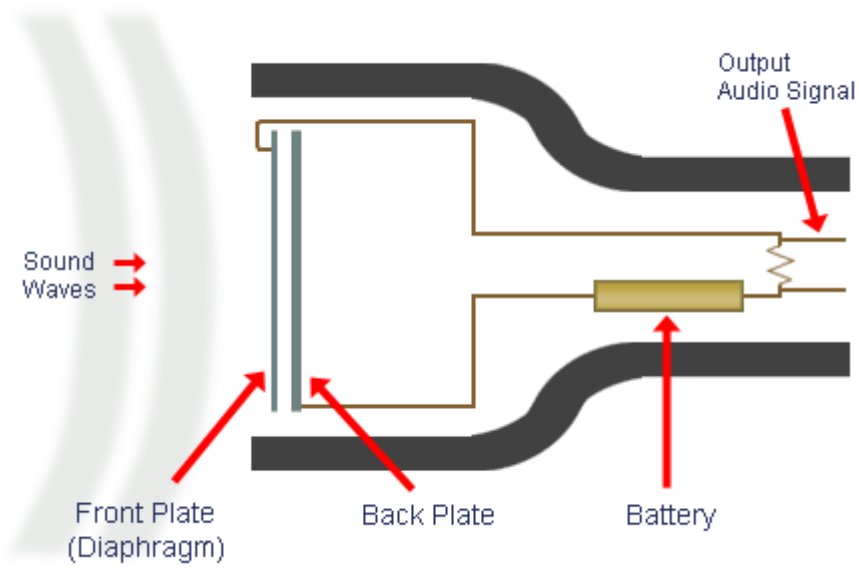
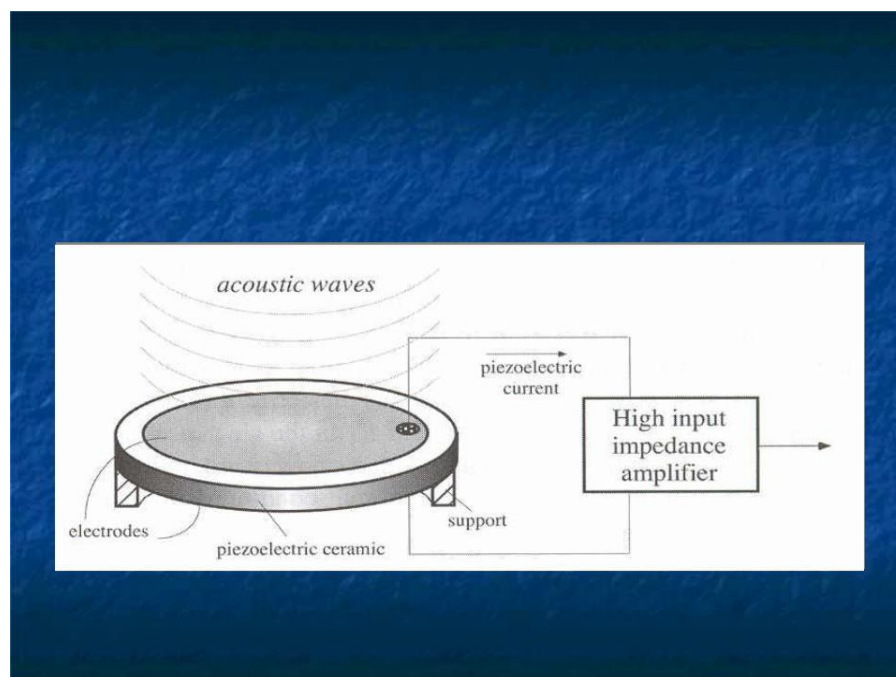


Рисунок 2.2 – Схема конденсаторного мікрофона

Різниця у застосуванні між динамічними і конденсаторними мікрофонами стоїть у тому, що динамічні мікрофони обираються тоді, коли є пріоритетом надійність та довговічність записуючого пристрою, відсутність зовнішнього живлення, міцність та стійкість до фізичних пошкоджень і низька вартість, а конденсаторні – коли потрібні висока чутливість та точність передачі звуку, широкий частотний діапазон та здатність фіксувати дрібні нюанси звуку. Тобто динамічні мікрфони краще підходять, наприклад, для масових заходів, як концерти та ярмарки, а конденсаторні мікрофони – у студіях звукозапису та усіляких подкастах.

П'єзоелектричні мікрофони використовують п'єзоелектричний ефект, де звукові коливання створюють електричний сигнал внаслідок деформації кристалічної структури. Мають дуже високу чутливість та широкий частотний діапазон. Часто використовуються для вимірювання звуку, записів високочастотних інструментів, таких як фортепіано, акустична гітара, а також для застосувань в гальмівних системах та інших вимірюваннях.



Рисунко 2.3 – Схема п'єзоелектричного мікрофона

Переваги:

- Стійкі до вібрацій та механічних пошкоджень.
- Використовуються у специфічних застосуваннях, таких як акустичні інструменти та телекомунікації.

Недоліки:

- Обмежений частотний діапазон.
- Менша точність у порівнянні з конденсаторними мікрофонами.

Електретні мікрофони працюють завдяки парі тонких електростатично заряджених мембран. Коли звукові хвилі наближають ці мембрани одну до іншої, крихітний транзистор у мікрофоні підсилює коливання електричного потенціалу. Зазвичай використовуються у друкованих платах.

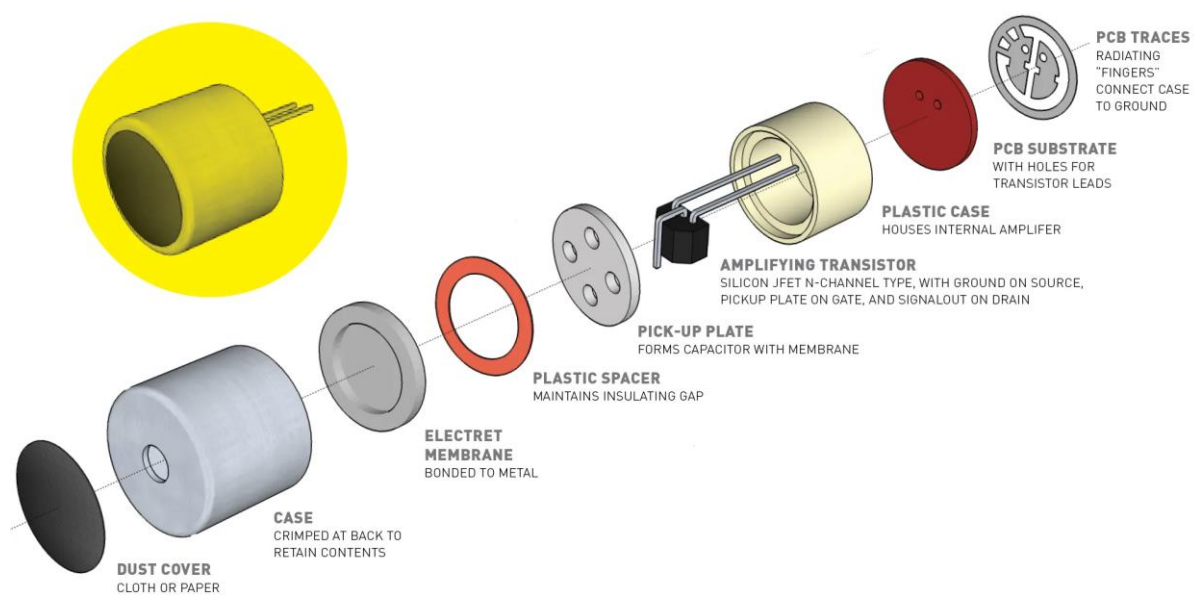


Рисунок 2.4 – Схема електретного мікрофона

Переваги: Компактність, не потребують постійного зовнішнього живлення.

Недоліки: Чутливість до температурних змін, обмежений частотний діапазон.

					<i>PC-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Лавальєрні мікрофони - це невеликі мікрофони, які використовуються для телебачення, театру та публічних виступів, щоб забезпечити роботу без допомоги рук. Найчастіше вони забезпечені невеликими затискачами для кріплення до комірця, краватки або іншого одягу. Шнур може бути прихований під одягом і підведений до радіочастотного передавача в кишені або на поясі, або безпосередньо до мікшера чи записуючого пристрою.



Рисунок 2.5 – Лавальєрний мікрофон

Часто постачаються з насадками різної довжини, які забезпечують м'яке високочастотне підсилення. Вважається, що пік приблизно 6 дБ на частоті 6-8 кГц є корисним для компенсації втрати чіткості при встановленні на грудях, так само як і пік у кілька децибел на частоті 10-15 кГц при встановленні у волосся над чолом.

Переваги: Компактність, зручність використання, свобода рухів для користувача.

Недоліки: Обмежена якість звуку, залежність від розташування на одязі.

					<i>PC-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Направлені мікрофони призначені для захоплення звуку з торця і відсікання звуку з боків. Зазвичай мають суперкардіоїдну полярну ДС, що означає, що вони трохи більш спрямовані, ніж звичайні мікрофони, і мають невелику пелюстку ззаду на відміну від кардіодної ДС.

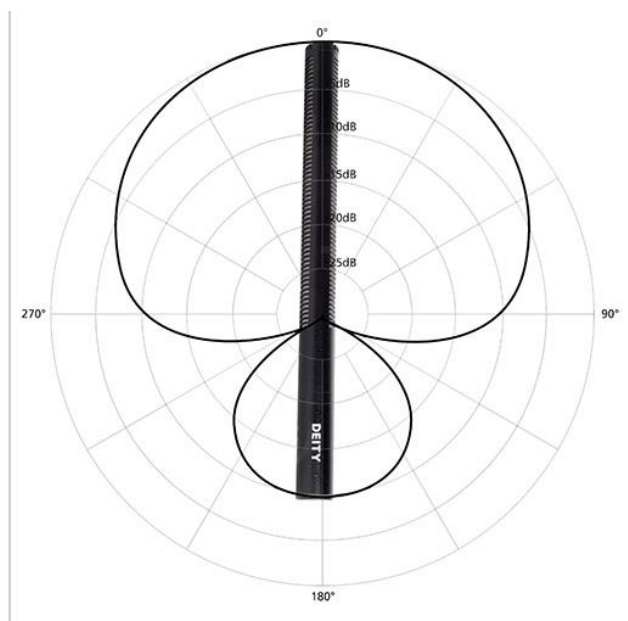


Рисунок 2.6 – Суперкардіодна полярна діаграма направленого мікрофона

Завдяки інтерференційній трубці направлений мікрофон здатний відкидати звуки з боків навіть краще, ніж проста суперкардіоїдна діаграма спрямованості. Інтерференційна трубка розміщується в передній частині капсули мікрофона, що створює єдиний прямий шлях від кінця трубки до капсули.

Однак будь-які звуки, що виходять з боків мікрофона, повинні будуть проходити через щілини вздовж інтерференційної трубки, щоб досягти мікрофонної капсули. Таким чином, звук збоку буде проходити різними шляхами до капсуля мікрофона, і кожен шлях буде мати різну відстань.



Рисунок 2.7 – Інтерференційна трубка

Переваги: Ідеальні для зйомок на відкритому повітрі, інтерв'ю на відстані, мінімізація небажаних звуків.

Недоліки: Потребують точного спрямування, можуть бути громіздкими.

Також існують різні типи мікрофонів, які загалом розрізняються за використовуваною технологією та потреб у застосуванні:

1. Універсальні мікрофони
2. Спеціалізовані мікрофони (наприклад, для запису інструментів, вокалу тощо)
3. Бездротові мікрофони
4. USB мікрофони

Універсальні мікрофони використовуються в різних умовах для запису зазвичай буденних речей, які не потребують спеціалізованого обладнання. Часто мають регульовані характеристики.

					<i>PC-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.8 - Shure SM58

Спеціалізовані мікрофони призначені для конкретних цілей, наприклад, запис певних інструментів або вокалу.



Рисунок 2.9 - Sennheiser MD421, використовуються при записі барабанів

Бездротові мікрофони передають аудіосигнал без використання кабелів, за допомогою радіохвиль або Bluetooth.

					<i>PC-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31



Рисунок 2.10 – Sennheiser EW 100 G4

USB мікрофони підключаються безпосередньо до комп'ютера через USB-порт, що спрощує процес запису.



Рисунок 2.11 – Audio-Technica AT2020USB+

При проектуванні друкованих плат важливо вибрати мікрофони, які відповідають вимогам щодо компактності, чутливості, частотного діапазону та надійності. Для цього найкраще підходять електретні конденсаторні мікрофони та MEMS мікрофони. Вибір конкретного типу залежить від вимог до розмірів, чутливості, частотного діапазону, умов експлуатації та бюджету.

Електретні конденсаторні мікрофони використовуються завдяки своїй компактності, високій чутливості та відносно низькій вартості у мобільних телефонах, ноутбуках, аудіо пристроях, побутовій електроніці.



Рисунок 2.12 – Knowles EK-23132

MEMS-мікрофони засновані на мікроелектромеханічних системах, де мікромеханічні структури коливаються під впливом звукових хвиль, змінюючи електричні характеристики сенсора. Вони є дуже компактними і можуть бути легко інтегровані в друковані плати за допомогою стандартних методів поверхневого монтажу (SMT).

