

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

**Радіотехнічний факультет
Кафедра прикладної радіоелектроніки**

«На правах рукопису»
УДК 621.396.73

До захисту допущено:
В.о. зав. кафедри
_____ Михайло СТЕПАНОВ
«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Інтелектуальні технології
радіоелектронної техніки»**

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

**на тему: « Підвищення якості передавання аудіосигналу в цифровій
радіосистемі для музичних інструментів »**

Виконав :
студент 2 курсу, групи РЕ-11мп
Білуха Василь Сергійович

Керівник:
ст. викладач

Адаменко Володимир Олексійович

Рецензент:
доцент, к.т.н. каф. РТС
Шпилька Олександр Олександрович

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2022 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Радіотехнічний факультет
Кафедра прикладної радіоелектроніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.зав. кафедри

_____ Михайло СТЕПАНОВ

«_____» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студента
Білухи Василя Сергійовича

1. Тема дисертації «Підвищення якості передавання аудіосигналу в цифровій радіосистемі для музичних інструментів»
науковий керівник дисертації ст. викладач Адаменко В. О.
затверджені наказом по університету від «09» листопада 2022 р. №4137-С
2. Термін подання студентом дисертації 11 грудня 2022 року
3. Об'єкт дослідження: Об'єктами дослідження є радіомодулі передавання та приймання. Предметом дослідження виступають конструкції, параметри та характеристики радіомодулів.
4. Вихідні дані: Радіомодулі передавача та приймача АМ на частоті 433МГц, Bluetooth передавач та приймач, радіомодулі nRF24, АЦП РСМ 1708 та ЦАП РСМ5102А, мікроконтролер ESP32, попередній підсилювач з активним фільтром, напруга живлення +5В.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Розробити схеми електричні принципові для трьох прототипів радіосистеми, спроектувати друковані плати та електронні модулі, провести дослідження характеристик прототипів та порівняти їх між собою.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Схема електрична принципова передавача, схема електрична принципова приймача, кресленик друкованої плати передавача, кресленик друкованої плати приймача, кресленик друкованого вузла передавача, кресленик друкованого вузла приймача.

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

8. Дата видачі завдання 05 вересня 2022 року

Календарний план

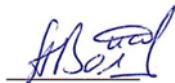
№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Отримання теми магістерської дисертації	05.09.2022р.	
2	Розробка плану магістерської дисертації	10.09. 2022р.	
3	Початок збору інформації для дослідження	24.09.2022р.	
4	Порівняльний аналіз способів передавання	07.10.2022р.	
5	Складання схем електричних принципових	21.10.2022р.	
6	Розробка друкованих плат	04.11.2022р.	
7	Складання конструкторської документації	18.11.2022р.	
8	Проведення дослідження	25.11.2022р.	
9	Розробка стартап-проєкту	02.12.2022р.	
10	Оформлення магістерської дисертації	09.12.2022р.	

Студент



Василь БІЛУХА

Науковий керівник



Володимир АДАМЕНКО

АНОТАЦІЯ

Магістерська дисертація присвячена покращенню якості передавання аудіосигналу у радіосистемі для музичних інструментів обсягом 69 сторінок, включає 5 розділів, 43 ілюстрації, 40 таблиць та 21 бібліографічних найменувань за переліком джерел посилань.

Ключові слова: аудіосигнал, радіосистема, радіомодуль, передавач, приймач, .Bluetooth, АЦП, ЦАП.

Актуальність роботи. Сучасна професійна аудіоапаратура має високу вартість, що значно обмежує її використання музичними гуртами, які тільки розпочинають музичну кар'єру. Розроблення ж подібної апаратури з використанням доступних та дешевих електронних комплектуючих не завжди призводить до задовільного результату в їх роботі. Тому актуальною задачею є проведення порівняння методів безпроводного передавання аудіоінформації для вибору оптимальних рішень, які можна застосувати в не професійній аудіоапаратурі.

Мета роботи. Метою роботи є розроблення прототипів радіосистем із різними способами передавання аудіосигналу для визначення їх впливу на якість передавання аудіосигналів..

Для досягнення поставленої мети, необхідно: визначитися з основними способами передавання аудіо сигналу; розібратися з особливостями підключення радіомодулів ; розробити друковані плати для трьох прототипів у середовищі Altium Designer; дослідити характеристики за допомогою середовища для запису Reaper.

Об'єкт та предмет дослідження. Об'єктами дослідження є радіомодулі передавання та приймання.

Предметом дослідження виступають конструкції, параметри та характеристики радіомодулів.

Методи дослідження. Моделювання прототипів у середовищі Altium Designer; фізичне дослідження частини характеристик за допомогою середовища для запису Reaper.

Практичне значення одержаних результатів: На основі отриманих характеристик буде обрано найкращий спосіб передавання аудіосигналів для подальшого застосування під час проектування цифрових аудіосистем.

ANNOTATION

Master's thesis on the improvement of the quality of the transmission of the audio signal of the radio system for music programs in the volume of 71 pages, including 5 chapters, 43 images, 40 tables and 21 bibliographic names of sources for the list of instruments.

Keywords: audio signal, radio system, radio module, transmitter, receiver, Bluetooth, ADC, DAC.

Relevance of the research goal. Having developed the construction of a radio system in a bachelor's thesis, the question arose about improving the quality of signal transmission, since the quality and speed of transmission arise when there are problems with the sound instrument and its connection with other instruments. In order to find the best one, it was decided to investigate which of the possible transmission methods is the best for this task.

This master's thesis is dedicated to this problem.

Purpose and tasks. Study of the characteristics of radio modules and construction of radio system prototypes with free signal transmission methods, and study of the characteristics of these prototypes.

To achieve the goal, it is necessary to: change the main methods of audio signal transmission; understand the features of connecting radio modules; design printed circuit boards for three prototypes in the Altium Designer environment; explore some of the features with the Reaper recording environment.

Object and subject of research. The objects of research are radio modules for transmission and reception.

The design, parameters and characteristics of radio modules are the subject of research.

Research methods. Modeling prototypes in the Altium Designer environment; physical examination of part of the characteristics using the Reaper recording environment.

Practical significance of the obtained results: On the basis of the obtained characteristics, the best method of transmission will be chosen, and on its basis, the

following prototypes of the radio system will be developed and improved, the housing will be developed and tested in real working conditions.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломного проєкту

на тему: «Підвищення якості передавання аудіосигналу в цифровій
радіосистемі для музичних інструментів»

Київ — 2022 року

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	5
Вступ.....	6
1 Аналіз та порівняння способів передавання дани	7
1.1.1 Кабельне з'єднання.....	7
1.1.2 Бездротові способи	8
1.2 Цифровий бездротовий спосіб передавання даних	9
1.2.1 Використання технології Wi-Fi	11
1.2.2 Використання технології Bluetooth.....	12
1.2.3 Використання допоміжного nRF модуля	12
1.3 Порівняння способів передавання даних	14
1.3.1 Модуль з АМ-передавачем	14
1.3.2 Цифровий модуль nRF24 з мікроконтролером ESP32	15
1.3.3 Модуль на основі технології Bluetooth	16
2 Вибір схемотехнічних рішень.....	19
2.1 Складання схем передавача	19
2.1.1 Вдосконалення аналогової частини схеми передавача.....	19
2.1.2 АМ передавач	20
2.1.3 Bluetooth передавач.....	21
2.1.4 Передавач на основі модуля nRF24	22
2.2 Складання схем приймача.....	23
2.2.1 Схема вихідного буферу на ОП.....	23

					<i>РЕ-11мп4644 15.001 ПЗ</i>		
Змін	Лист	№ докцм.	Підпис	Дата			
Розробив	Білуха В. С.				Підвищення якості передавання аудіосигналу в цифровій радіосистемі для музичних інструментів	Літ.	Лист
Перевірів	Адаменко В. О.						1
Н. Контр.						<i>РТФ</i>	
Затвердив							

2.2.2	АМ приймач	23
2.2.3	Bluetooth приймача	24
2.2.4	Приймач на основі модуля nRF24	25
3	Проектування прототипів.....	26
3.1	Вибір та обґрунтування елементної бази	26
3.1.1	Вибір пасивних елементів.....	26
3.1.2	Вибір світлодіодів.....	27
3.1.3	Вибір операційного підсилювача	27
3.1.4	Вибір вхідних та вихідних роз'ємів	27
3.1.5	Вибір роз'ємів підключення акумулятора, вмикача	27
3.1.6	Вибір змінних резисторів	28
3.1.7	Вибір мікроконтролера.....	28
3.2	Вибір АЦП та ЦАП.....	28
3.2.1	Вибір АЦП	28
3.2.2	Вибір ЦАП	30
3.3	Проектування друкованого вузла передавача.....	31
3.3.1	Вибір матеріалу друкованої плати	31
3.3.2	Вибір класу точності друкованої плати.....	31
3.3.3	Розрахунок ширини друкованих провідників.....	32
3.3.4	Розрахунок контактних майданчиків.....	33
3.3.5	Розрахунок площі друкованої плати.....	34
3.3.6	АМ передавач	35
3.3.7	Bluetooth передавач.....	35
3.3.8	Передавач на основі модуля nRF24	36

3.4	Проектування друкованого вузла приймача	36
3.4.1	Вибір матеріалу друкованої плати	36
3.4.2	Вибір класу точності друкованої плати.....	36
3.4.3	Розрахунок ширини друкованих провідників.....	37
3.4.4	Розрахунок контактних майданчиків.....	37
3.4.5	Розрахунок площі друкованої плати.....	38
3.4.1	АМ приймач	39
3.4.2	Bluetooth приймач	39
3.4.3	Приймач на основі модуля nRF24	40
3.5	Трасування друкованих плат	41
3.5.1	АМ передавач	41
3.5.2	Bluetooth передавач.....	42
3.5.3	Передавач на основі модуля nRF24	43
3.5.4	АМ приймач	44
3.5.5	Bluetooth приймач	45
3.5.6	Приймач на основі модуля nRF24	46
3.6	Виготовлені прототипи	47
4	Експериментальне дослідження	49
4.1	Дослідження відстані передавання	49
4.1.1	АМ прототип	49
4.1.2	Bluetooth прототип	50
4.1.3	Прототип на nRF 24	50
4.2	Дослідження затримки передавання сигналу	50
4.2.1	АМ прототип	51

4.2.2 Bluetooth прототип	52
4.2.3 Прототип на nRF 24	52
4.3 Дослідження на власні шуми радіосистеми	53
4.3.1 AM прототип	53
4.3.2 Bluetooth прототип	54
4.3.3 Прототип на nRF 24	54
4.4 Порівняння отриманих даних	55
5 Розробка стартап проєкту	57
Висновки	68
Перелік джерел посилань	70

					РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЦП — аналого-цифровий перетворювач.

ЦАП — цифро-аналоговий перетворювач.

ФНЧ — фільтр низьких частот.

ОП — операційний підсилювач.

БЖ — блок живлення.

ДП — друкована плата.

МК — мікроконтролер.

SMD — «Surface-mounted device» — поверхневий монтаж.

SPI — "Serial Peripheral Interface" — послідовний периферійний інтерфейс

I²S — послідовний інтерфейс для з'єднання цифрових аудіоприладів.

DC — "Direct current" — постійний струм.

AM — амплітудна модуляція.

FM — частотна модуляція.

BT — Bluetooth.

					<i>РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ</i>	Аркуш
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Якісне передавання аудіосигналу радіосистеми — запорука відмінного звучання інструменту музиканта, та його поєднання з іншими інструментами у загальному звучанні гурту.