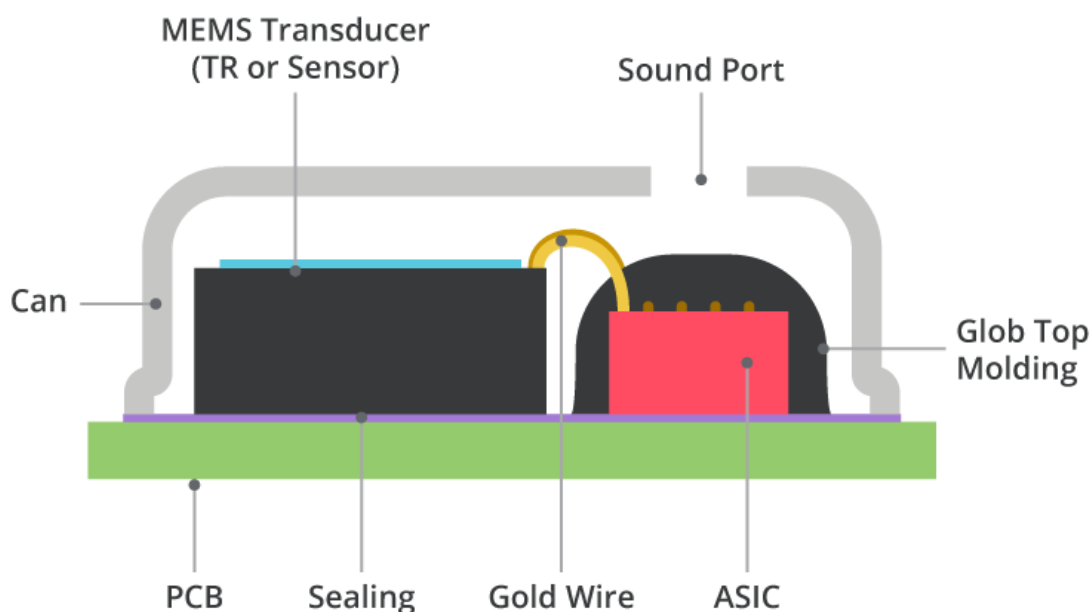


Рисунок 2.13 – Будова MEMS-мікрофона

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Рисунок 2.14 – Analog Devices ADMP401

Використання вказаних мікрофонів на друкованих платах залежить від вимог проекту. Електретні конденсаторні мікрофони мають переваги компактності і легкості інтеграції, високу чутливість і широкий частотний діапазон та відносно низьку вартість. MEMS мікрофони ж дуже компактні та легко інтегруються в сучасні пристрої, мають високу стійкість до механічних ударів і вібрацій та мають можливість поверхневого монтаж, що спрощує виробничий процес

Для розробки модулю детектування акустичних хвиль краще за все підходять MEMS-мікрофони через їх компактність та міцність. Оскільки розміри модулю досить невеликі та виготовляється він спеціально для дрона, що означає потребу у витривалості до ушкоджень, вказані характеристики відповідають потребам для втілення проекту.

3. Схема електрична структурна модуля.

Структурно модуль детектування акустичних хвиль виглядає, як показано на рисунку 3.

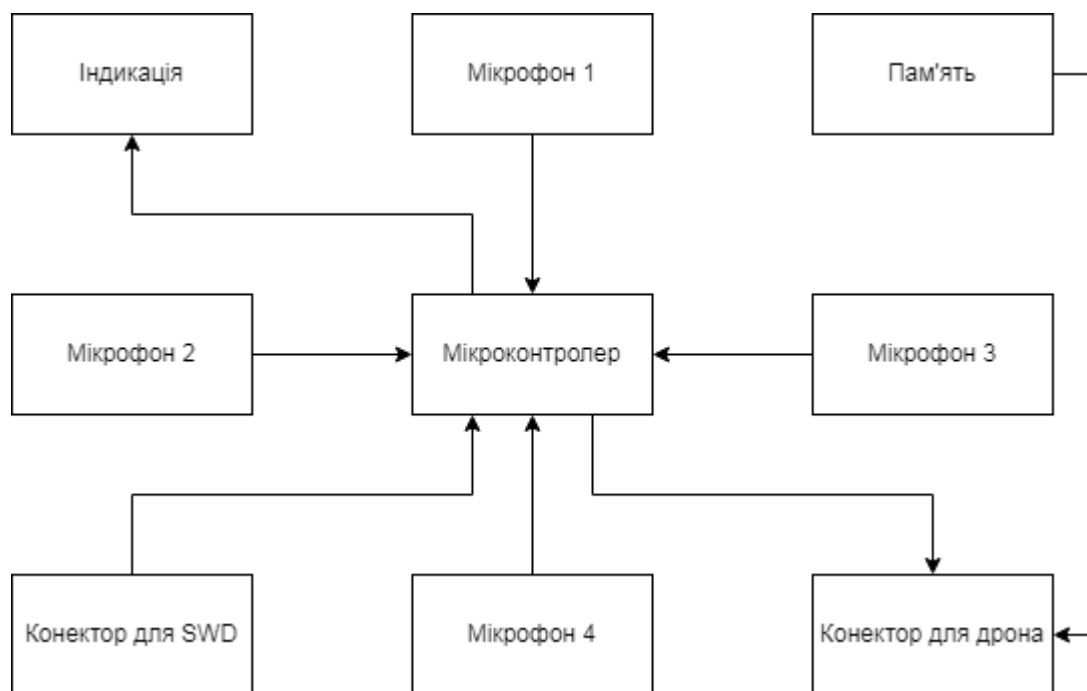


Рисунок 3 – Структурна схема модулю детектування акустичних хвиль

Модуль підключається до дрона через конектор. Енергоспоживчі елементи живляться через конектор від аккумулятора дрона. Мікрофони виявляють акустичні хвилі, що поширюються у навколишньому середовищі, та передають інформацію про прийняті сигнали на мікроконтролер. Мікроконтролер обробляє отримані дані та на основі оброблених даних передає на пристрій керування дроном команди щодо зміни курсу або висоти для наближення до цілі через конектор.

Для визначення зміни курсу та висоти для наближення до цілі використовується набір мікрофонів з 4 штук. Призначення мікрофона 2 та мікрофона 3 – це перевірка правильності напрямку на ціль, а мікрофона 1 та мікрофона 4 – перевірка необхідності змінювати висоту для наближення до цілі.

Конектор для SWD призначений для підключення пристроїв програмування та налагодження мікроконтролера до плати для подальшого налагодження.

Блок індикації складається із світлодіодів, що знаходяться поряд з мікрофонами, для індикації поточного напрямку на ціль.

Блок пам'яті призначений для ідентифікації модулю. Він зберігає серійний номер друкованої плати.

4. Вибір компонентної бази.

Мікроконтролер

Для обробки даних, що надходять з мікрофонів, в модуль повинен бути інтегрований мікроконтролер. Для цього потрібен мікроконтролер, який буде мати можливість працювати з аудіо даними, тобто мати потрібний інтерфейс.

У проекті розглядаються 4 мікроконтролери, що мають інтерфейс для роботи з аудіо даними.

- STM32F446RETx – відмінний вибір для багатфункціональних аудіо додатків завдяки своїй продуктивності, великому обсягу пам'яті та широкому набору периферійних інтерфейсів.

- ESP32 – ідеально підходить для бездротових аудіо додатків завдяки вбудованому Wi-Fi та Bluetooth, проте має дещо вищий рівень енергоспоживання.

- SAM E70 – забезпечує найвищу продуктивність і підходить для дуже вимогливих додатків, але має вищу вартість.

- TMS320C5515 – найкраще підходить для спеціалізованих аудіо та відео додатків завдяки своїм DSP можливостям, але менш універсальний.

Таблиця порівняння характеристик наведених мікроконтролерів наведена в таблиці 1.

					<i>PC-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Таблиця 1. Порівняння характеристик мікроконтролерів

Характеристика	STM32F446RETx	ESP32	SAM E70	TMS320C5515
Архітектура	ARM Cortex-M4	Xtensa LX6 (2 ядра)	ARM Cortex-M7	TMS320C55x DSP
Тактова частота	До 180 МГц	До 240 МГц	До 300 МГц	До 120 МГц
ОЗП (RAM)	128 КБ	520 КБ	384 КБ	320 КБ
ПЗП (Flash)	512 КБ	448 КБ	До 2 МБ	128 КБ
АЦП	3 × 12-бітні, до 2.4 Мса/с	18 × 12-бітні	16 × 12-бітні, до 2.4 Мса/с	Відсутній
ЦАП	2 × 12-бітні	2 × 8-бітні	Відсутній	Відсутній
I2S	Так	Так	Так	Відсутній
I2C	Так	Так	Так	Так
SPI	Так	Так	Так	Так
UART	Так	Так	Так	Так
PDM	Так	Відсутній	Так	Відсутній
Підтримка DSP	ARM Cortex-M4 DSP Instructions	Відсутня (є MAC)	ARM Cortex-M7 DSP Instructions	Вбудована підтримка DSP
Підтримка FPU	Так	Відсутня	Так	Відсутня
Периферійні засоби	DMA, Timers, GPIO	Wi-Fi, Bluetooth, DMA, GPIO	DMA, Timers, GPIO	DMA, Timers, GPIO
Споживання енергії	Низьке	Відносно високе	Низьке	Низьке
Додаткові можливості	USB OTG FS, Ethernet MAC	Wi-Fi, Bluetooth	Ethernet MAC, USB HS	Спеціалізований для DSP задач
Ціна	Середня	Низька	Висока	Висока

Оскільки проект потребує мікроконтролер, що буде мати низьке енергоспоживання, гарну сумісність з периферією, швидку роботу обробки даних та відносно невелику вартість, було прийнято рішення обрати STM32F446RETx.



Рисунок 4.1 – Мікроконтролер STM32F446RET6

Детальні характеристики:

- Ядро: Arm® 32-розрядний Cortex®-M4 CPU з FPU, адаптивним прискорювачем реального часу (ART Accelerator), що дозволяє виконувати операції з нульовим станом очікування з флеш-пам'яті, частота до 180 МГц, MPU, 225 DMIPS/1.25 DMIPS/МГц (Dhrystone 2.1) та інструкції DSP
- Пам'ять
 - 512 Кбайт флеш-пам'яті
 - 128 Кбайт SRAM
 - Гнучкий контролер зовнішньої пам'яті з 16-бітною шиною даних: SRAM, PSRAM, SDRAM/LPSDR SDRAM, NOR/NAND Flash пам'ять
 - Дворежимний інтерфейс QuadSPI
- Паралельний інтерфейс LCD, режими 8080/6800
- Керування тактовою частотою, скиданням і живленням
 - Живлення від 1,7 В до 3,6 В і входи/виходи
 - POR, PDR, PVD і BOR
 - Кристалічний генератор від 4 до 26 МГц
 - Внутрішній RC-генератор 16 МГц з заводським підстроюванням (точність 1%)
 - Генератор 32 кГц для RTC з калібруванням

- Внутрішній 32 кГц RC з калібруванням
- Низьке енергоспоживання
 - Режими сну, зупинки та очікування
 - V_{BAT} живлення для RTC, 20×32 біт резервних регістрів плюс додаткова резервна SRAM на 4 КБ
- 3×12-розрядний АЦП, 2,4 MSPS: до 24 каналів і 7,2 MSPS в режимі потрібного чергування
- 2×12-розрядні ЦАП
- DMA загального призначення: 16-потоківий контролер DMA з підтримкою FIFO і пакетної передачі даних
- До 17 таймерів: 2 сторожових, 1 таймер SysTick і до дванадцяти 16-розрядних і двох 32-розрядних таймерів до 180 МГц, кожен з яких має до чотирьох IC/OC/PWM або лічильників імпульсів
- Режим налагодження
 - Інтерфейси SWD і JTAG
 - Cortex®-M4 Trace Macrocell™
- До 114 портів вводу/виводу з можливістю переривання
 - До 111 швидких портів вводу/виводу до 90 МГц
 - До 112 входів/виходів, стійких до напруги 5 В
- До 20 комунікаційних інтерфейсів
 - SPDIF-Rx
 - До 4-х інтерфейсів I2C (SMBus/PMBus)
 - До чотирьох USART і двох UART (11,25 Мбіт/с, інтерфейс ISO7816, LIN, IrDA, управління модемом)
 - До чотирьох SPI (45 Мбіт/с), три з яких мають змішаний інтерфейс I2S для забезпечення точності аудіо класу за допомогою внутрішнього аудіо PLL або зовнішнього тактового генератора
 - 2x SAI (послідовний аудіоінтерфейс)

					<i>PC-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

- 2× CAN (2.0B Active)
- Інтерфейс SDIO
- Управління споживчою електронікою (CEC) I/F
- Розширені можливості підключення
 - Повношвидкісний USB 2.0 пристрій/хост/OTG-контролер з вбудованим PHY
 - Високошвидкісний/повношвидкісний контролер USB 2.0 для пристроїв/хоста/OTG з виділеним DMA, повношвидкісним PHY і ULPI на кристалі
 - Виділена шина живлення USB, що забезпечує роботу вбудованих ПЗП у всьому діапазоні живлення мікроконтролера
- 8-14-розрядний паралельний інтерфейс камери зі швидкістю до 54 Мбайт/с
- Блок обчислення контрольного коду CRC
- RTC: субсекундна точність, апаратний календар
- 96-бітний унікальний ідентифікатор

Мікрофони SPH0645LM4H-B

Для детектування акустичних хвиль потрібні мікрофони, що можна помістити на друковану плату майбутнього модуля. MEMS-мікрофони є для цього найкращими кандидатами, враховуючи те, що вони дуже компактні і гарно виконують свою роботу, як пристрої детектування акустичних хвиль.

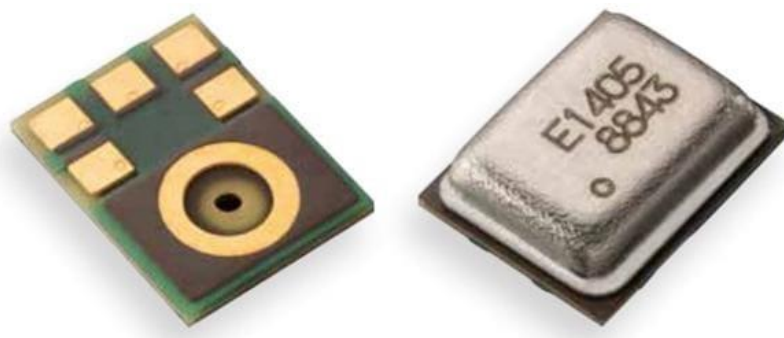


Рисунок 4.2 – Мікрофон SPH0645LM4H-B

					<i>PC-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Характеристики:

- Високий SNR 65 дБ
- Низький струм близько 600 мкА
- Вихід I2S: Пряме підключення до μP
- Кілька режимів: стандартний >1МГц, 600 мкА / сплячий <1кГц, 3 мкА
- Плоска частотна характеристика
- Екранований від радіочастот
- Підтримка двох мікрофонів
- Надзвичайно стабільна робота
- Стандартне оплавлення SMD
- Всеспрямований
- Мікрофон з нижнім розташуванням портів
- 3.50 x 2.65 x 0.98 мм розмір корпусу

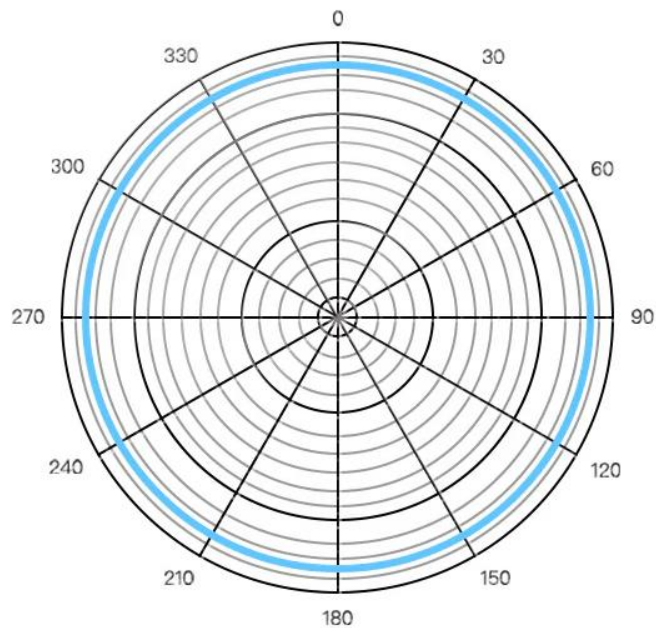


Рисунок 4.3 – ДС мікрофона

EEPROM пам'ять DS2401Z

Для ідентифікації друкованої плати потрібен чіп EEPROM пам'яті, який буде зберігати серійний номер плати.

					<i>PC-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

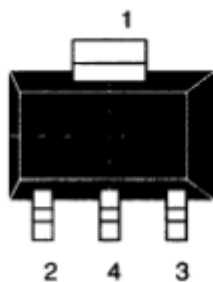


Рисунок 4.4 - EEPROM пам'ять DS2401Z

Характеристики:

Унікальний 64-бітний чіп ROM ID для абсолютної відстежуваності

- Унікальний 64-бітний реєстраційний номер (8-бітний сімейний код + 48-бітний серійний номер + 8-бітний CRC-тестер)

- 8-бітний код визначає комунікаційні вимоги DS2401 до зчитувача

Мінімалістичний інтерфейс 1-Wire ® знижує вартість і складність інтерфейсу

- Кілька пристроїв DS2401 можуть перебувати в загальній мережі 1-Wire

- Вбудований багатоточковий контролер забезпечує сумісність з іншими продуктами мережі 1-Wire

- Управління, адреса, дані та живлення виводяться на один контакт і передаються зі швидкістю до 16,3 кбіт/с

- Імпульс присутності підтверджує, коли зчитувач вперше подає напругу

Широкий робочий діапазон напруги та температури забезпечує надійну роботу системи

- Розширений діапазон від 2,8 до 6,0 В (DS2401)

					<i>PC-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

- Нульове енергоспоживання в режимі очікування
- Діапазон промислових температур від -40°C до +85°C

Роз'єм для SWD TC2030

TC2050-CTX і TC2030-CTL-NL - це кабелі з пружинними штифтами Plug-of-Nails™, призначені для однопровідного налагодження ARM CORTEX SWD (Single Wire Debug). Роз'єми Plug-of-Nails™ підключаються безпосередньо до крихітних контактних майданчиків і отворів на друкованій платі, що дозволяє заощадити кошти і місце на друкованій платі. Стрічковий роз'єм кабелю підключається до стандартного 10-контактного роз'єму Cortex Debug Connector типу FTSH-105, який використовується в ULINK2 та інших CORTEX-сумісних відладчиках KEIL.

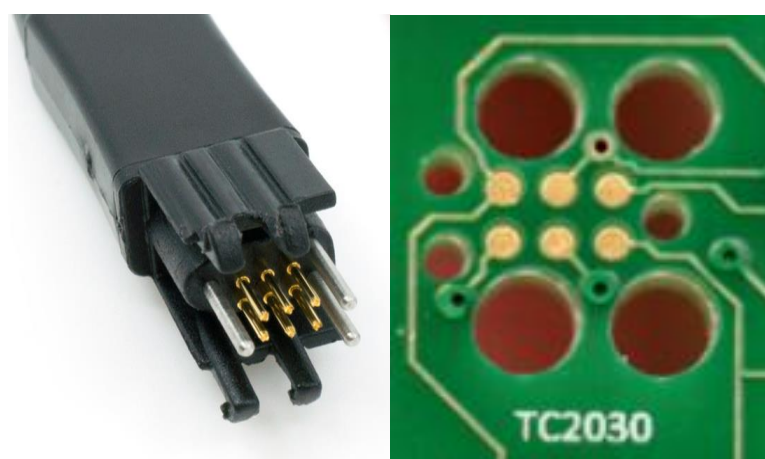


Рисунок 4.5 – Конектор SWD TC2030 (зліва) та роз'єм для SWD TC2030 (справа)

Роз'єм BF 2.00mm Series

Для того, щоб модуль міг взаємодіяти з дроном потрібно забезпечити його з'єднання з ним. Для цього у плату потрібно вмонтувати роз'єм згідно зі стандартом, за яким вироблявся конектор дрона. В цьому дипломному проєкті буде використовуватися стандарт, за яким виготовлявся конектор для Crazyflie 2.0.

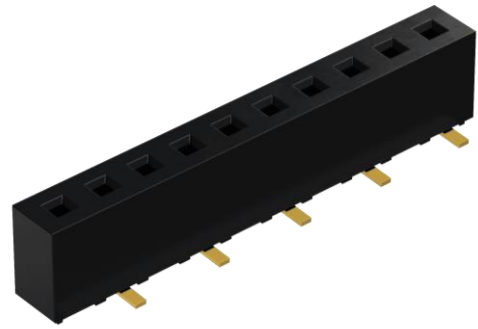
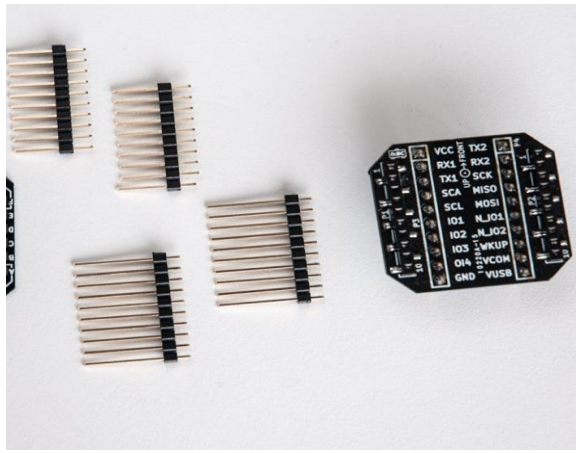


Рисунок 4.6 – Конектор Crazyflie 2.0 (зліва) та роз'єм VF090-10-X-B1 (справа)

Характеристики:

Розміри:

- Крок: 2.00 мм
- Розмір квадратного штифта: 0.50 мм
- Профіль: 4.30мм

Матеріал:

Контакти: фосфориста бронза або інші еквівалентні мідні сплави.

Діелектрик: нейлон 6Т, LCP або поліестер PBT, вогнестійкий 94V-0 згідно з UL-94; або інша високоефективна смола.

Контакт під пластиною та фінішне покриття:

Підкладка під пластину: Нікель 50-100μ"

Покриття:

- Позолота по всій поверхні (A)
- Вибіркова зона контакту з золотим напиленням / олово на хвості (B)
- Олово по всій поверхні (C) - мінімум 80μ"

					<i>PC-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

- Золото 10μ" (G) або 30μ" (I) в зоні контакту. Олово 80μ" мінімум на хвості

- 30μ" Золото на контактній поверхні / золотий спалах на хвості (N)

- 10μ" Золото на контактній площадці / золотий спалах на хвості (P)

Конденсатори SMD CERAMIC CHIP CAPACITORS X5R DIELECTRIC

Керамічні SMD конденсатори було обрано типорозміру 0603, від виробника Hitano, в якого присутні всі доступні ряди номіналів конденсаторів.



Рисунок 4.7 – Конденсатор типорозміру 0603

Характеристики:

Номінальний діапазон: 100 пФ – 100 мкФ;

Робоча напруга: 6,3 В – 50 В;

Температурний діапазон: -55°C – +125°C;

Розміри: 1.6 x 0.8 x 0.8 мм.

Резистори SMD THIN FILM CHIP RESISTORS RT SERIES

Тонкоплівкові SMD конденсатори було обрано типорозміру 0603, від виробника Hitano, в якого присутні всі доступні ряди номіналів резисторів.

					<i>PC-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45



Рисунок 4.8 – Резистор типорозміру 0603

Характеристики:

Передова тонкоплівкова технологія

Тип SMD, призначений для автоматичної вставки

Широкий діапазон опору: $1\Omega \sim 2.49M\Omega$

Температурний діапазон: $-55^{\circ}\text{C} - +155^{\circ}\text{C}$;

Розміри: 1.6 x 0.8 x 0.8 мм.

Індуктори SMD MULTILAYER FERRITE CHIP INDUCTOR AIML-0603

SMD індуктори було обрано типорозміру 0603, від виробника Abracon LLC, в якого присутні всі доступні ряди номіналів індукторів.



Рисунок 4.9 – Індуктор типорозміру 0603

					<i>PC-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Характеристики:

Монолітна конструкція для більшої надійності, компактності та легкості

Магнітно екранована конструкція для усунення перехресних зв'язків

Відмінна паяність і термостійкість для пайки оплавленням

Ідеальна форма для монтажу на друковану плату без полярності

Температурний діапазон: $-55^{\circ}\text{C} - +125^{\circ}\text{C}$;

Розміри: 1.6 x 0.8 x 0.8 мм.

Світлодіоди типорозміру 1203.

Розміри: 1.42 x 1.75 мм

5. Схема електрична принципова модуля.

Схему електричну-принципову модулю детектування акустичних хвиль показано на рисунку 5. Виконано в програмі KiCad Schematic Editor.