Багато сучасних компаній, які виробляють апаратуру для музикантів, зокрема радіосистеми, використовують власні, розроблені спеціально для них мікросхеми попереднього підсилювача, фільтрів, та радіопередавачів, що значно ускладнює дослідження заводських аналогів та можливості вдосконалення приладів на їх основі. Саме тому тема роботи є актуальною, адже на її основі можна побудувати різні варіанти радіосистеми та обрати який є найкращим та вдосконалювати його далі.

Робота є продовженням бакалаврської роботи на тему «Цифрова інструментальна радіостанція» [1].

Розробивши прототип радіосистеми у бакалаврській роботі постало питання покращення якості передавання сигналу, адже тоді спосіб було обрано через його доступність і відповідність технічних характеристик поставленій задачі. Повноцінних досліджень та випробувань не проводилось і було складно оцінити якість передавання аудіосигналу та загальну роботу радіосистеми.

У даній роботі проведено практичне дослідження трьох способів передавання аудіосигналу на різних модулях, та характеристик цих прототипів радіосистеми, вдосконалити аналогову частину передавача, розробити друковані плати прототипів. А також порівняно цифрові способи передавання аудіосигналу із аналоговим.

					<i>РЕ-11мп.464415.001 ПЗ</i>	Аркуш
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ТА ПОРІВНЯННЯ СПОСОБІВ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ

1.1.1 Кабельне з'єднання

Передавання даних за допомогою кабелю є одним із найпростіших, найпоширеніших та найстаріших способів передавання електричного сигналу. Він з'явився разом із появою електрики. Цей вид зв'язку реалізується за допомогою кабелів, і дозволяє передавати сигнал як на невеликі відстані, так і на доволі значущі. Передавання за допомогою кабелю є простим, але доволі дорогим способом, адже чим більша відстань, тим більшу кількість металу чи сплаву потрібно на його виготовлення. Враховуючи потребу у високий провідності, то, зазвичай, такі кабелі виготовляються з міді.

У аудіо часто використовується передавання даних за допомогою кабелю, адже це забезпечує якісну, швидку передавання сигналу, майже не спотворюючи його на коротких відстанях. Але для музикантів які багато рухаються на сцені кабельне підключення є не зручним, бо обмежує рухи та часто плутається під ногами створюючи травматичні ситуації. На рисунку 1.1 показано схему передавання сигналу за допомогою кабелю.

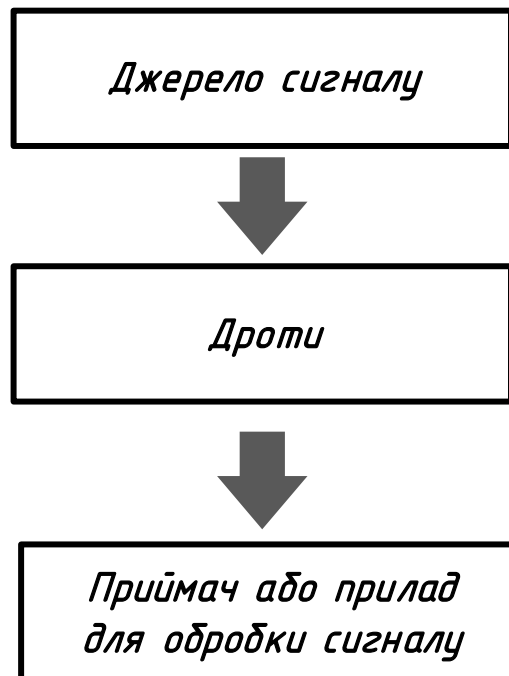


Рисунок 1.1 — Схема передавання сигналу дротовим способом

1.1.2 Бездротові способи

Для передавання сигналу бездротовими методами необхідно використовувати модуляцію, адже частотні характеристики каналу зв'язку не відповідають частоті сигналу, який треба передати.

Розрізняють два основні способи модуляції сигналів:

Частотна модуляція — вид модуляції, при якому інформаційний сигнал управляє частотою несучого коливання. У порівнянні з амплітудною модуляцією тут амплітуда залишається незмінною.[2]

Амплітудна модуляція — вид модуляції, при якій параметром сигналу носія, що змінюється, є амплітуда його коливань. [3] На рисунку 1.2 показано загальну схему аналогового бездротового передавання аудіосигналу.



Рисунок 1.2 — Загальна схема бездротового передавання аналогового сигналу.

Пристрої що реалізують дану схему передають аудіосигнал у вигляді радіохвиль від передавача до приймача. Також таким способом можлива реалізація дуплексної передавання аудіосигналу.

1.2 Цифровий бездротовий спосіб передавання даних

Цифровий спосіб передавання є дещо складнішим за аналоговий, адже потребує додаткових блоків для перетворення сигналу у цифровий вигляд перед передавачем та перетворення цифрового сигналу назад у аналоговий після його приймання та оброблення.

Аналого-цифрове перетворення — це перетворення аналогової інформації у цифровий код. Пристрій який виконує перетворення безперервно змінюваних у часі значень аналогового сигналу у еквівалентні значення числових кодів називають аналого-цифровим перетворювачем (АЦП). АЦП перетворює аналогові сигнали у цифрові які придатні для подальшої обробки

Цифро-аналогове перетворення — це перетворення дискретних сигналів у еквівалентні їм аналогові, тобто безперервні у часі сигнали. Пристрій що здійснює це перетворення називають цифро-аналоговими перетворювачами (ЦАП). ЦАП виконує протилежну до АЦП операцію, і у багатьох приладах вони часто працюють в парі.

На рисунку 1.3 показано загальну схему передавання сигналу цифровим способом.

					РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.3 — Загальна схема передавання сигналу цифровим способом

1.2.1 Використання технології Wi-Fi

На рисунку 1.4 показано схему передавання аудіосигналу за допомогою Wi-Fi.

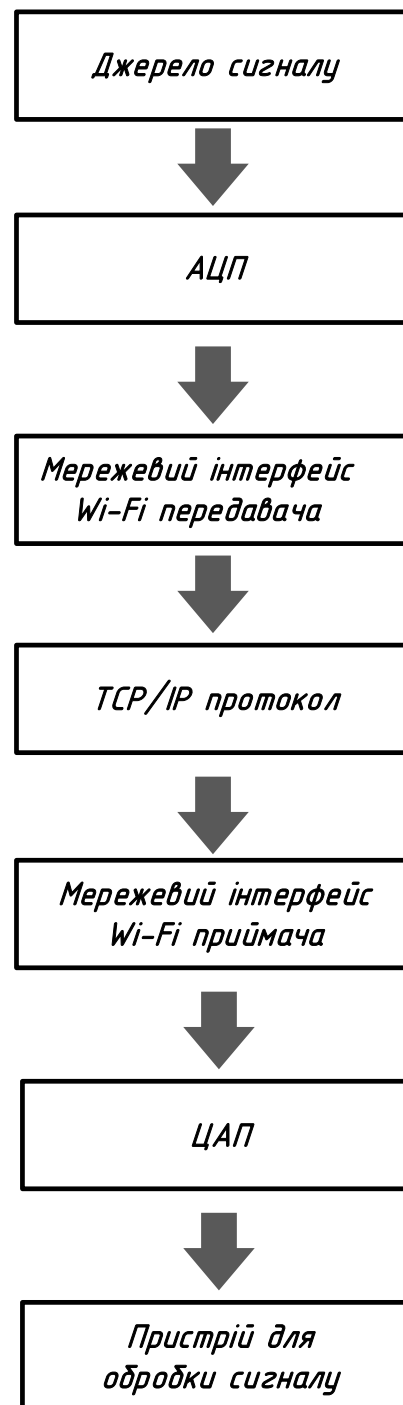


Рисунок 1.4 — Схема передавання аудіосигналу за допомогою Wi-Fi

Даний спосіб передавання аудіо не підходить для задач радіосистеми, адже може потребувати додаткових приладів, через це може значно збільшитись затримка передачі сигналу.

1.2.2 Використання технології Bluetooth

На рисунку 1.5 показано схему передавання сигналу за допомогою технології Bluetooth.

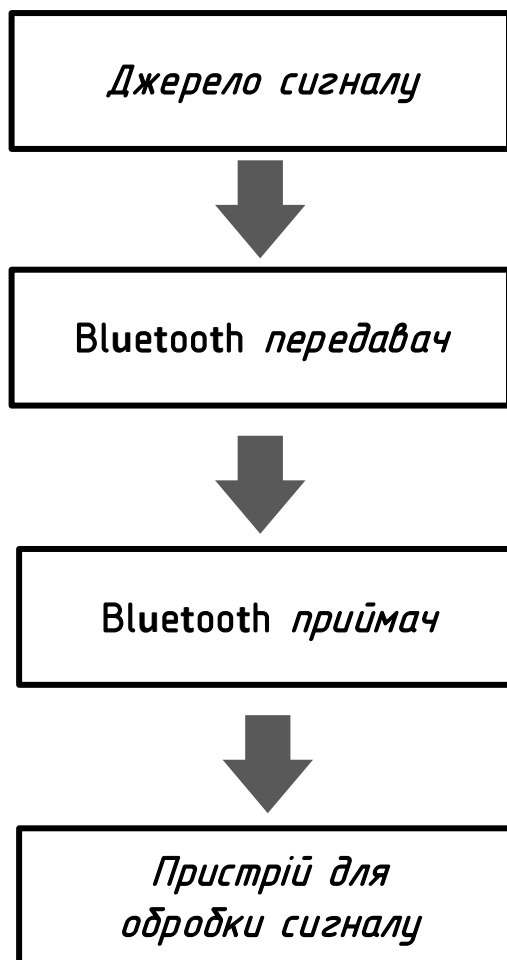


Рисунок 1.5 — Схема передавання сигналу за допомогою технології Bluetooth

Даний спосіб передавання є простішим, не потребує додаткових приладів, а наявність АЦП та ЦАП є на більшості Bluetooth модулях.

Використання Bluetooth технології дозволяє в якості приймача використовувати бездротові Bluetooth навушники, колонки тощо.

1.2.3 Використання допоміжного nRF модуля

На рисунку 1.6 показано схему передавання на основі nRF модуля.

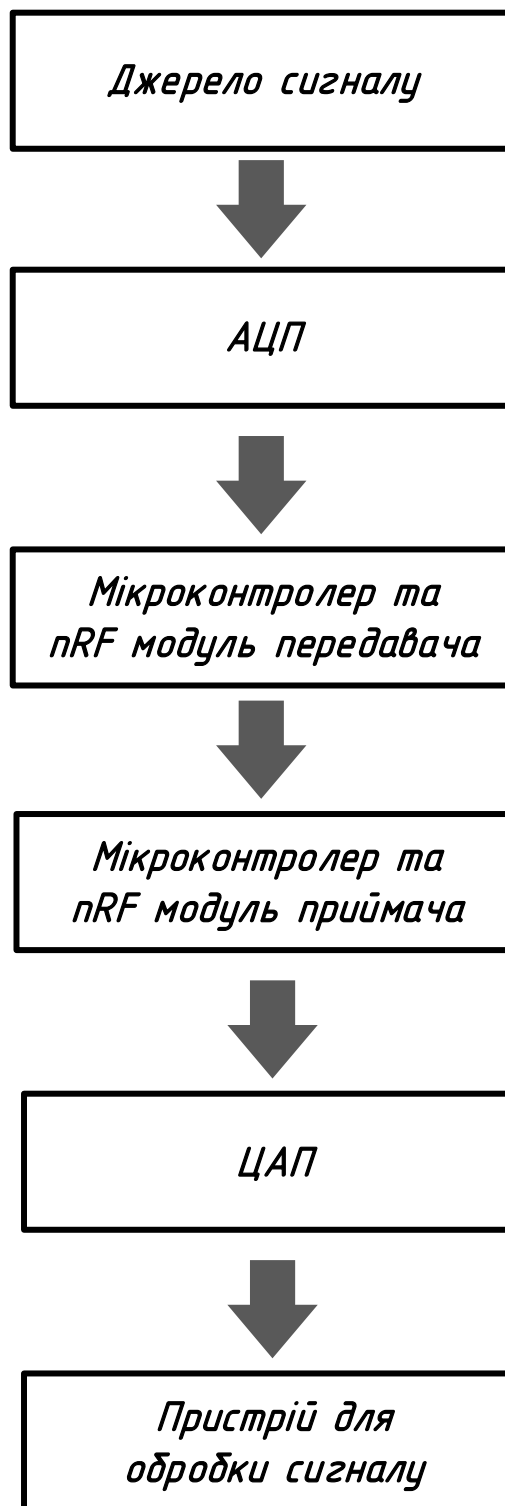


Рисунок 1.6 — Схема передавання на основі nRF модуля

Такий спосіб передавання конструктивно є доволі складним, але не потребує додаткових зовнішніх приладів.