					<i>PC-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

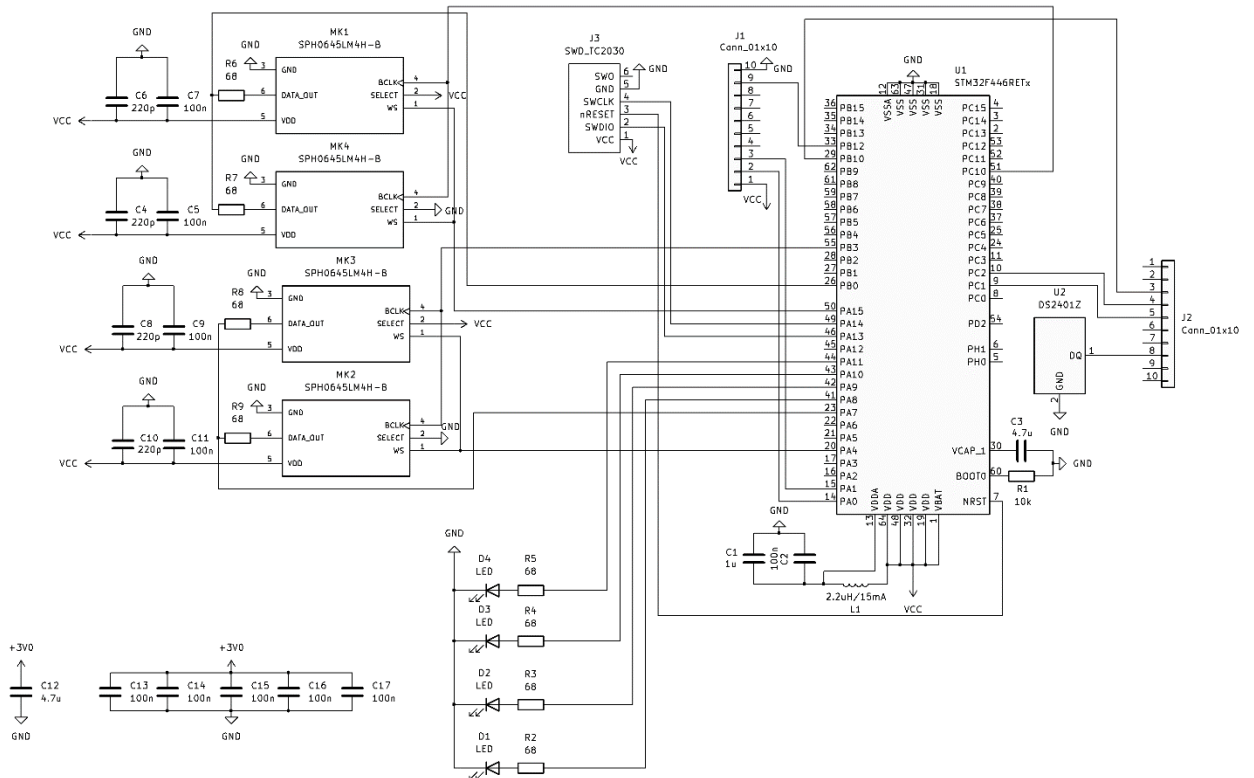


Рисунок 5 – Схема електрично-принципова модулю детектування акустичних ХВИЛЬ

Живлення 3 В подається на всі енергоспоживчі елементи схеми з аккумулятора дрона через конектор.

Мікроконтролер STM32F446RETx U1 взаємодіє з дроном через UART та SPI інтерфейси. Порти PA0 та PA1, підключені до портів конектора BF090-10-X-B1 J1 2 та 3 відповідно, надають з'єднання з дроном через протокол UART. PA0 має функцію UART4_RX та PA1 – UART4_RX. Порти PB10, PC2 та PC1, підключені до портів конектора BF090-10-X-B1 J2 3, 4 та 5 відповідно, надають з'єднання з дроном через інтерфейс SPI. PB10 має функцію SPI2_SCK, PC2 – SPI2_MISO та PC1 – SPI2_MOSI. Також для забезпечення SPI2_NSS порт PB12 підключається до 9 порта конектора J1.

Мікрофони SPH0645LM4H-B MK1, MK2, MK3, MK4 підключені до мікроконтролера U1 через аудіо-інтерфейс I2S. Порти PA15, PB0 та PC10, підключені до портів WS, DATA_OUT та BCLK мікрофонів MK1 та MK4

відповідно, надають з'єднання з мікрофонами через інтерфейс I2S3, підтримуючи I2S3_WS, I2S3_SD та I2S3_CK відповідно. Щодо мікрофонів МК2 та МК3 порти PA4, PA7 та PB3, підключені до портів WS, DATA_OUT та BCLK відповідно, надають з'єднання через інтерфейс I2S1, підтримуючи I2S1_WS, I2S1_SD та I2S1_CK відповідно.

До мікроконтролера також під'єднаний роз'єм для конектора SWD TC2030 J3, який надає з'єднання до мікроконтролера через SWD. Порти SWDIO, nReset та SWCLK конектора J3 під'єднані до портів PA13, nRST та PA14 мікроконтролера U1 відповідно, в які вбудована функції JTMS-SWDIO та JTCK-SWCLK.

Світлодіоди D1, D2, D3, D4 підключені до портів PA8, PA9, PA10, PA11 мікроконтролера U1, що підтримують функції TIM_CH1, TIM_CH2, TIM_CH3 та TIM_CH4 відповідно.

EEPROM пам'ять DS2401Z U2 підключається до конектора J2, використовуючи інтерфейс 1-Wire.

Призначення конденсаторів C13, C14, C15, C16, C17 – зменшення впливу шумів, створюваних парами VDD та VSS мікроконтролера U1. Також C12 призначений для зменшення впливу шумів від VBAT.

6. Проектування друкованої плати.

Для визначення розмірів плати потрібно виконати ряд розрахунків, спираючись на технічне завдання.

Для визначення ширини крила потрібно врахувати ширину мікрофона, посадочних місць двох конденсаторів, що знаходяться з його боків, відстань між краями розроблюваного модулю та мідного шару і відстань між частинами шару, що розділений дротом:

$$D = w_m + 2w_c + 2w_l + w_w + w = 2.65 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 0.5 + 0.75 + 3.3 = 9.7 \text{ мм}$$

					<i>PC-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

де w_m – ширина мікрофона, w_c – ширина посадочного місця конденсатора, w_l – відстань між краями та мідним шаром, w_w – ширина місяця, який займає дріт та w – поправка на рознесення елементів.

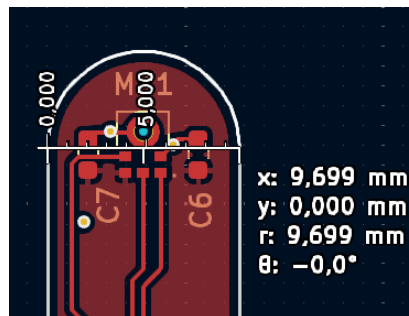


Рисунок 6.1 – Ширина крила модуля

Відповідно, згідно з визначеною шириною крила виконується згладжування краю за радіусом, що дорівнює половині ширина крила:

$$r = \frac{D}{2} = \frac{9.7}{2} \sim 4.85 \text{ мм}$$

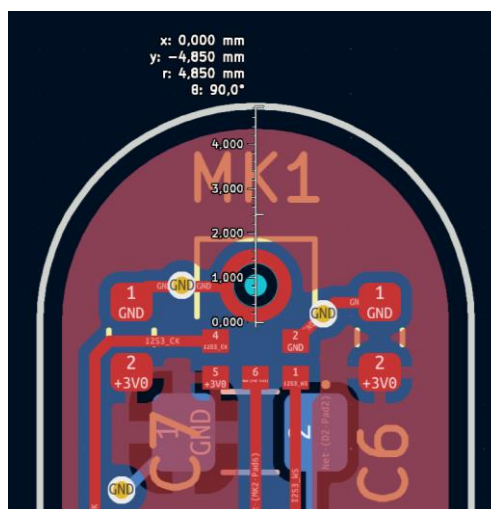


Рисунок 6.2 – Радіус згладжування краю крила модуля

Також для збільшення площі всередині модулю було прийнято рішення заокруглити кути стику крил.

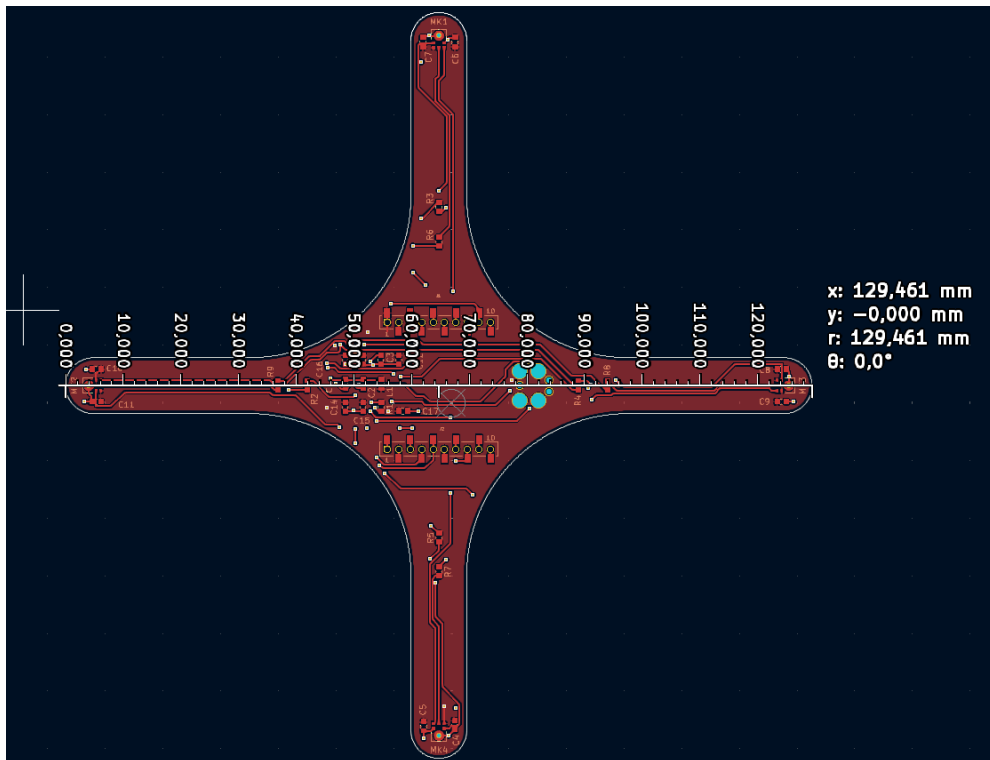


Рисунок 6.5 – Ширина модулю

Для розробки пристрою були створені необхідні футпринти та додані 3D моделі.

Футпринт та 3D модель конденсатора типорозміру 0603 показано на рисунку 6.6.

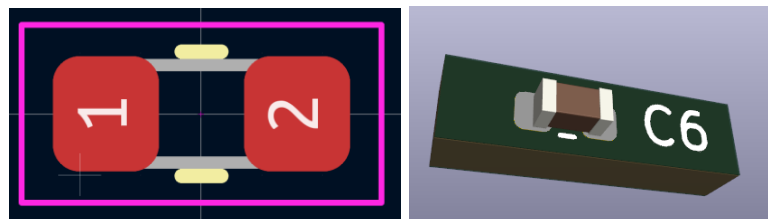


Рисунок 6.6 – Футпринт конденсатора типорозміру 0603 (зліва) та його 3D модель (справа)

Футпринт та 3D модель резистора типорозміру 0603 показано на рисунку 6.7.

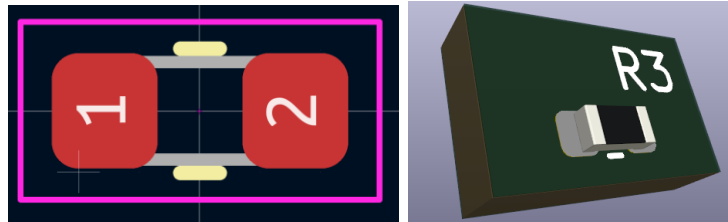


Рисунок 6.7 – Футпрінт резистора типорозміру 0603 (зліва) та його 3D модель (справа)

Футпрінт та 3D модель індуктора типорозміру 0603 показано на рисунку 6.8.

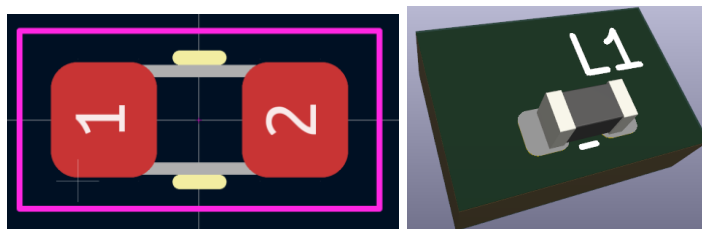


Рисунок 6.8 – Футпрінт індуктора типорозміру 0603 (зліва) та його 3D модель (справа)

Футпрінт та 3D модель світлодіода показано на рисунку 6.9.

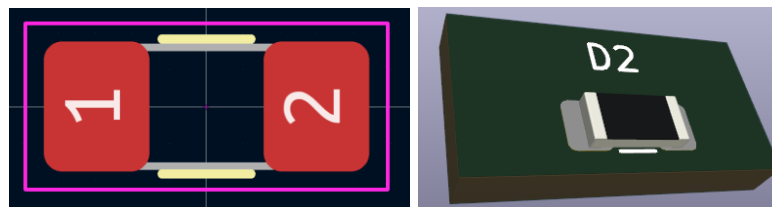


Рисунок 6.9 – Футпрінт світлодіода (зліва) та його 3D модель (справа)

Футпрінт та 3D модель мікрофона показано на рисунку 6.10.

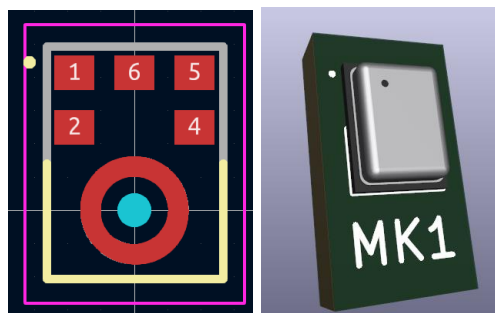


Рисунок 6.10 – Футпрінт мікрофона (зліва) та його 3D модель (справа)

Футпрінт та 3D модель конектора BF090-10-X-B1 показано на рисунку 6.11.