1.3 Порівняння способів передавання даних

Для того щоб обрати найкращий спосіб передавання для наших задач було вирішено дослідити який із можливих способів передавання є найкращим.

Для порівняння було обрано три способи передавання сигналу. Для побудови прототипів потрібно обрати на яких модулях буде канал передачі.

1.3.1 Модуль з АМ-передатчем

Досліджуваний прототип буде побудовано на основі АМ модуля з робочою частотою 433МГц від Elecrow, який показано на рисунку 1.7 [4].

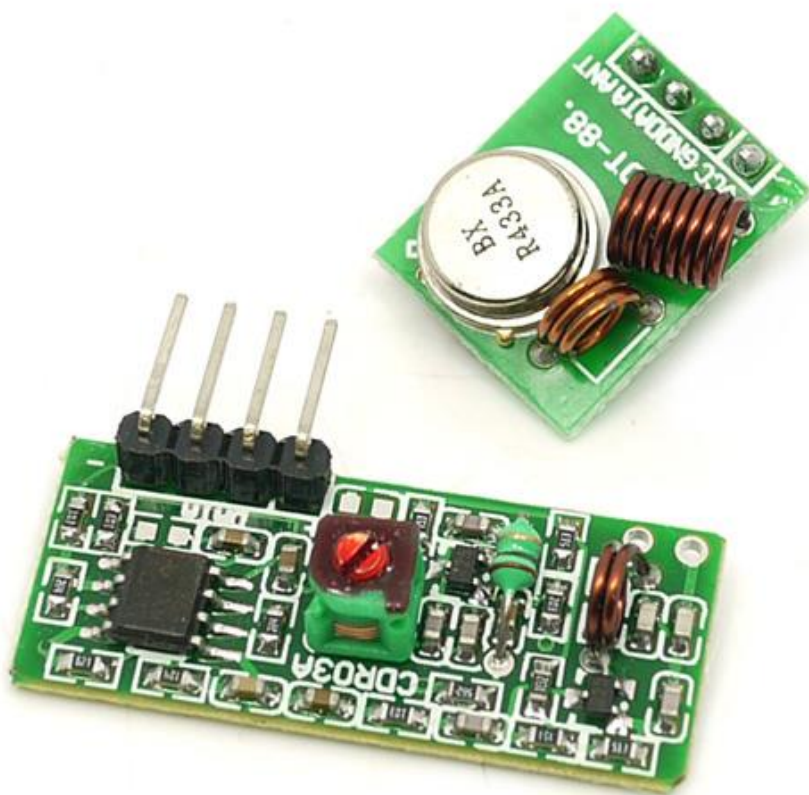


Рисунок 1.7 — Радіопередатчик та приймач 433МГц від Elecrow

Характеристики радіомодуля [4]:

- частота 433МГц
- амплітудна модуляція

Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата

РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ

Аркуш

14

- вихід приймача: логічна одиниця 1/2 напруги живлення, логічний нуль 0,7В
- живлення передавача: 3-12В (чим вища напруга, тим більша потужність передачі)
- розмір передавача: 19х19мм
- розмір приймача: 30х13мм
- дальність передавання від 20-150м

Даний модуль є доволі простим у підключенні та налаштуванні, має характеристики які підходять для задач радіосистеми .

Також цей модуль можна використати і для передавання цифрового сигналу, але тоді потребуватиме підключення зовнішніх АЦП та ЦАП із зовнішнім тактуванням що значно ускладнить схему включення.

1.3.2 Цифровий модуль nRF24 з мікроконтролером ESP32

На рисунку 1.8 показано радіомодуль nRF24 [5].

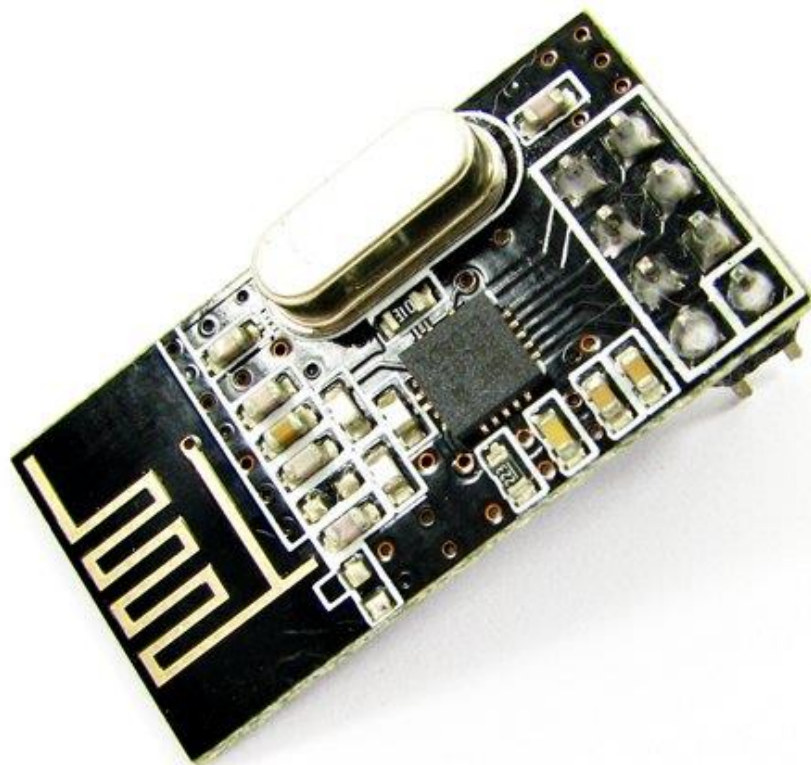


Рисунок 1.8 — Радіомодуль nRF24

					<i>РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		15

Характеристики радіомодуля [5]:

- швидкість до 2Мбіт (налаштовується 2, 1, 0,25 Мб/с)
- 126 каналів зв'язку, підключення один до багатьох, стрибкоподібна перебудова частоти
- апаратний контроль помилок, контроль адресації багатоточкового зв'язку
- низьке енергоспоживання: 1.9 - 3.6В, 1мкА у режимі Power down
- вбудована 2.4ГГц антена
- вбудований регулятор напруги
- модуляція GFSK
- розміри: 15 x 29 мм
- радіус дії до 500м

Радіомодуль використовують для зв'язку мікроконтролерів між собою. Працює на частоті 2.4ГГц (частота не потребує дозволів, яка так само використовується для WiFi), швидкість до 2Мбіт, управляється по інтерфейсу SPI, живлення 3.3В.

Цей радіомодуль є доволі доступний, простий у підключенні, але потребує мікроконтролера для обробки даних

1.3.3 Модуль на основі технології Bluetooth

Bluetooth модулі є дуже прості у підключенні та налаштуванні, не потребують додаткових зовнішніх АЦП та ЦАП

Модулі мають функції збереження попередніх підключень, тому тривалим буде лише перше підключення передавача до приймача.

Bluetooth технологія дозволяє використати у якості приймача бездротові навушники, що доволі зручно для практикувати гру на музичному інструменті, адже зменшується кількість підключених пристроїв.

Передавач

На рисунку 1.9 показано модуль передавача KCX_BT_EMITTER 5V [6].

					РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

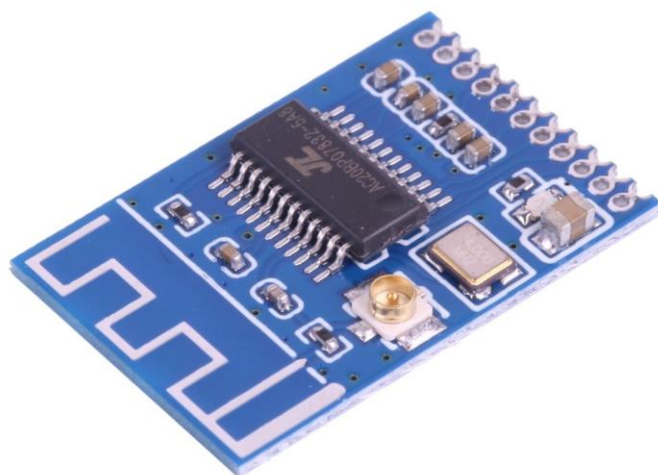


Рисунок 1.9 — Модуль передавача KCX_BT_EMITTER 5V

Характеристики модуля[6]:

- Технологія Bluetooth 5.1, висока універсальність
- Інтуїтивно зрозуміла світлодіодна індикація
- Лінійний вхід стерео
- Відстань бездротової передачі ≥ 10 метрів
- Робоча напруга: 5В
- АЦП 16 біт 44,1кГц

Приймач

На рисунку 1.10 показано модуль приймача МН-М18[7].

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ

Аркуш

17

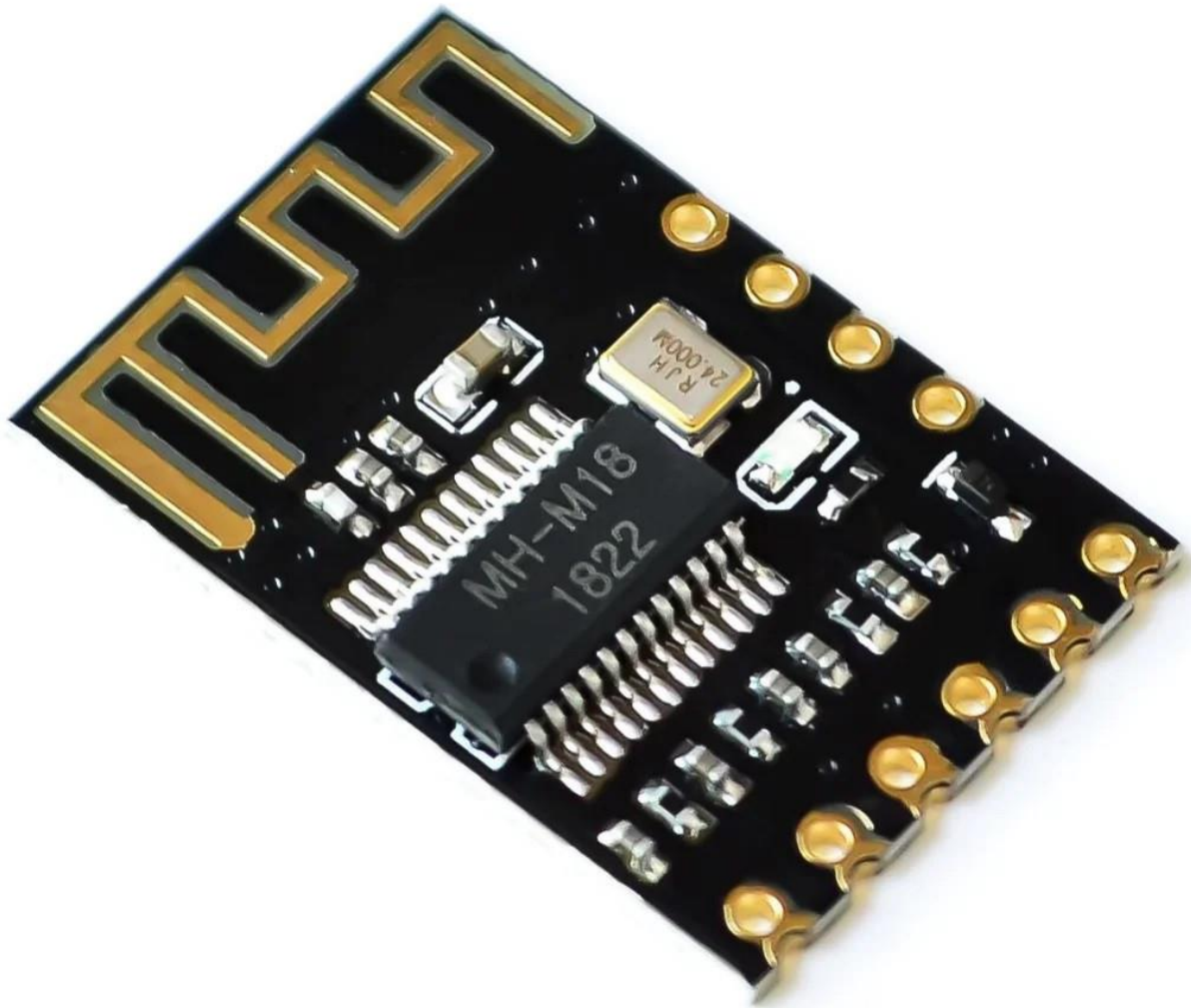


Рисунок 1.10 — Модуль приймача МН-М18

Характеристики модуля [7]:

- живлення 4.2-5в.
- кількість каналів аудіо — 2 (стерео);
- режим MUTE.
- Bluetooth 4.2
- розмір 16 мм, X, 23 мм, X, 3 мм.

У розділі проаналізовано різні способи передавання аудіосигналу, їх переваги та недоліки.

Під час аналізу способів обрано три які найбільше відповідають поставленим завданням та проаналізовано способи їх реалізації.

					РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ВИБІР СХЕМОТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

Для об'єктивного оцінювання усі аналогові частини схеми для усіх передавачів вважаємо ідентичними. Також будуть використані напрацювання з бакалаврського проєкту.

2.1 Складання схем передавача

2.1.1 Вдосконалення аналогової частини схеми передавача

На рисунку 2.1 показано вдосконалену схему аналогової частини передавача.

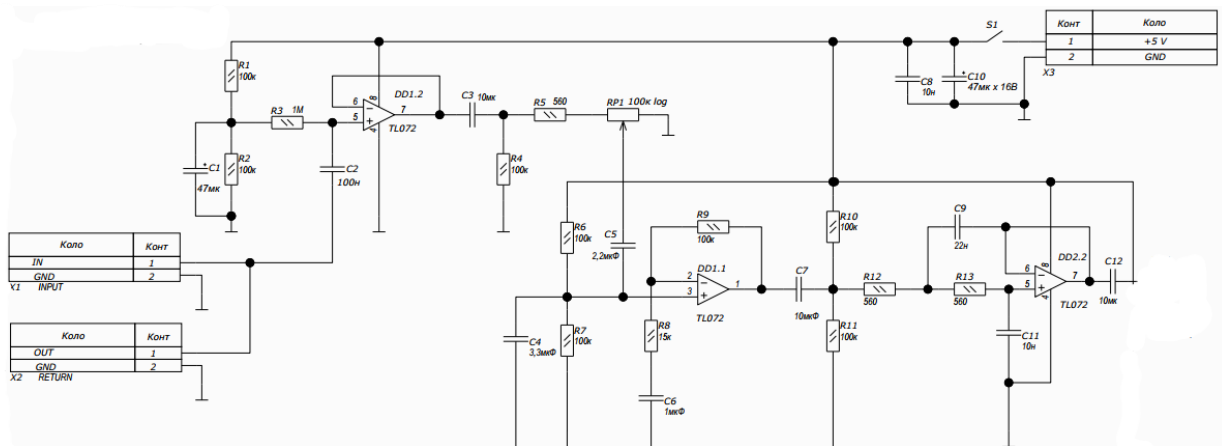


Рисунок 2.1 — Вдосконалена схема аналогової частини передавача.

Опираючись на досвід отриманий під час роботи над бакалаврським проєктом вирішено що аналогова частина схеми передавача потребує певного вдосконалення у вигляді узгоджувального буферу.

У схему додано узгоджувальний буфер на мікросхемі TL072. Він служить для узгодження високоомного виходу електрогітари або бас-гітари та низькоомного входу передпідсилювача. Даний буфер не впливає на коефіцієнт підсилення передпідсилювача та не впливає на АЧХ сигналу. Буфер побудований на одній половині здвоєного операційного підсилювача (ОП) TL072, яка включена як неінвертуючий ОП. На рисунку 2.2 показано схему буфера.

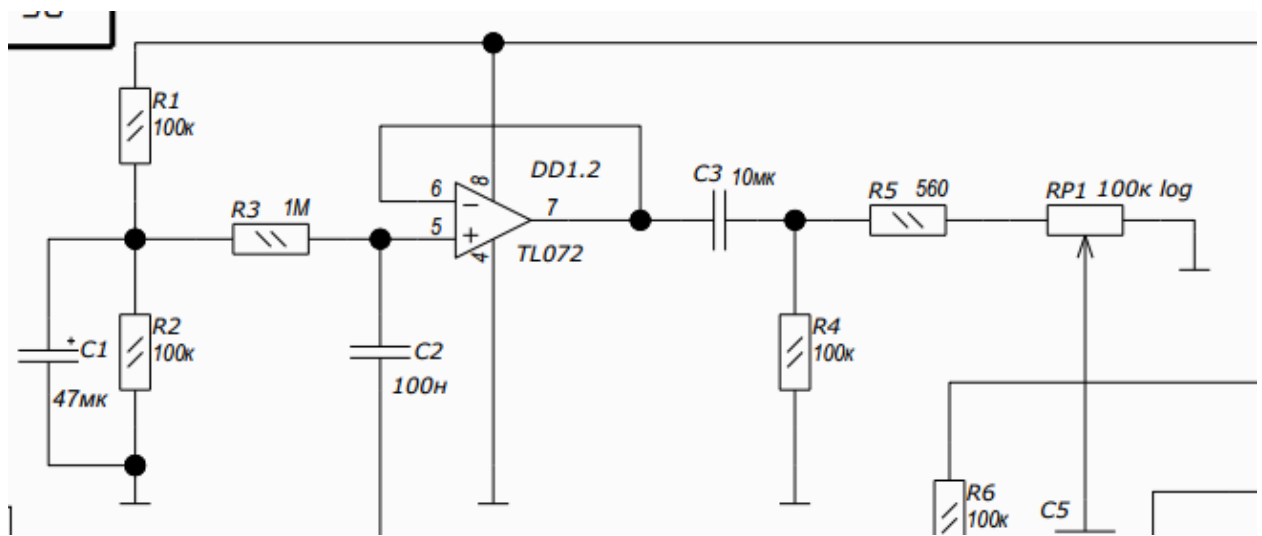


Рисунок 2.2 — Схема узгоджувального буферу

На виході буферу стоїть регулятор рівня вхідного сигналу, для можливості підключення інструментів з різним рівнем вихідного сигналу.

Схема передпідсилювача та фільтру залишилась незмінною з бакалаврського проекту. На рисунку 2.3 показано схему передпідсилювача та фільтру.

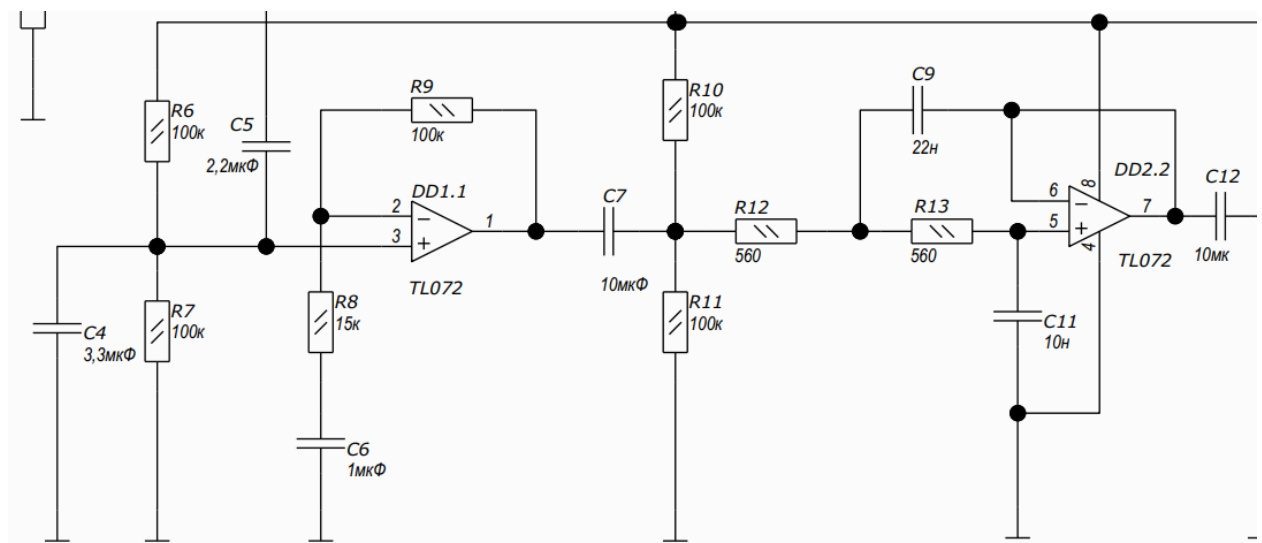


Рисунок 2.3 — Схема передпідсилювача та фільтру

2.1.2 АМ передавач

На рисунку 2.4 показано схему АМ передавача

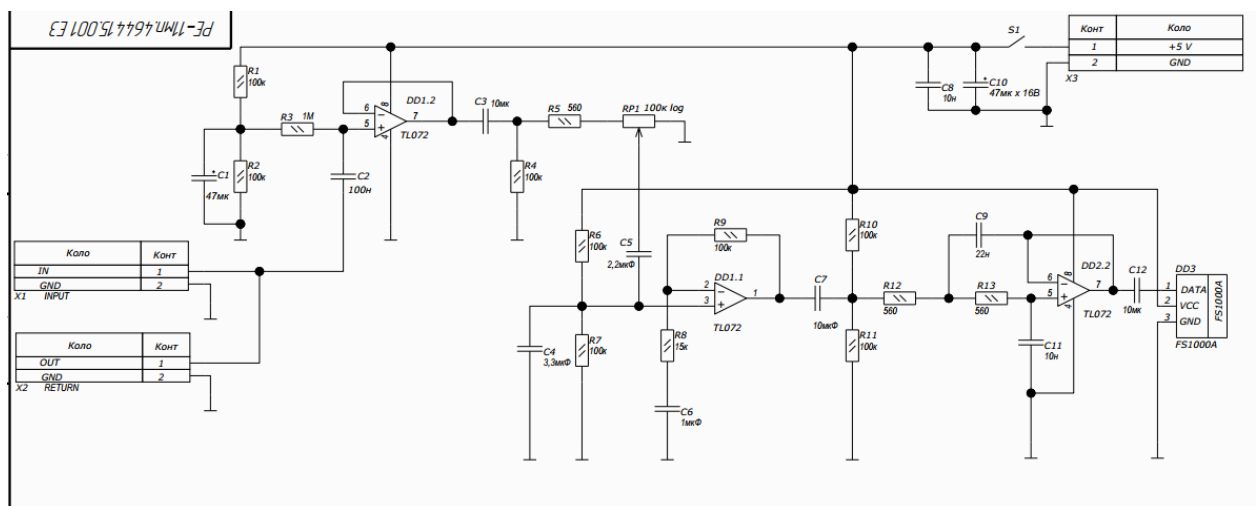


Рисунок 2.4 — Схема АМ передавача

Модуль передавача підключається за допомогою трьох пінів, а саме:

- DATA;
- VCC;
- GND.