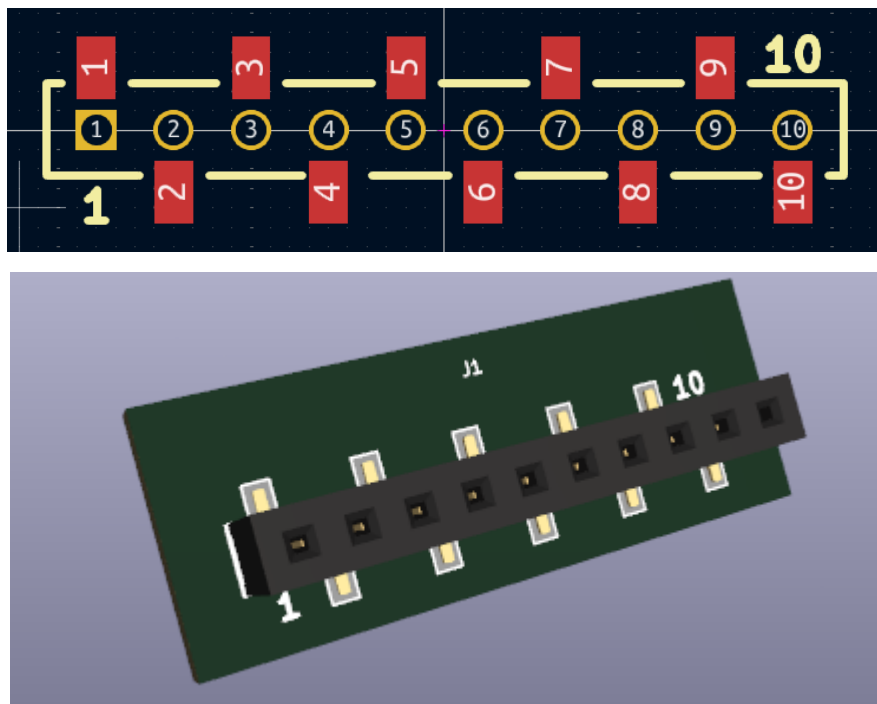


Рисунок 6.11 – Футпрінт конектора BF090-10-X-B1 (зверху) та його 3D модель (знизу)

Футпрінт та 3D модель мікроконтролера STM32F446RETx показано на рисунку 6.12.

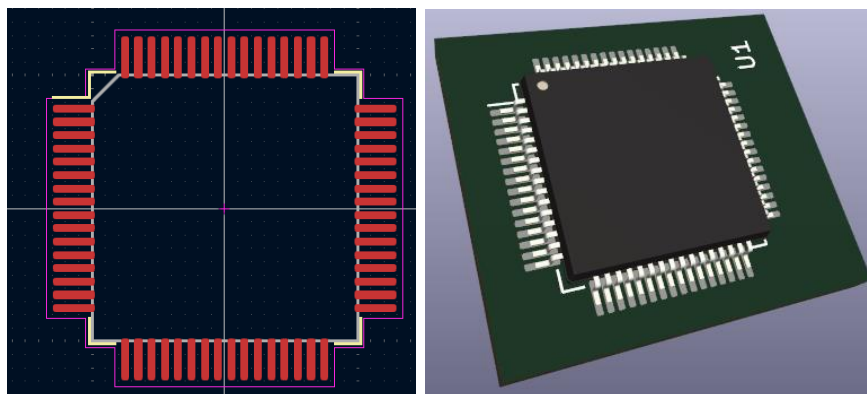


Рисунок 6.12 – Футпрінт мікроконтролера STM32F446RETx (зліва) та його 3D модель (справа)

Футпрінт та 3D модель EEPROM пам'яті DS2401Z показано на рисунку 6.13.

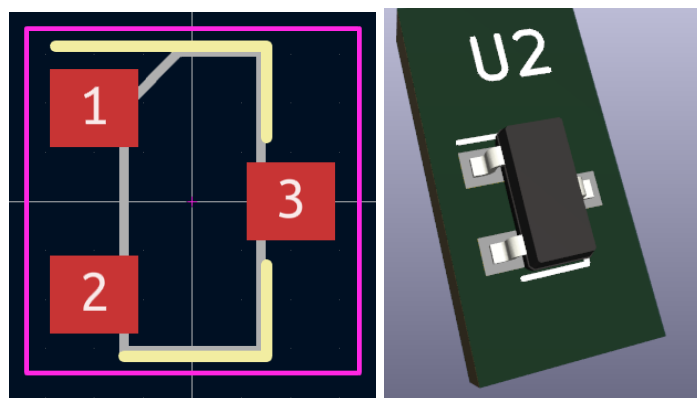


Рисунок 6.13 – Футпрінт EEPROM пам'яті DS2401Z (зліва) та його 3D модель (справа)

Футпрінт та 3D модель роз'єму для конектора SWD TC2030 показано на рисунку 6.14.

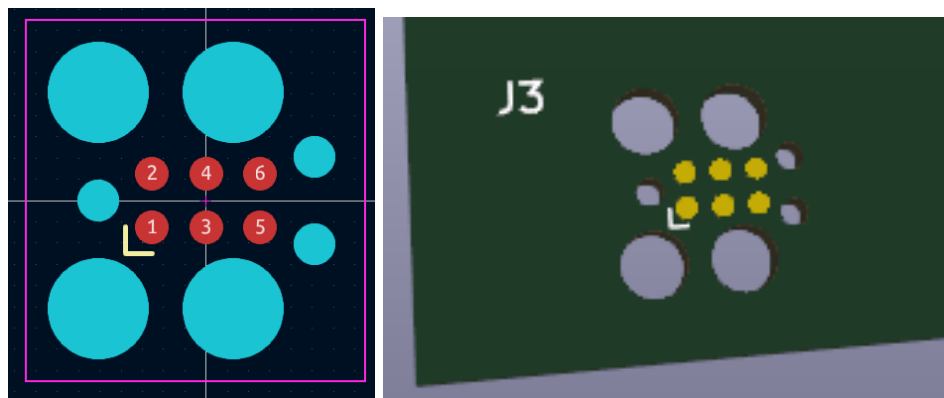


Рисунок 6.14 – Футпрінт роз'єму для конектора SWD TC2030 (зліва) та його 3D модель (справа)

Представлені футпрінти були використані в трасуванні друкованою плати. Результати трасування верхньої та нижньої сторони плати можна побачити на рисунках 6.15 та 6.16.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

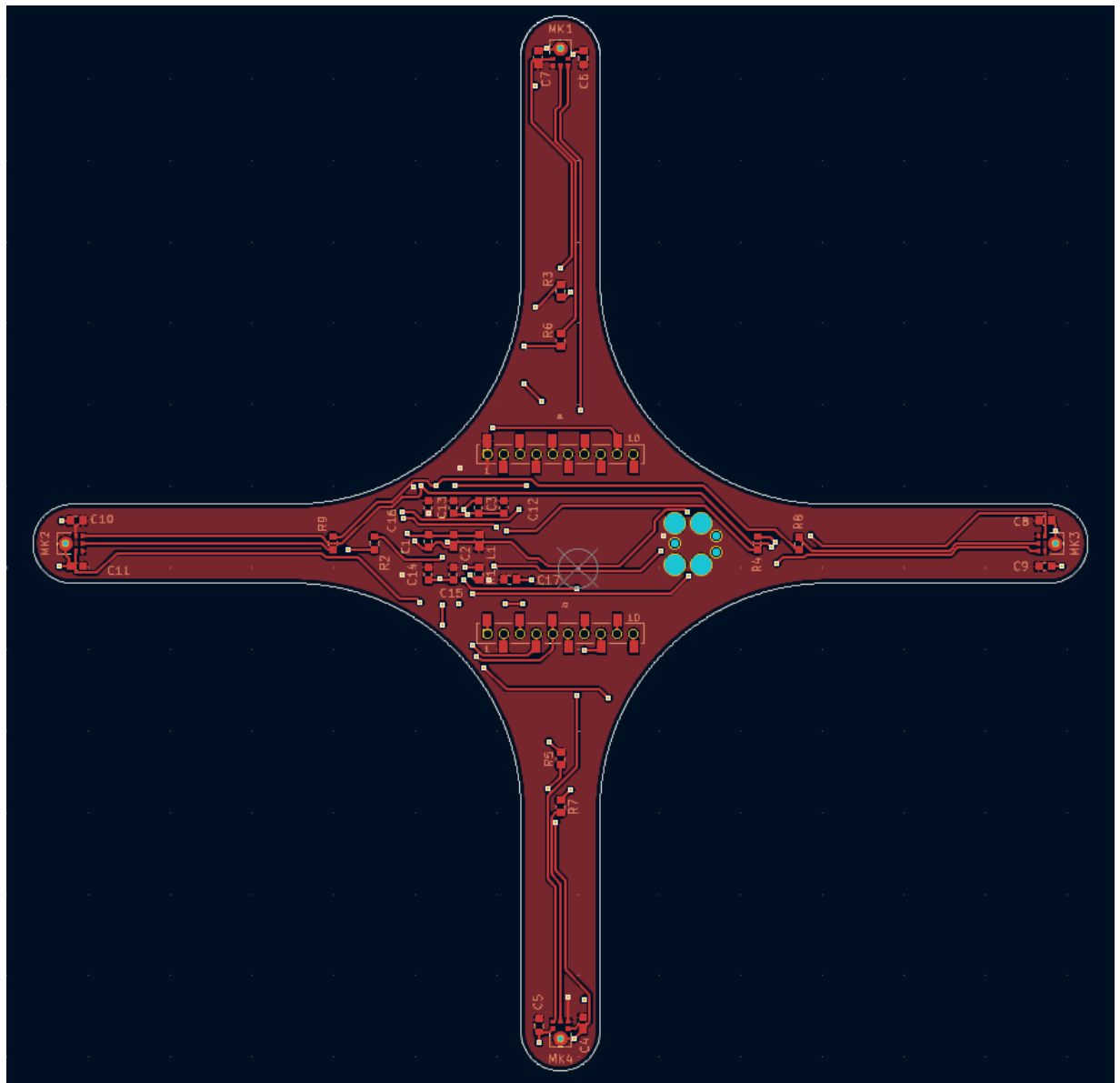


Рисунок 6.15 – Верхня сторона двусторонньої плати модулю.

Верхня сторона модулю має мідний шар живлення 3В. На цій стороні загалом розташовані конденсатори, резистори, індуктори, мікрофони SPH0645LM4H-B та конектори для дрона BF090-10-X-B1.

					<i>PC-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

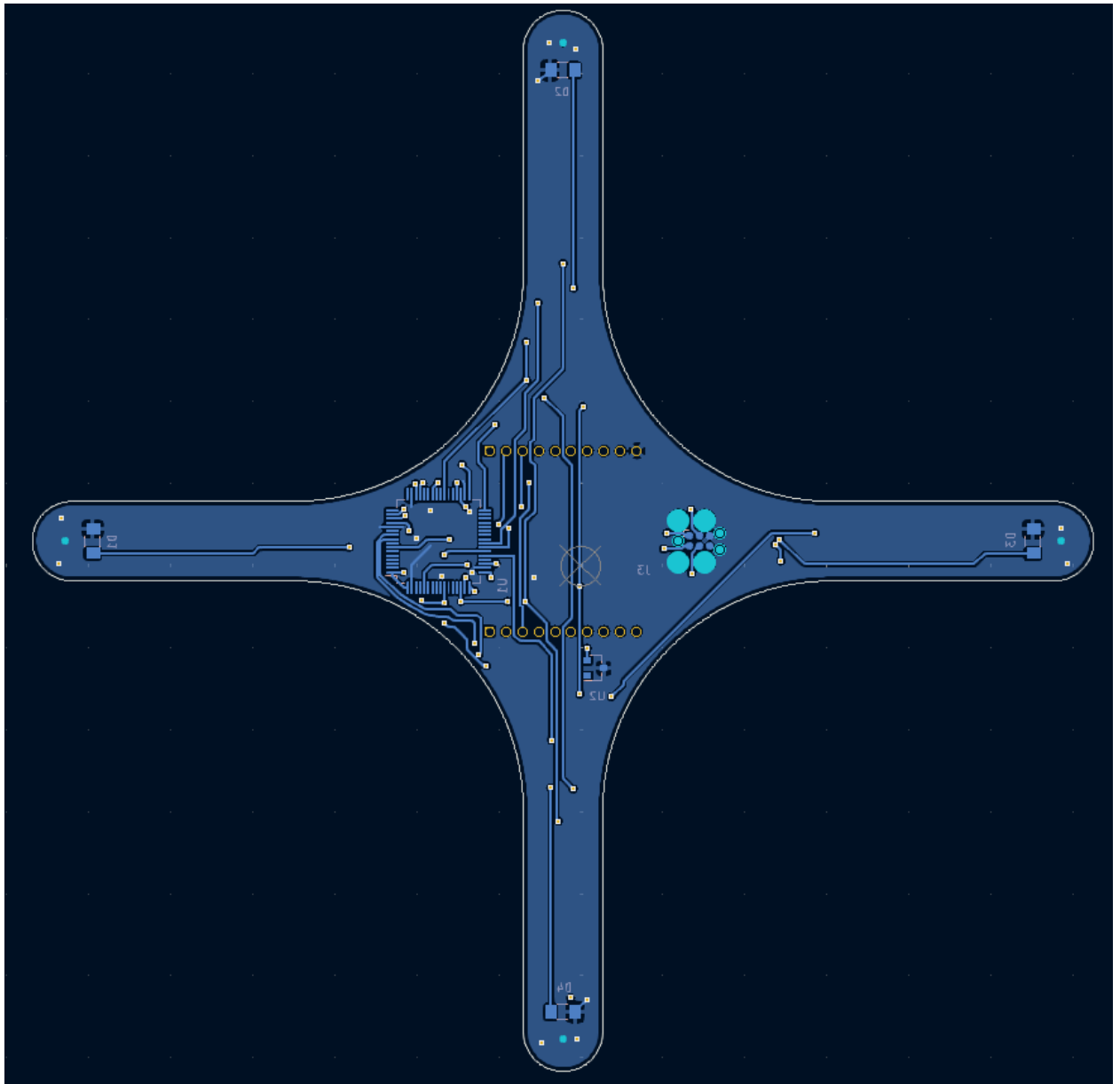


Рисунок 6.16 – Нижня сторона двусторонньої плати модулю.