2.1.3 Bluetooth передавач

На рисунку 2.5 показано схему Bluetooth передавача

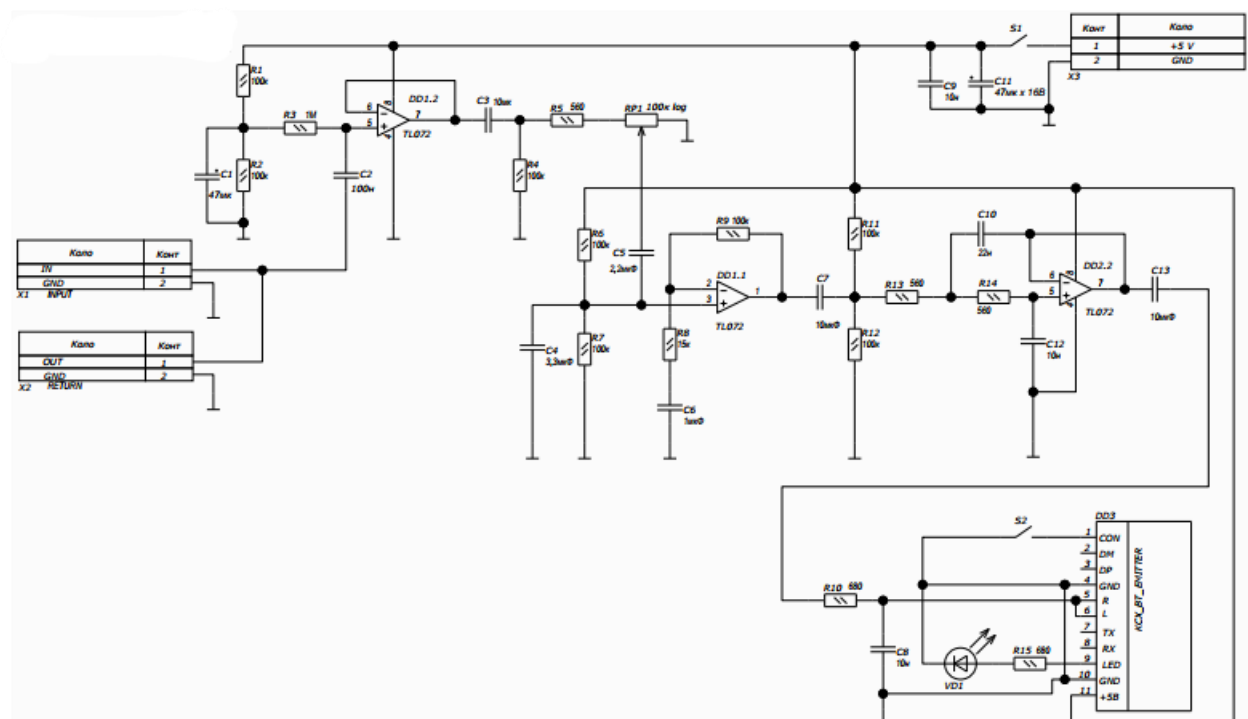


Рисунок 2.5 — Схема Bluetooth передавача

2.2 Складання схем приймача

Для об'єктивності порівняння аналогову частину приймачів вважатимемо ідентичною, побудовану на вихідному буфері.

2.2.1 Схема вихідного буферу на ОП

На рисунку 2.7 показано схему вихідного буферу на ОП,.

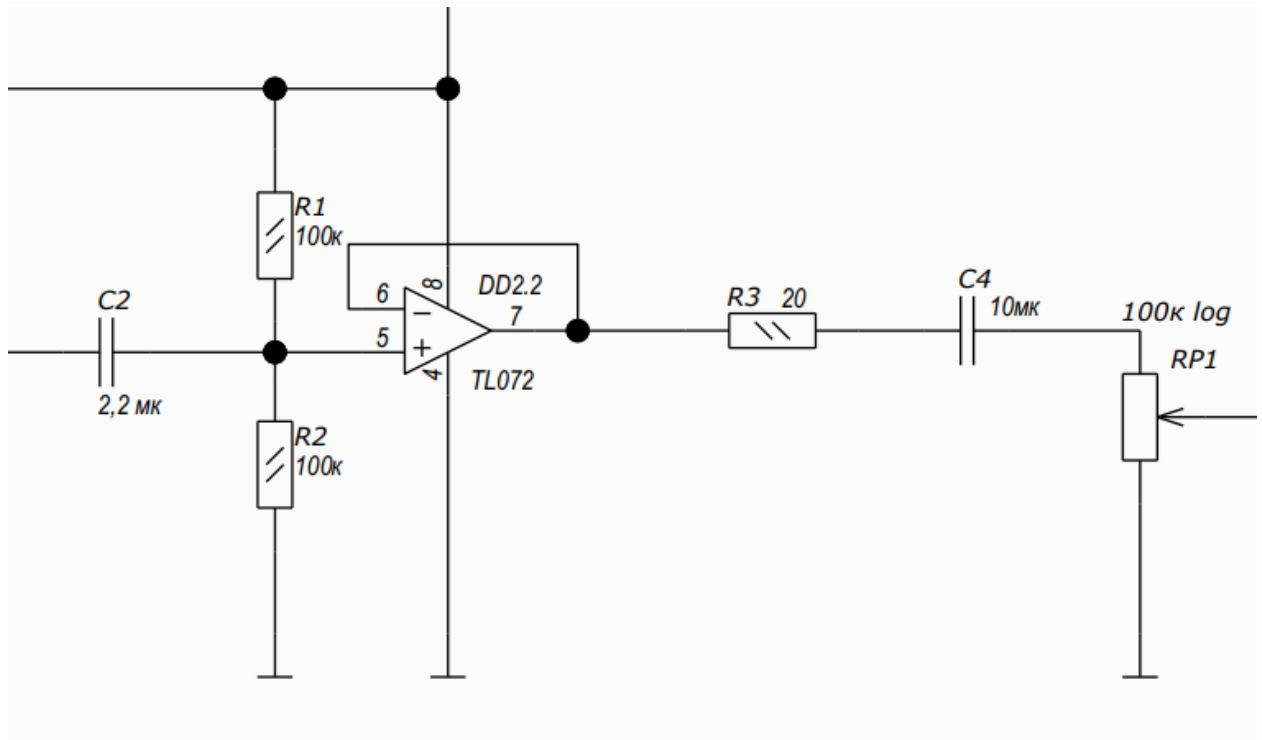


Рисунок 2.7 — Схема вихідного буферу на ОП

Буфер на ОУ використовується для узгодження вихідного опору, та для регулювання рівня вихідного сигналу.

Вихідний буфер побудовано на мікросхемі TL072, це здвоєний ОП, з низьким рівнем шуму. На виході буферу є змінний резистор який дозволяє регулювати рівень вихідного сигналу.

2.2.2 АМ приймач

На рисунку 2.8 показано схему АМ приймача,

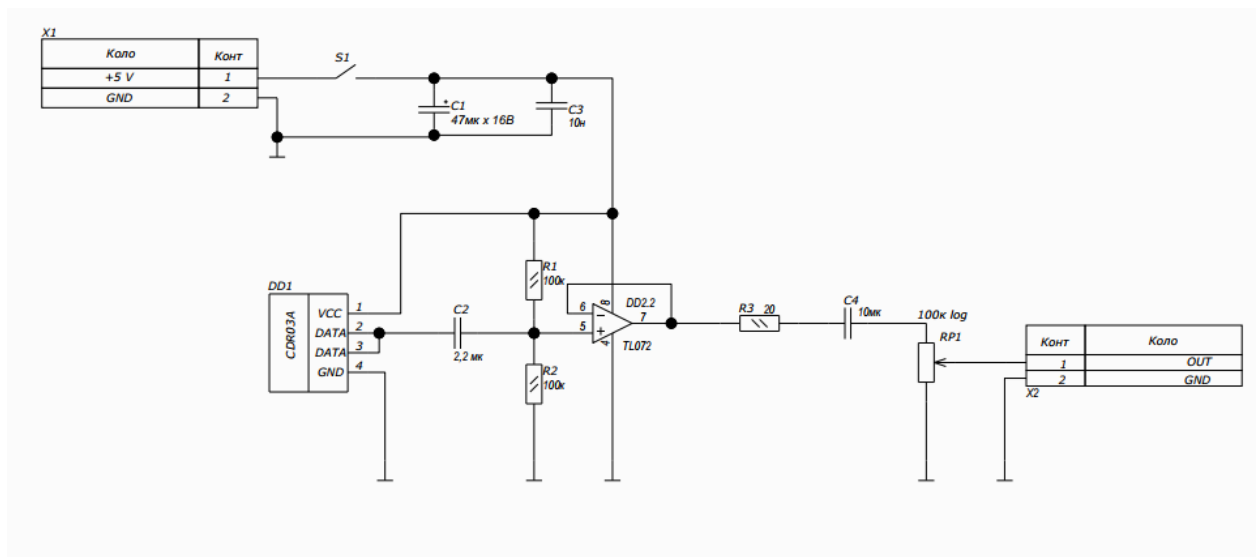


Рисунок 2.8 — Схема АМ приймача

Модуль приймача підключається за допомогою чотирьох пінів, а саме:

- DATA;
- DATA;
- VCC;
- GND.

2.2.3 Bluetooth приймача

На рисунку 2.9 показано схему Bluetooth приймача.

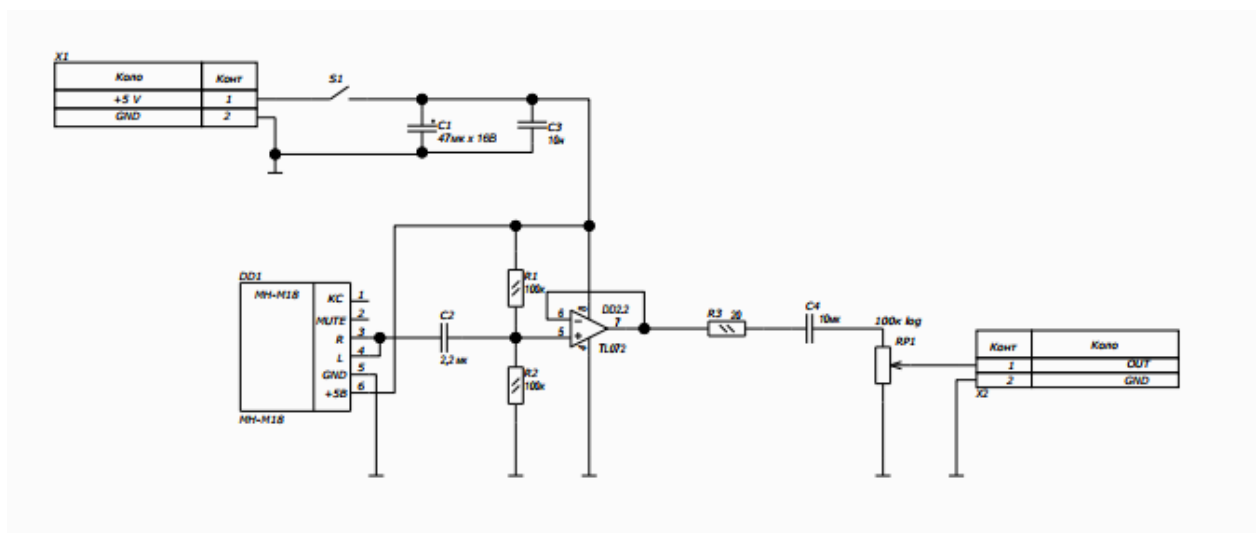


Рисунок 2.9 — Схема Bluetooth приймача

Модуль Bluetooth приймача підключається простіше ніж передавач, без додаткових кнопок та світлодіодної індикації. Використовуються піни:

- L;
- R;
- VCC;
- GND.

2.2.4 Приймач на основі модуля nRF24

На рисунку 2.10 показано схему приймача на основі модуля nRF24

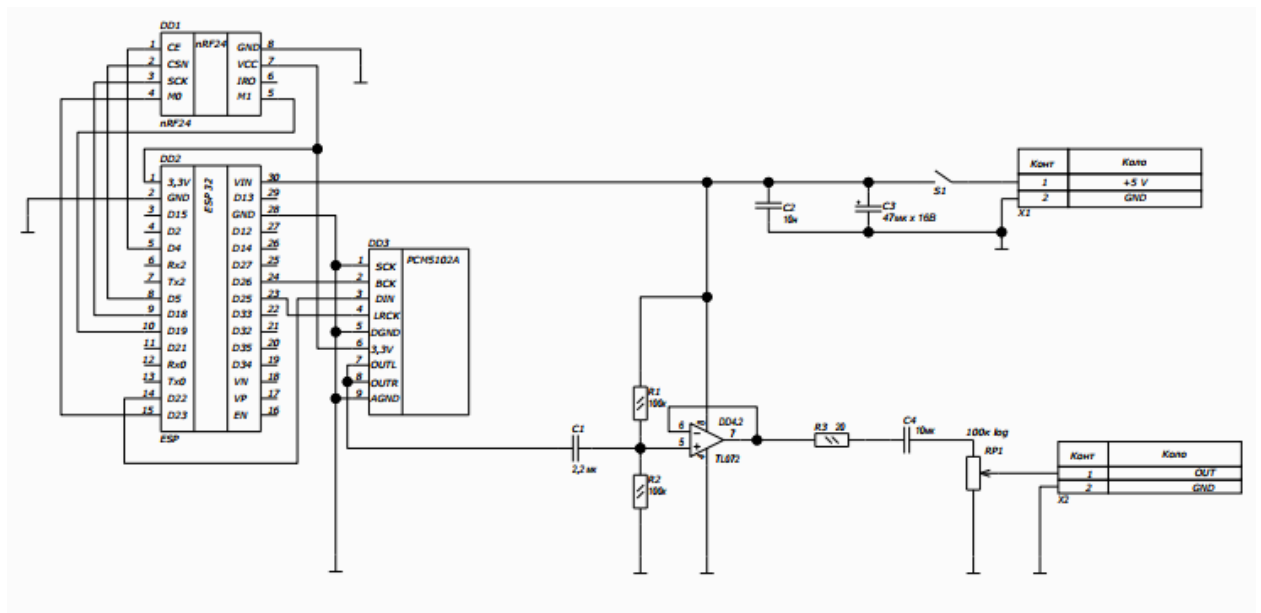


Рисунок 2.10 — Схема приймача на основі модуля nRF24

Підключення ЦАП виконується п'ятьма пінами, а саме:

- BCK;
- DIN;
- LCK;
- 3,3V;
- GND.

Підключення модуля nRF24 є аналогічним передавачу.

3 ПРОЕКТУВАННЯ ПРОТОТИПІВ

3.1 Вибір та обґрунтування елементної бази

При виборі елементної баз слід враховувати такі фактори:

- елементна база впливає на габарити пристрою;
- елементна база впливає на технологію виготовлення пристрою;
- для того щоб забезпечити відповідні електричні параметри схеми елементи повинні бути обрані з відповідним допуском;
- елементна база повинна бути доступною;
- елементна база повинна якісною, для забезпечення роботи приладу мінімум на увесь гарантійний строк.

Для зменшення габаритів та спрощення виготовлення плат буде використано елементи поверхневого монтажу (SMD).

Так як виконання пристроїв на даному етапі є експериментальним, слід обирати елементну базу яка може бути встановлена на друковану плату без спеціалізованого обладнання.

Для вибору компонентів було використано каталоги двох найпопулярніших інтернет-магазинів радіоелементів:

- «РКСКОМПОНЕНТИ»[8];
- «ІМРАД»[9];

3.1.1 Вибір пасивних елементів

Розроблювані прототипи можна віднести до побутової техніки, та зважаючи на схемотехніку приладів, тому пасивні елементи обрані із допуском у межах 5-10%. Номінали пасивних компонентів обрано за стандартним рядом E24. Для зручності монтажу використано резистори та керамічні конденсатори у SMD корпусі типопозміру 1206. Для зменшення габаритів плат прототипів, та спрощення монтажу елементів замість електролітичних конденсаторів було використано танталові конденсатори у SMD корпусі D-типу.

Обрано резистори виготовлені компанією Hitano, конденсатори керамічні та танталові — компанією AVX. Вибір саме цих виробників обумовлений

					РЕ-11мп.464415.001 ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

доступністю продукції цих компаній на ринку та відповідністю вимогам за допусками.

3.1.2 Вибір світлодіодів

Для індикації підключення Bluetooth передавача використано вивідний світлодіод GNL-3014UEC синього кольору, діаметром 3мм. Встановлюється на плату із зворотного боку плати.

3.1.3 Вибір операційного підсилювача

Для ОП у передавачі та приймачі використано мікросхему TL072 це здвоєний операційний підсилювач, з низьким рівнем шуму, що виготовляється компанією Texas Instruments. Дана мікросхема має такі характеристики:

- великий динамічний діапазон 100 дБ;
- напруга живлення 3-30В;
- низький коефіцієнт спотворень;
- струм споживання 0,7-2 мА.

3.1.4 Вибір вхідних та вихідних роз'ємів

Так як для прототипів не передбачено корпусів використано роз'єм з монтажем на ДП, а саме JC-211 виробництва компанії Ninigi. Ці роз'єми часто використовуються у професійній музичній апаратурі. Перевагою цих роз'ємів є наявність додаткового контакту GND, який замикає сигнальний контакт при відсутності у роз'ємі штекера, що дозволяє прибрати можливі шуми які можуть потрапити на вхід підсилювача у передавачі, а також полегшить дослідження на власні шуми радіосистеми

3.1.5 Вибір роз'ємів підключення акумулятора, вмикача

Для полегшеного підключення акумулятора та вмикача без пайки їх на плату напругу провідниками, більш доцільно використати роз'єми.. Для цих цілей було обрано роз'єм NX1500-02SMS типу «male». Роз'єм має малі габарити і не значно вплине на розміри ДП прототипів

					РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1.6 Вибір змінних резисторів

Було обрано вивідні змінні резистори R16148-1A-2 від компанії SRpassives. Цей потенціометр має логарифмічну залежність зміни опору від кута повороту, що дозволяє більш плавно регулювати рівень сигналу.

3.1.7 Вибір мікроконтролера

Для прототипу на модулі nRF24 використано плату розробки ESP WROOM-32 DEVKIT1 на базі мікроконтролера ESP WROOM-32. Використання плати розробки значно спрощує використання МК, та дозволяє завантажувати прошивку без додаткових пристроїв. ESP WROOM-32 має такі характеристики: вбудовані шини SPI, I²S, I²C, а 32-х бітний процесор, тактова частота (80 – 240 МГц), низьке споживання струму 80мА.

3.2 Вибір АЦП та ЦАП

Для побудови прототипу радіосистеми на модулі nRF24 потребує мікроконтролера та зовнішніх АЦП та ЦАП. Для спрощення підключення та конструювання друкованих плат буде використано модулі АЦП РСМ1808, та ЦАП РСМ5102А. При використанні модулів підключення спрощується до чотирьох дротового підключення до мікроконтролера та не потребує підключення зовнішнього тактування.

3.2.1 Вибір АЦП

На рисунку 3.1 показано модуль АЦП РСМ1808 [10]:

					<i>РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ</i>	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

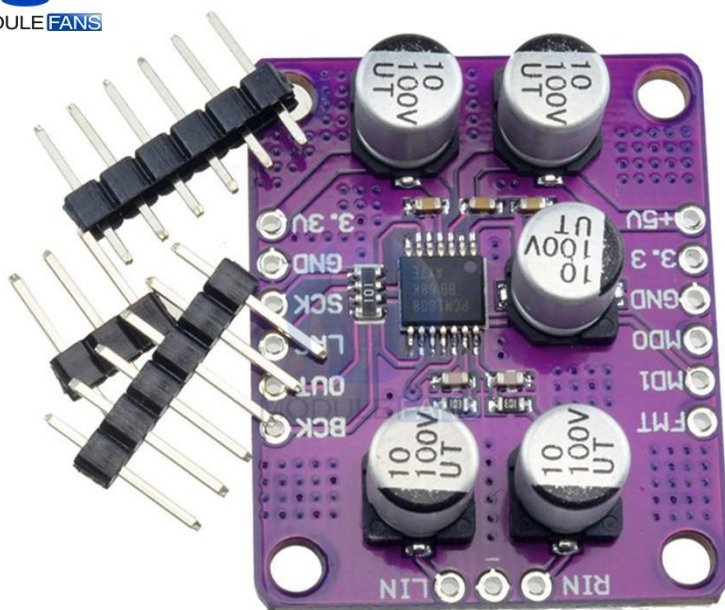


Рисунок 3.1 — Модуль АЦП РСМ1808

Для оцифровування вхідного аудіо сигналу в модулі АЦП РСМ1808, використано мікросхему РСМ1808 виробництва Texas Instruments. Даний АЦП може оцифровувати сигнал у 24 біти з частотою дискретизації від 8кГц до 92кГц, та від 256- до 512-кратним оверсемплінгом. Має два вхідних канали, що дозволяє оцифровувати стереофонічний сигнал. Напряга живлення аналогової частини 5В, цифрової — 3,3В.

Характеристики модуля [10]:

- Динамічний діапазон: 99 дБ (типовий)
- Фільтр децимації передискретизації:
- Частота передискретизації: $\times 64$
- Пульсація в смузі пропускання: $\pm 0,05$ дБ
- Затухання в смузі зупинки: -65 дБ
- Вбудований фільтр високих частот: 0,91 Гц (48 кГц)
- Гнучкий аудіоінтерфейс PCM

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

- Можливість вибору основного або підлеглого режиму
- Формати даних: 24-розрядний I2S, 24-розрядний, вирівняний по лівому краю
- Вимкнення живлення та скидання, зупинивши системний годинник
- Аналоговий LPF Antialias включений
- Частота дискретизації: 8 кГц-96 кГц
- Системний годинник: 256 fS, 384 fS, 512 fS
- Роздільна здатність: 24 біта
- Подвійне джерела живлення:
 - 5-V для аналогового
 - 3,3-V для цифрового

Відповідні параметри оцифровування сигналів встановлюються виставлянням значення логічної одиниці чи нуля на певних пінах модуля.