Нижня сторона модулю має мідний шар заземлення. На цій стороні загалом розташовані мікроконтролер STM32F446RETx, діоди, роз'єм для конектора SWD TC2030 та EEPROM пам'ять DS2401Z.

Також була розроблена 3D модель модулю детектування акустичних хвиль. Вона наведена на рисунках 6.17 та 6.18.

					<i>PC-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

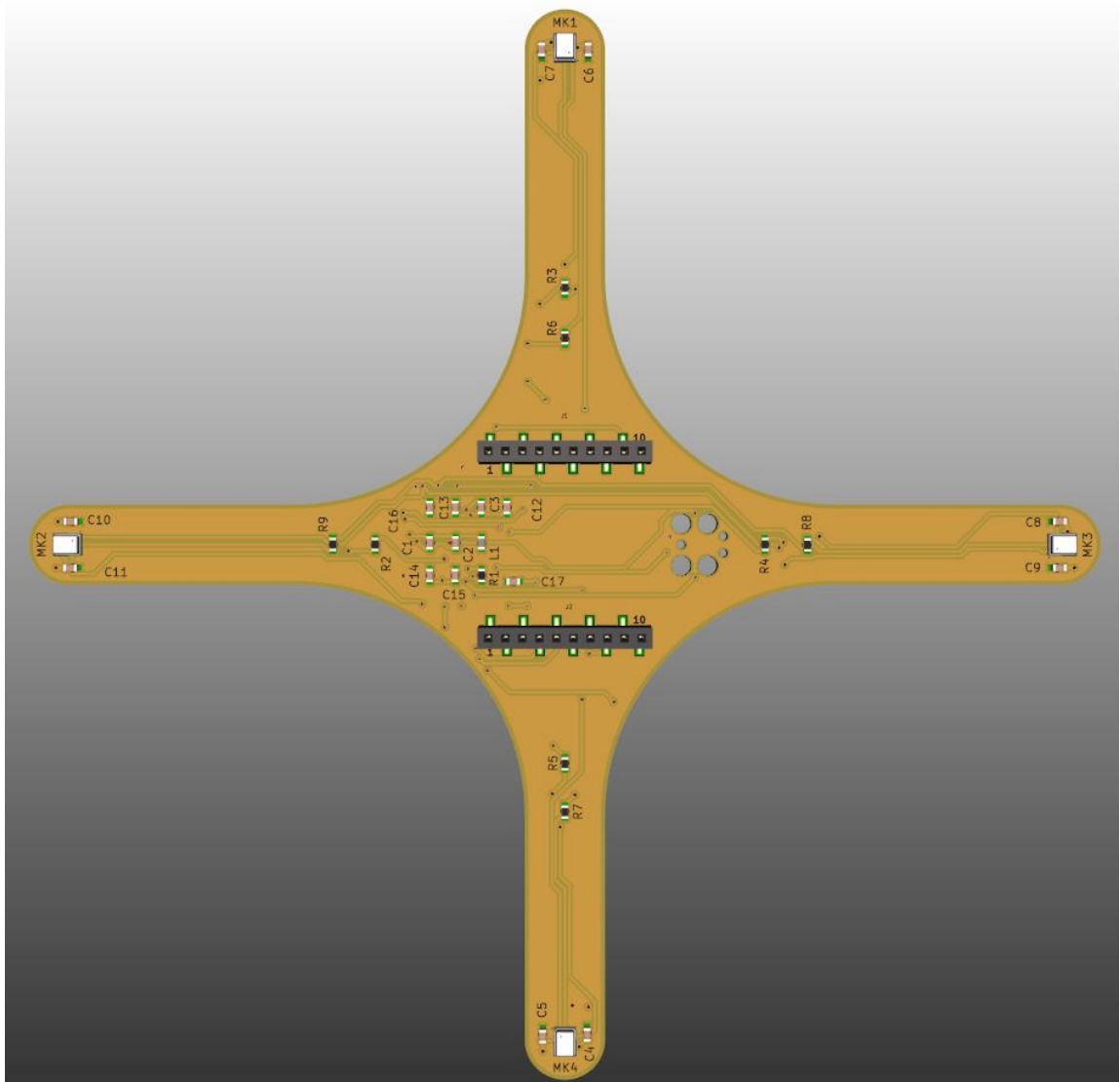


Рисунок 6.17 – Верхня сторона 3D моделі модулю

					<i>PC-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

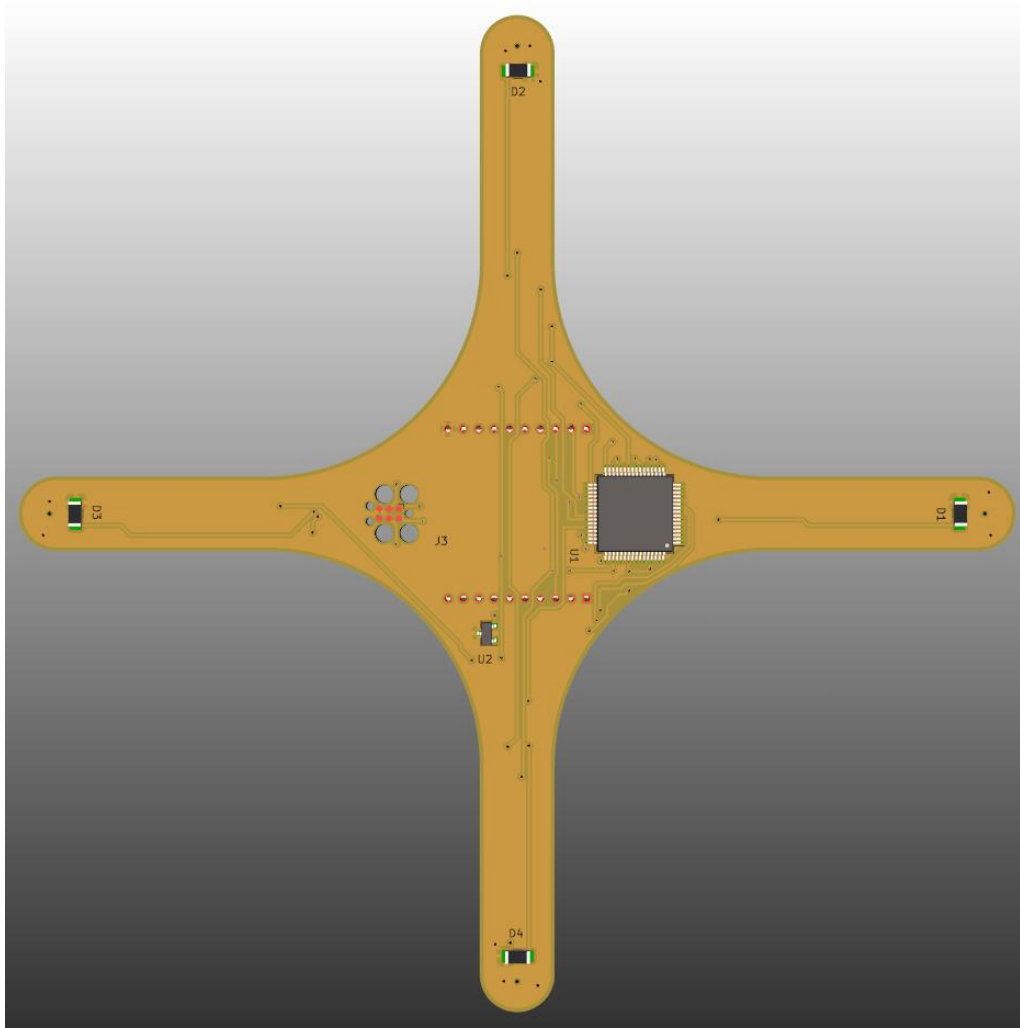


Рисунок 6.18 – Верхня сторона 3D моделі модулю

					<i>PC-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Висновки.

В представленому дипломному проекті було виконано ряд завдань:

1. За результатами аналізу детектування акустичних хвиль були розглянуті практичні сфери, в яких використовується детектування акустичних хвиль, та методи детектування акустичних хвиль. З представлених методів детектування був обраний метод акустичної локалізації. Він використовує техніку кутового методу для розрахунку напрямку на ціль на основі різниці часу прибуття сигналу на приймачі.
2. На основі аналізу пристроїв детектування акустичних хвиль, враховуючи, що пристрій використовується у конструкції модуля в даній дипломній роботі, були обрані MEMS-мікрофони. Оскільки розміри модулю досить невеликі та виготовляється він спеціально для дрона, що означає потребу у витривалості до ушкоджень, досліджені характеристики MEMS-мікрофонів відповідають потребам для втілення проекту.
3. Була розроблена структурна схема, на основі якої працює модуль. Для втілення методу акустичної локалізації було вирішено використати 4 мікрофони, 2 з яких відповідають за перевірку необхідності зміни курсу на ціль та інші 2 – за перевірку необхідності зміни висоти. Також модуль потребує роз'єм для SWD, щоб мати можливість налагоджувати мікроконтролер та роз'єм для конектора дрона, аби мати можливість його на нього чіпляти.
4. В результаті вибору елементної бази були обрані: мікроконтролер STM32F446RETx, мікрофони SPH0645LM4H-B, EEPROM пам'ять DS2401Z, роз'єм для SWD TC2030, роз'єми BF090-10-X-B1, резистори та конденсатори типорозміру 0603 від компанії Hitano, індуктор типорозміру 0603 від компанії Abracon LLC та світлодіоди типорозміру 1203.

					<i>PC-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

5. Було розроблено схему електрично-принципову модуля детектування акустичних хвиль. Було визначено взаємозв'язок між елементами та інтерфейси і протоколи, які використовує мікроконтролер для взаємодії з периферією.
6. Розроблена друкована плата та її 3D модель. Було розраховано розміри плати відносно розмірів вказаних в технічному завданні. Відстань між протилежними парами мікрофонів становить 121.4 мм, ширина та довжина плати дорівнює 129.5 мм, ширина крил, на які рознесені мікрофони, дорівнює 9.7 мм, радіус заокруглення крил – 4.85 мм та радіус заокруглення зтику крил – 27.9 мм.

Спроектований модуль відповідає вимогам технічного завдання: рівень сигнал/шум мікрофонів становить 65 дБ, робоча температура відповідає визначеному діапазону, модуль працює від живлення 3 В, відстань між протилежними парами мікрофонів є більшим за мінімальний поріг на 1.4 мм та мікрофони здатні вловлювати сигнали у вказаному частотному діапазоні.

					<i>РС-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Перелік посилань.