3.2.2 Вибір ЦАП

На рисунку 3.2 показано модуль ЦАП PCM5102A [11]:

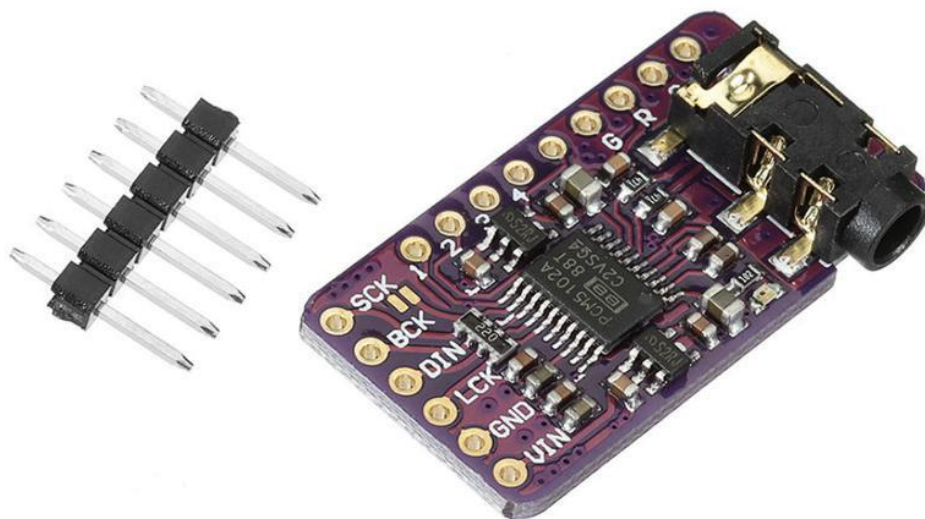


Рисунок 3.2 — Модуль ЦАП PCM5102A

Для перетворення цифрового сигналу знову в аналоговий, модуль використовує мікросхему PCM5102A від компанії Texas Instruments. Даний ЦАП може працювати з 16-, 24- та 32-бітними сигналами, має стереовихід. Напруга живлення для аналогової та цифрової частини складає 3,3В.

Характеристики модуля [11]:

- Максимальна розрядність ЦАП: 32-біт
- Максимальна частота дискретизації: 384КГц
- Максимальна частота дискретизації для 24-біт: 192 кГц
- Максимальна системна частота: 50МГц
- Роз'єм лінійного виходу: 3,5мм jack
- Мікросхема ЦАП: PCM5102a
- Інтерфейс: I2S
- Динамічний діапазон: 112db
- Співвідношення сигнал/шум: 112db
- Рівень третьої гармоніки: -93db
- Напруга живлення: 3.3В
- Розмір: 32x24x7 мм

3.3 Проектування друкованого вузла передавача

3.3.1 Вибір матеріалу друкованої плати

Матеріал друкованої плати обрано односторонній фольгований склотекстоліт FR4 товщиною 1,5 мм, та товщиною фольги 35мкм. Основу матеріалу складає склотканина з епоксидною смолою у якості зв'язуючої речовини. Цей матеріал має високу механічну міцність, термостійкість, температуру склування близько 130°C – 180°C. Клас горючості UL94-V0 за стандартом ІЕС 60695-11-2 [12].

3.3.2 Вибір класу точності друкованої плати

Для визначення ширини провідника слід обрати клас точності ДП. Допустимі значення ширини друкованих провідників зазначені у ГОСТ 23751-

					РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

86 [13]. У документі введені поняття класів точності ДП. Існує 5 класів точності ДП:

- 1 та 2 застосовується при виготовленні плати у домашніх умовах;
- 3 — у виробництві побутових приладів;
- 4 та 5 — у виробництві високоточних плат.

У таблиці 3.1 наведено основні параметри для визначення класу точності.

Таблиця 3.1— Класи точності ДП

Параметр	Клас точності ДП				
	1	2	3	4	5
Ширина друкованого провідника, мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
Відстань між краями сусідніх елементів провідникового рисунку, мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
Гарантійний поясок, мм	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025

Так як окремі елементи у конструкції приладу мають ширину контактів рівну 0,3мм для ДП було обрано третій клас точності.

3.3.3 Розрахунок ширини друкованих провідників

Розрахунок ширини провідників проведено у програмному забезпеченні Mathcad 15. Отримані дані занесені у таблицю 3.2. Знімки екрана з розрахунком у Mathcad 15 будуть наведені у додатку Б. Розраховані значення округлені у більшу сторону.

Таблиця 3.2 — Ширина друкованих провідників плати передавача

Тип лінії	Напруга, В	Струм, А	Ширина провідника, мм		Зазор, мм
			у широкому	у вузькому	
Силова	3,3	0,5	0,72	0,72	0,35
Силова	5	0,5	0,72	0,72	0,35
Сигнальна	3	0,1	0,55	0,3	0,35

Після розрахунків отримали рекомендовані значення:

— для силових ліній — 0,72мм;

— для сигнальних — 0,55, якщо неможливо провести то 0,3мм.

3.3.4 Розрахунок контактних майданчиків

Розміри контактних майданчиків для елементів поверхневого монтажу розраховуються за формулою :

$$Dk = Dv + 0,3,$$

де Dk — розміри контактних майданчиків (довжина та ширина);

Dv — розміри виводів(довжина та ширина).

Отримані значення наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 — Розміри виводів та контактних майданчиків для елементів поверхневого монтажу

Назва елемента	Dv	Dk
Резистори	0,4x1,55	0,7x1,9
Конденсатори керамічні	0,4x1,55	0,85x0,85
Конденсатор танталовий	2,4x1,3	2,7x1,6

Діаметри отворів для вивідних елементів знаходяться за формулою:

$$Do = Dv + 0,2,$$

де Do — діаметр отворів для вивідних елементів;

Dv — розміри виводів(діаметр).

Розміри контактних майданчиків для вивідних елементів розраховуються за формулою:

$$Dk = Do + 2/3Do$$

Отримані значення наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 — Розміри контактних майданчиків для вивідних елементів

Назва елемента	D_v	D_o	D_k
Потенціометр	1,0	1,2	2,0
Роз'єм NX1500-02SM	1,0	1,2	2,0
Роз'єм Jack 6,3мм	1,2	1,5	2,5
Світлодіод	1,0	1,2	2,0

Розміри контактних майданчиків для елементів які не вказані у таблиці 3.3 та 3.4, обрано відповідно до рекомендацій вказаних у технічній документації на елемент від виробника.

3.3.5 Розрахунок площі друкованої плати

Мінімальна площа ДП розраховується за формулою:

$$S_{\text{ДП}} = S_{\text{м}} + (1,5 \dots 2) \cdot S_{\text{с}} + (2,5 \dots 3) \cdot S_{\text{в}} + S_{\text{к}},$$

де $S_{\text{ДП}}$ — мінімальна площа ДП, мм²;

$S_{\text{м}}$ — площа малогабаритних елементів, мм²;

$S_{\text{с}}$ — площа середньогабаритних елементів, мм²;

$S_{\text{в}}$ — площа великогабаритних елементів, мм²;

$S_{\text{к}}$ — площа майданчиків під кріплення плати, мм².

Для грамотного розрахунку розміру плат потрібно обрати клас та тип монтажу елементів на ДП. Для друкованої плати передавача було обрано клас С тип 2, згідно IPC-7070, J-STD-013 [14]. На рисунку 3.3 [15], показано зразок встановлення елементів.



Рисунок 3.3 — Зразок встановлення елементів на плату

3.3.6 АМ передавач

Результати розрахунку площі елементів та плати занесені у таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 — Площа елементів та мінімальна площа плати.

Назва елемента	Площа елемента, мм ²	Кількість	Загальна площа
Резистор	12,408	13	161,304
Конденсатор	10,58	9	95,22
Конденсатор танталовий	43,688	2	87,376
TL072	39,766	2	79,532
Змінний резистор	317,02	1	317,02
Jack 6,3mm	667,213	2	1334,426
Роз'єм NX1500-02SM	46,36	2	92,72
АМ модуль	20	1	20
Мінімальна площа ДП, мм ²		2187,598	

З отриманих розрахунків мінімальної площі плати було обрано плату розміром 50х50 мм. Вивідні та SMD елементи буде встановлено з різних сторін друкованої плати, як показано на рисунку вище.

3.3.7 Bluetooth передавач

Результати розрахунку площі елементів та плати занесені у таблицю 3.6.

Таблиця 3.6 — Площа елементів та мінімальна площа плати.

Назва елемента	Площа елемента, мм ²	Кількість	Загальна площа
Резистор	12,408	14	173,712
Конденсатор	10,58	9	95,22
Конденсатор танталовий	43,688	2	87,376
TL072	39,766	2	79,532
Змінний резистор	317,02	1	317,02
Jack 6,3mm	667,213	2	1334,426
Роз'єм NX1500-02SM	46,36	2	92,72
Світлодіод	46,36	1	46,36
Тактова кнопка	120	1	120
Bluetooth передавач	433,93	1	433,93
Мінімальна площа ДП, мм ²		2780,296	

З отриманих розрахунків мінімальної площі плати було обрано плату розміром 50х60 мм. Вивідні та SMD елементи буде встановлено з різних сторін друкованої плати, як показано на рисунку вище

3.3.8 Передавач на основі модуля nRF24

Результати розрахунку площі елементів та плати занесені у таблицю 3.7.

Таблиця 3.8 — Площа елементів та мінімальна площа плати.

Назва елемента	Площа елемента, мм ²	Кількість	Загальна площа
Резистор	12,408	13	161,304
Конденсатор	10,58	10	105,8
Конденсатор танталовий	43,688	3	131,064
TL072	39,766	2	79,532
Змінний резистор	317,02	1	317,02
Jack 6,3mm	667,213	2	1334,426
Роз'єм NX1500-02SM	46,36	2	92,72
ESP WROOM-32 DEVKIT1	1473,337	1	1473,337
nRF24L01	440,801	1	440,801
Модуль АЦП	51	1	51
Мінімальна площа ДП, мм ²		4187,004	

З отриманих розрахунків мінімальної площі плати було обрано плату розміром 60х80 мм. Вивідні та SMD елементи буде встановлено з різних сторін друкованої плати, як показано на рисунку вище

3.4 Проектування друкованого вузла приймача

3.4.1 Вибір матеріалу друкованої плати

Матеріал друкованої плати приймача обрано такий же як у пункті 3.3.1, а саме односторонній фольгований склотекстоліт FR4 товщиною 1,5 мм, та товщиною фольги 35мкм.

3.4.2 Вибір класу точності друкованої плати

Клас точності для плат прототипів приймача було обрано аналогічно як описано у пункті 3.3.2.

					<i>PE-11мп.4644 15.001 ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		36

Так як окремі елементи конструкції приладу мають ширину контактів 0,3мм обрано третій клас точності.

3.4.3 Розрахунок ширини друкованих провідників

Розрахунок ширини провідників проведено у програмному забезпеченні Mathcad 15. Отримані дані внесені у таблицю 3.8. Знімки екрана з розрахунком у Mathcad 15 будуть наведені у додатку В. Розраховані значення округлені у більшу сторону.

Таблиця 3.8 — Ширина друкованих провідників плати передавача

Тип лінії	Напруга, В	Струм, А	Ширина провідника, мм		Зазор, мм
			у широкому	у вузькому	
Силова	5	0,5	0,72	0,72	0,35
Силова	3,3	0,5	0,72	0,72	0,35
Сигнальна	3,5	0,1	0,55	0,3	0,35

Після розрахунків отримали рекомендовані значення:

- для силових ліній — 0,72мм, та 1мм;
- для сигнальних — 0,55, якщо неможливо провести то 0,3мм.

3.4.4 Розрахунок контактних майданчиків

Розміри контактних майданчиків для елементів поверхневого монтажу за формулою :

$$Dk = Dv + 0,3,$$

де Dk — розміри контактних майданчиків (довжина та ширина);

Dv — розміри виводів(довжина та ширина).