1. Yang Bai, Li Lu, Jerry Cheng, Jian Liu, Yingying Chen, Jiadi Yu.
”Acoustic-based sensing and applications: A survey” [Електронний ресурс] / Yang Bai, Li Lu, Jerry Cheng, Jian Liu, Yingying Chen, Jiadi Yu – Доступ до ресурсу:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389128620311282>
2. Boris G. Gorshkov, Kivilcim Yüksel, Andrei A. Fotiadi, Marc Wuilpart, Dmitry A. Korobko, Andrey A. Zhirnov, Konstantin V. Stepanov, Artem T. Turov, Yuri A. Konstantinov, Ivan A. Lobach. “Scientific Applications of Distributed Acoustic Sensing: State-of-the-Art Review and Perspective” [Електронний ресурс] / Boris G. Gorshkov, Kivilcim Yüksel, Andrei A. Fotiadi, Marc Wuilpart, Dmitry A. Korobko, Andrey A. Zhirnov, Konstantin V. Stepanov, Artem T. Turov, Yuri A. Konstantinov, Ivan A. Lobach – Доступ до ресурсу:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8838753/>
3. Norma Mallegni, Giovanna Molinari, Claudio Ricci, Andrea Lazzeri, Davide La Rosa, Antonino Crivello, Mario Milazzo. “Sensing Devices for Detecting and Processing Acoustic Signals in Healthcare” [Електронний ресурс] / Norma Mallegni, Giovanna Molinari, Claudio Ricci, Andrea Lazzeri, Davide La Rosa, Antonino Crivello, Mario Milazzo – Доступ до ресурсу:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9599683/>
4. Tom Nelligan. “An Introduction to Ultrasonic Flaw Detection” [Електронний ресурс] / Tom Nelligan – Доступ до ресурсу:
<https://www.olympus-ims.com/en/applications-and-solutions/introductory-ultrasonics/introduction-flaw-detection/>
5. A. Salazar, A. Rodriguez, G. Safont, L. Vergara. “Prospective of the application of ultrasounds in archaeology” [Електронний ресурс] / A. Salazar, A. Rodriguez, G. Safont, L. Vergara – Доступ до ресурсу:

https://www.researchgate.net/publication/236849906_Prospective_of_the_application_of_ultrasounds_in_archaeology

6. Obed Appiah, Ebenezer Quayson, Eric Oropoku. “Ultrasonic sensor based traffic information acquisition system; a cheaper alternative for ITS application in developing countries” [Електронний ресурс] / Obed Appiah, Ebenezer Quayson, Eric Oropoku – Доступ до ресурсу:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227620302258>
7. Andrew P. Hill, Peter Prince, Evelyn Piña Covarrubias, C. Patrick Doncaster, Jake L. Snaddon, Alex Rogers. “AudioMoth: Evaluation of a smart open acoustic device for monitoring biodiversity and the environment” [Електронний ресурс] / Andrew P. Hill, Peter Prince, Evelyn Piña Covarrubias, C. Patrick Doncaster, Jake L. Snaddon, Alex Rogers – Доступ до ресурсу:
<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/2041-210X.12955>
8. Gabriella Sotelo. “Noise Pollution: Environmental Impact and What You Can Do” [Електронний ресурс] / Gabriella Sotelo – Доступ до ресурсу:
<https://www.treehugger.com/what-is-noise-pollution-definition-environmental-impact-5191271>
9. Roland Haarbrink. “UAS for geo-information: current status and perspectives” [Електронний ресурс] / Roland Haarbrink – Доступ до ресурсу:
https://www.researchgate.net/publication/274117205_UAS_for_geo-information_current_status_and_perspectives
10. LibreTexts Physics. “17.8: The Doppler Effect” [Електронний ресурс] / LibreTexts Physics – Доступ до ресурсу:
[https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/University_Physics_\(OpenStax\)/Book%3A_University_Physics_I_-](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/University_Physics_(OpenStax)/Book%3A_University_Physics_I_-)

[Mechanics Sound Oscillations and Waves \(OpenStax\)/17%3A Sound/17.08%3A The Doppler Effect](#)

11. Madhu Advani, Daniel S. Weile. “Position and orientation inference via on-board triangulation” [Электронный ресурс] / Madhu Advani, Daniel S. Weile – Доступ до ресурсу:
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0180089>
12. COVEY a LATHAN DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING UNIVERSITY OF NORTH CAROLINA AT CHAPEL HILL. SOUND LOCALIZATION TECHNIQUES FOR A DIRECTION INDICATING VIBROTACTILE AID [Электронный ресурс] / COVEY a LATHAN DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING UNIVERSITY OF NORTH CAROLINA AT CHAPEL HILL – Доступ
https://www.resna.org/sites/default/files/legacy/conference/proceedings/2003/Papers/TSP/Lathan_TSP.htm
13. SPH0645LM4H-B Knowles | Mouser [Электронный ресурс]. Доступ до ресурсу:
<https://eu.mouser.com/ProductDetail/Knowles/SPH0645LM4H-B?qs=vWxAESdW%252B03xAMCR63JEHA%3D%3D>
14. TC2030-CTX Datasheet by Tag-Connect LLC | Digi-Key Electronics [Электронный ресурс]. Доступ до ресурсу:
<https://www.digikey.fr/htmldatasheets/production/2094258/0/0/1/tc2030-ctx-datasheet.html>
15. STM32F446RE | STMicroelectronics [Электронный ресурс]. Доступ до ресурсу:
<https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f446re.html>
16. ESP32 Datasheet | Espressif Systems [Электронный ресурс]. Доступ до ресурсу:
https://www.esp32.dk/esp32_datasheet_en.pdf

17. SAM E70/S70/V70/V71 Family | Microchip Technology [Электронный ресурс]. Доступ до ресурсу:
<https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/80000767C.pdf>
18. TMS320C5515 Fixed-Point Digital Signal Processor | Texas Instruments [Электронный ресурс]. Доступ до ресурсу:
<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms320c5515.pdf?ts=1718262117886>
19. DS2401 Silicon Serial Number | Analog Devices [Электронный ресурс].
 Доступ до ресурсу:
<https://pdfserv.maximintegrated.com/en/ds/DS2401.pdf>
20. BF 2.00mm Series Product Specification | Farnell [Электронный ресурс].
 Доступ до ресурсу:
https://www.farnell.com/datasheets/2342918.pdf?_ga=2.210943958.293929472.1593689991-1142544513.1588679285
21. CERAMIC CHIP CAPACITORS X7R/X5R DIELECTRIC | HITANO ENTERPRISE CORP. [Электронный ресурс]. Доступ до ресурсу:
https://www.hitano.com.tw/wp-content/uploads/doc/MLCC-X7R_20190116.pdf
22. THIN FILM CHIP RESISTORS RT SERIES | HITANO ENTERPRISE CORP. [Электронный ресурс]. Доступ до ресурсу:
https://www.hitano.com.tw/wp-content/uploads/doc/RT_20230817.pdf
23. AIML-0603 Series by Abracon LLC Datasheet | DigiKey [Электронный ресурс]. Доступ до ресурсу:
<https://www.digikey.gr/en/htmldatasheets/production/846259/0/0/1/aiml-0603-series>

					<i>PC-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

ДОДАТОК А. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Радіотехнічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Керівник дипломного проєкту

_____ О.С. Неуймін

«__» _____ 2024 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту Мудрому Дмитро Ігоровичу

1. Назва і підстава для виконання роботи

Назва: «Модуль детектування акустичних хвиль»

Підстава для виконання: Наказ по факультету від «29» травня 2024 р.
№2178-с

2. Мета і призначення дипломного проєкту

Метою даного дипломного проєкту є розробка модулю детектування акустичних хвиль для дронів для задачі виявлення FPV дронів.

3. Вихідні дані для проведення дипломного проєктування

При виконанні дипломного проєкту необхідно забезпечити данні характеристики для модулю детектування акустичних хвиль:

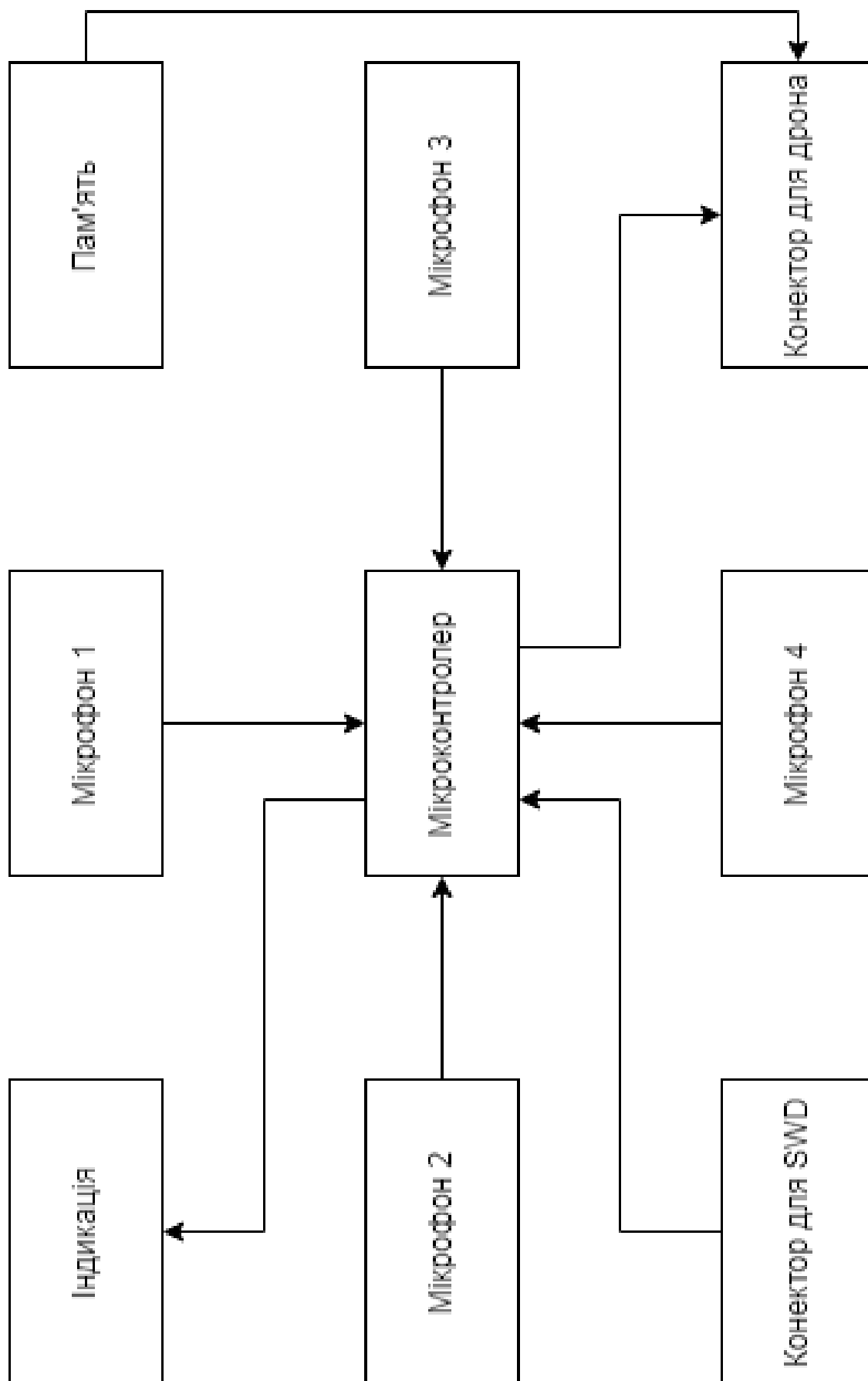
1. Робоча температура від -40 до + 45°C.
2. Вхідна напруга від 3 до 5 В.
3. Відстань між мікрофонами від 120 мм.
4. Рівень сигнал/шум від 60 дБ.
5. Діапазон частот від 500 Гц до 5 кГц.

Студент

Д.І. Мудрий

					<i>РС-01.468331.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

ДОДАТОК В. СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА СТРУКТУРНА



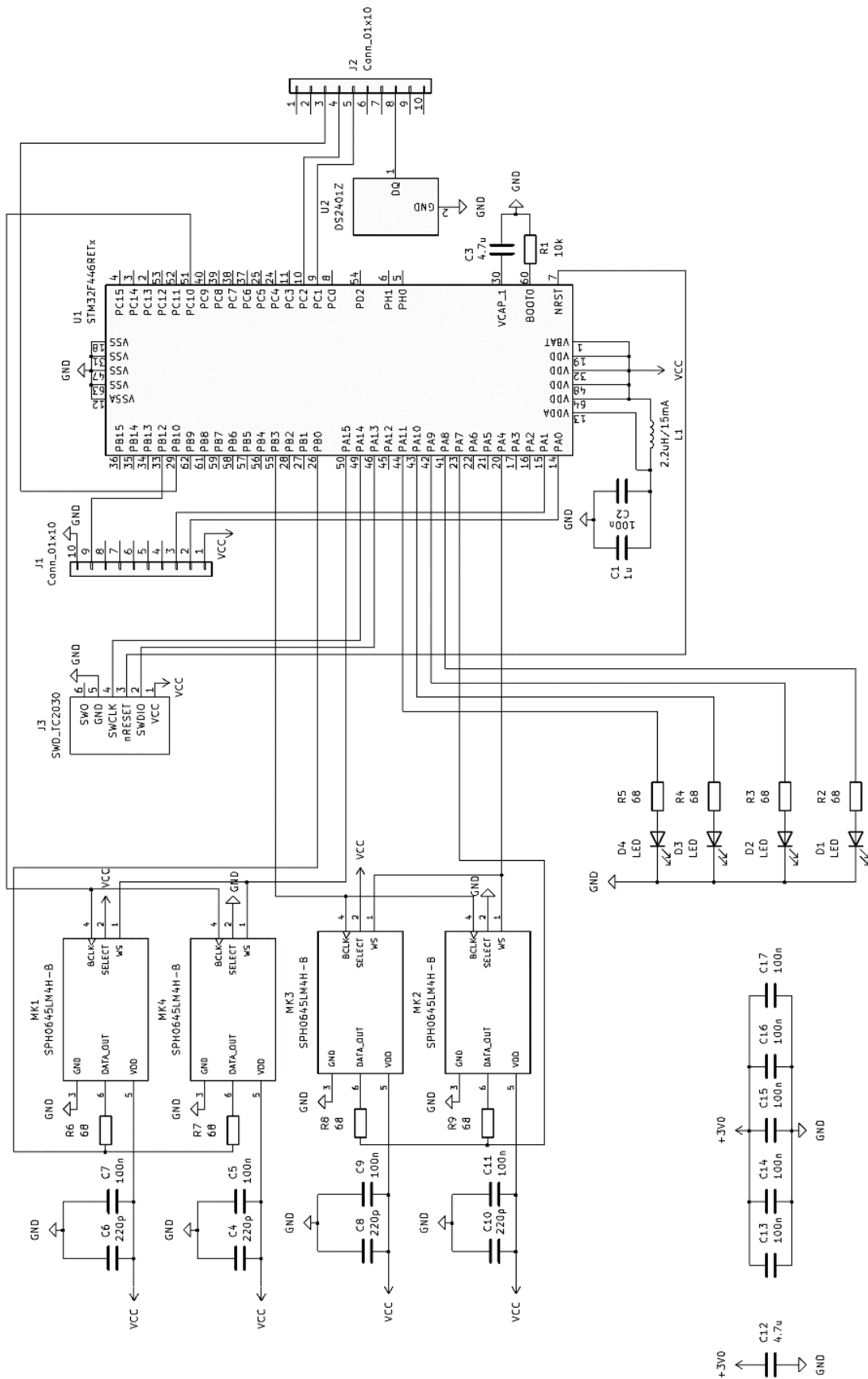
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PC-01.468331.001 ПЗ

Арк.

68

ДОДАТОК Г. СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА



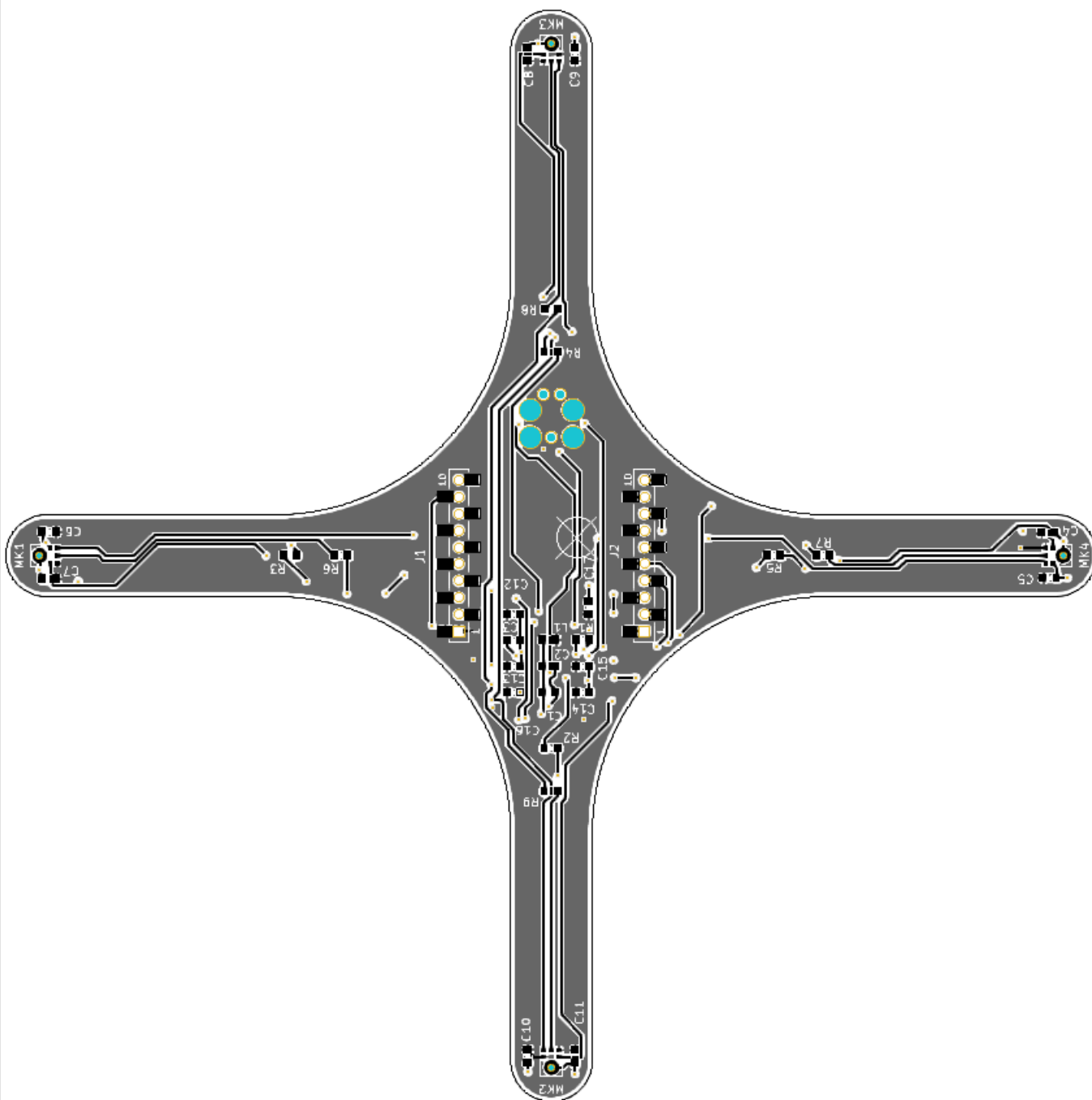
ЗМН.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

PC-01.468331.001 ПЗ

Арк.

69

ДОДАТОК Д. ДРУКОВАНА ПЛАТА

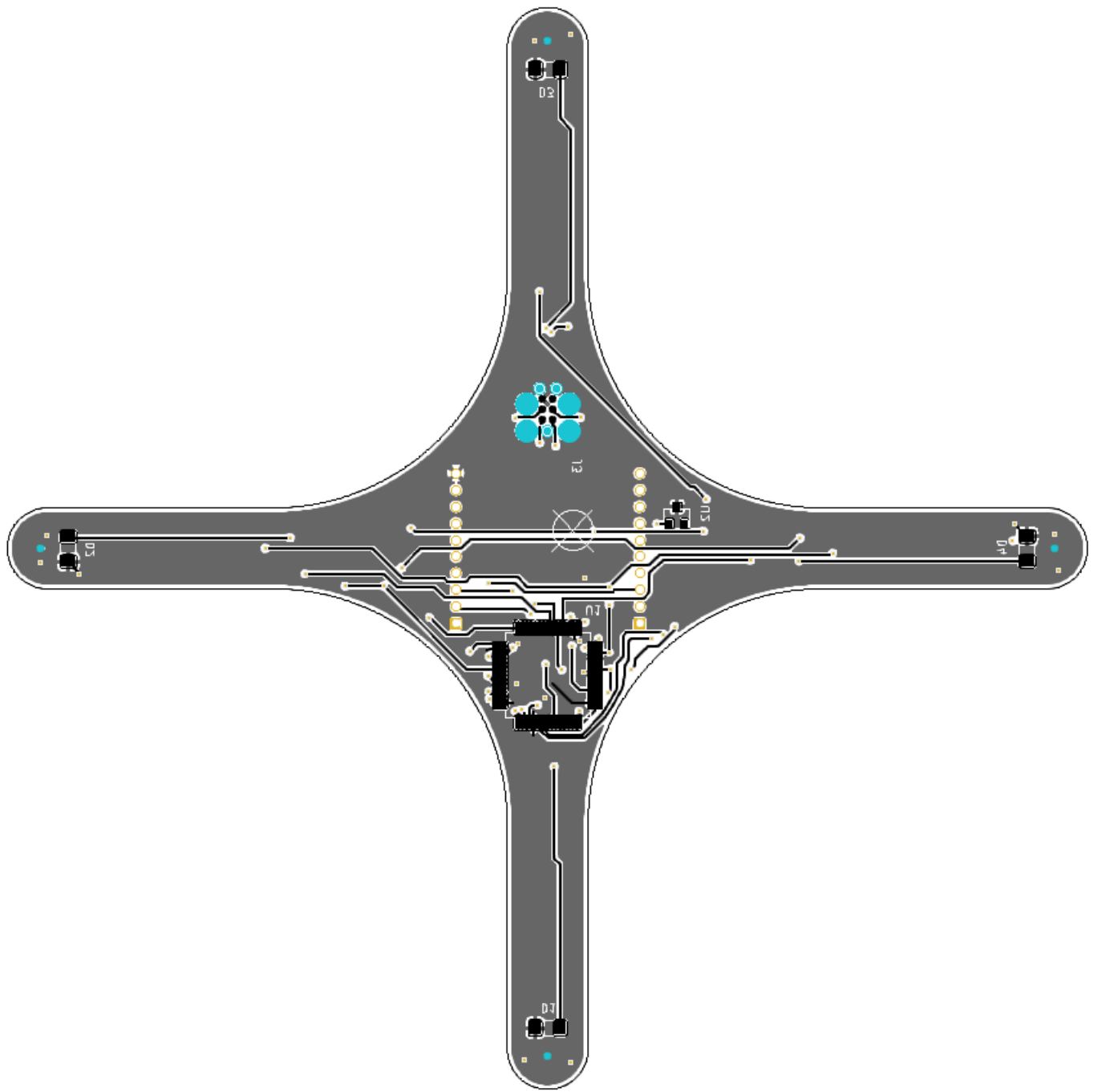


Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PC-01.468331.001 ПЗ

Арк.

70



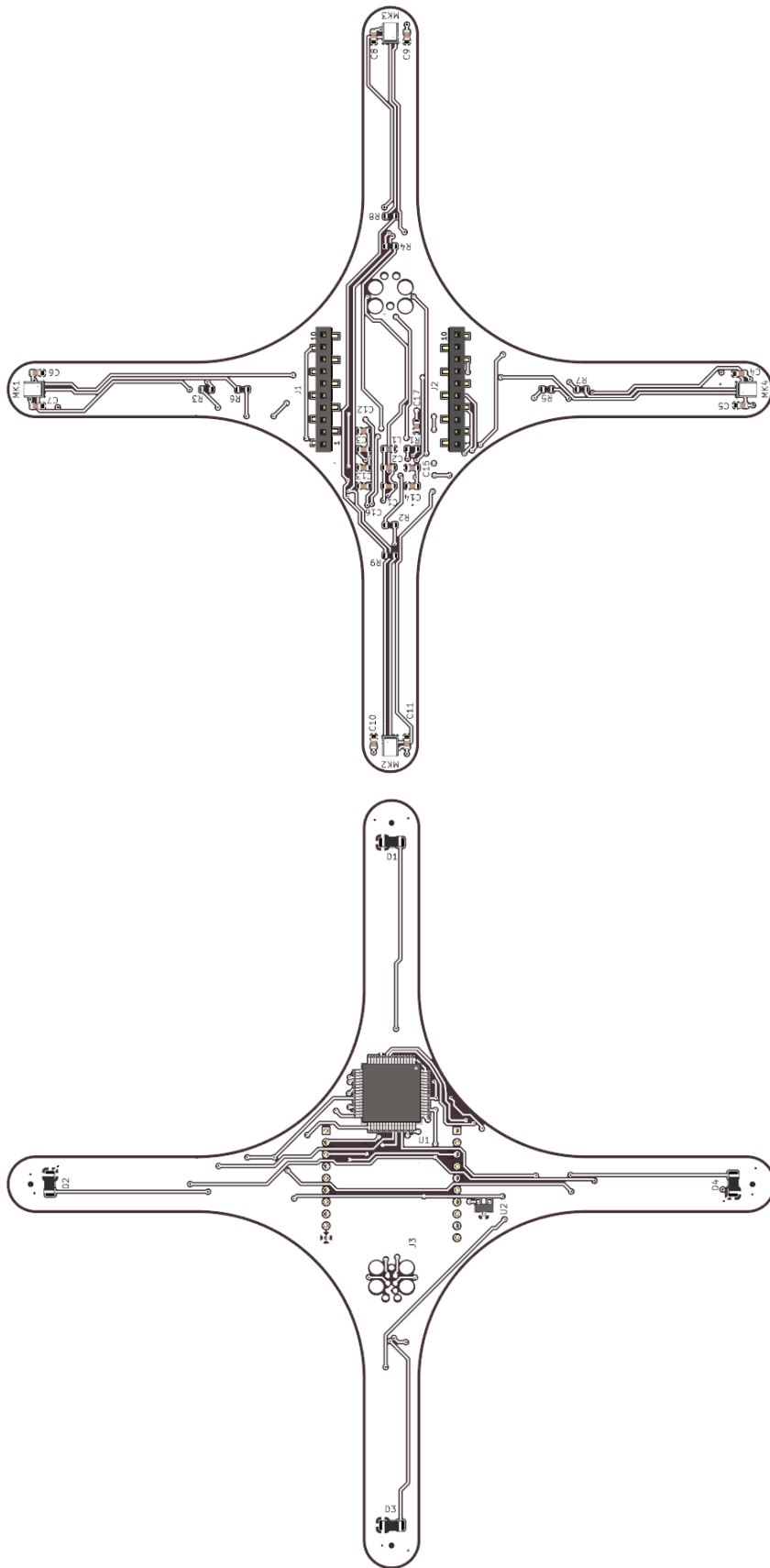
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PC-01.468331.001 ПЗ

Арк.

71

ДОДАТОК Е. СКЛАДАЛЬНИЙ КРЕСЛЕННИК



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PC-01.468331.001 ПЗ

Арк.

72