Отримані значення наведено в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 — Розміри виводів та контактних майданчиків для елементів поверхневого монтажу

Назва елемента	Dv	Dk
Резистори	0,4x1,55	0,7x1,9
Конденсатори керамічні	0,4x1,55	0,7x1,9

Діаметри отворів для вивідних елементів знаходяться за формулою:

$$Do = Dv + 0,2,$$

де Do — діаметр отворів для вивідних елементів;

Dv — розміри виводів(діаметр).

Розміри контактних майданчиків для вивідних елементів розраховуються за формулою:

$$Dk = Do + 2/3Do$$

Отримані значення наведено в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 — Розміри контактних майданчиків для вивідних елементів

Назва елемента	Dv	Do	Dk
Потенціометр	1,0	1,2	2,0
Роз'єм NX1500-02SM	1,0	1,2	2,0
Роз'єм Jack 6,3мм	1,2	1,5	2,5

Розміри контактних майданчиків для елементів які не вказані у таблиці 3.9 та 3.10, обрано згідно з рекомендаціями вказаними у технічній документації на елемент від виробника.

3.4.5 Розрахунок площі друкованої плати

Розрахунок площі плати приймача виконувався аналогічно до описаного у пункті 3.3.5.

Для того щоб визначитись з розмірами потрібно обрати клас та тип монтажу елементів на ДП. Для друкованої плати приймача було обрано клас С тип 2, згідно IPC-7070, J-STD-013 [14]. На рисунку 3.4 [15], показано зразок встановлення елементів.

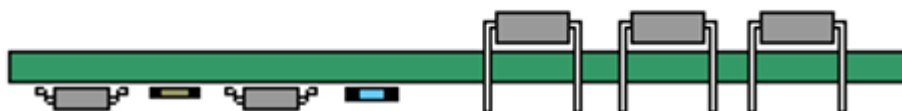


Рисунок 3.4 — Зразок встановлення елементів на плату

3.4.1 АМ приймач

Результати розрахунку площі елементів та плати занесені у таблицю 3.11.

Таблиця 3.11 — Площа елементів та мінімальна площа плати.

Назва елемента	Площа елемента, мм ²	Кількість	Загальна площа
Резистор	12,408	3	37,224
Конденсатор	10,58	3	31,74
Конденсатор танталовий	43,688	1	43,688
TL072	39,766	1	39,766
Змінний резистор	317,02	1	317,02
Jack 6,3mm	667,213	1	667,213
Роз'єм NX1500-02SM	46,36	2	92,72
АМ модуль	30	1	30
Мінімальна площа ДП, мм ²		1259,371	

З отриманих розрахунків мінімальної площі плати було обрано плату розміром 35x45 мм. Вивідні та SMD елементи буде встановлено з різних сторін друкованої плати, як показано на рисунку вище

3.4.2 Bluetooth приймач

Результати розрахунку площі елементів та плати занесені у таблицю 3.12.

Таблиця 3.12 — Площа елементів та мінімальна площа плати.

Назва елемента	Площа елемента, мм ²	Кількість	Загальна площа
Резистор	12,408	3	37,224
Конденсатор	10,58	3	31,74
Конденсатор танталовий	43,688	1	43,688
TL072	39,766	1	39,766
Змінний резистор	317,02	1	317,02
Jack 6,3mm	667,213	1	667,213
Роз'єм NX1500-02SM	46,36	1	46,36
Bluetooth приймач	438,572	1	438,572
Мінімальна площа ДП, мм ²		1621,583	

З отриманих розрахунків мінімальної площі плати було обрано плату розміром 35х35 мм. Вивідні та SMD елементи буде встановлено з різних сторін друкованої плати, як показано на рисунку вище

3.4.3 Приймач на основі модуля nRF24

Результати розрахунку площі елементів та плати занесені у таблицю 3.13.

Таблиця 3.14 — Площа елементів та мінімальна площа плати.

Назва елемента	Площа елемента, мм ²	Кількість	Загальна площа
Резистор	12,408	3	37,224
Конденсатор	10,58	4	42,32
Конденсатор танталовий	43,688	2	87,376
TL072	39,766	2	79,532
Змінний резистор	317,02	1	317,02
Jack 6,3mm	667,213	1	667,213
Роз'єм NX1500-02SM	46,36	1	46,36
ESP WROOM-32 DEVKIT1	1473,337	1	1473,337
nRF24L01	440,801	1	440,801
Модуль ЦАП	51	1	51
Мінімальна площа ДП, мм ²		3242,183	

З отриманих розрахунків мінімальної площі плати було обрано плату розміром 50х70 мм. Вивідні та SMD елементи буде встановлено з різних сторін друкованої плати, як показано на рисунку вище.

У розділі розраховано основні параметри для розробки друкованих плат прототипів передавача та приймача. А саме розраховано ширину друкованих провідників та зазори між друкованими провідниками, та розраховано площі друкованих плат.

					PE-11мн.4644 15.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		40

3.5 Трасування друкованих плат

Трасування ДП виконано у програмному забезпеченні Altium Designer [16].

3.5.1 АМ передавач

Трасування ДП показано на рисунку 3.5.

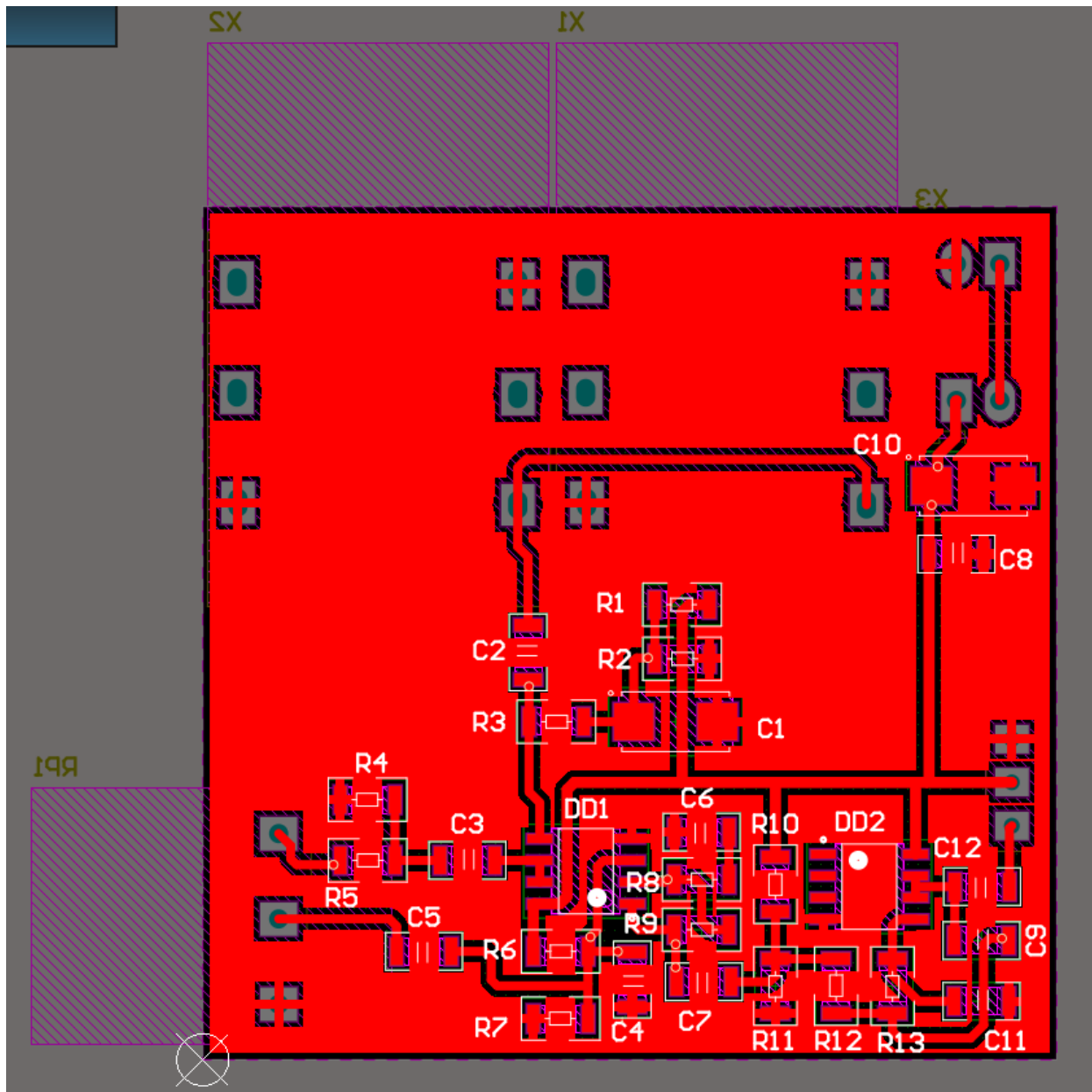


Рисунок 3.6 — Трасування ДП

На рисунку 3.7 показано тривимірну модель електронного модуля.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ

Аркуш

41

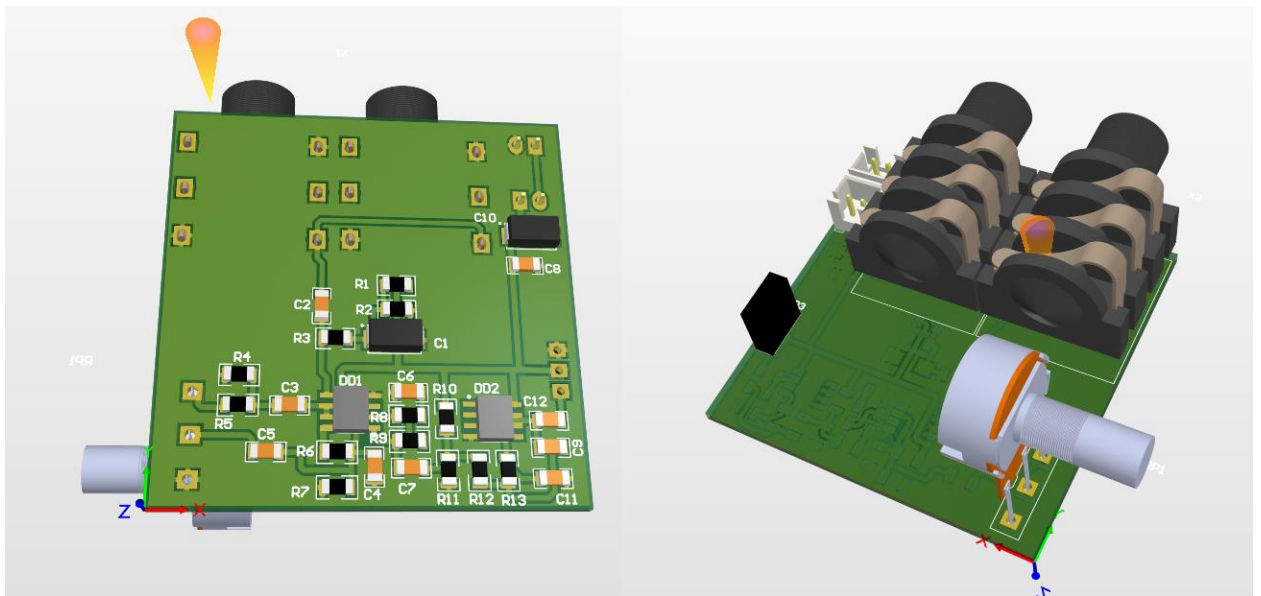


Рисунок 3.7 — Тривимірна модель електронного модуля

У результаті проектування отримали електронний модуль із габаритами 59,6 x 60,0 x 29,8 мм (ШхДхВ).

3.5.2 Bluetooth передавач

Трасування ДП показано на рисунку 3.8.

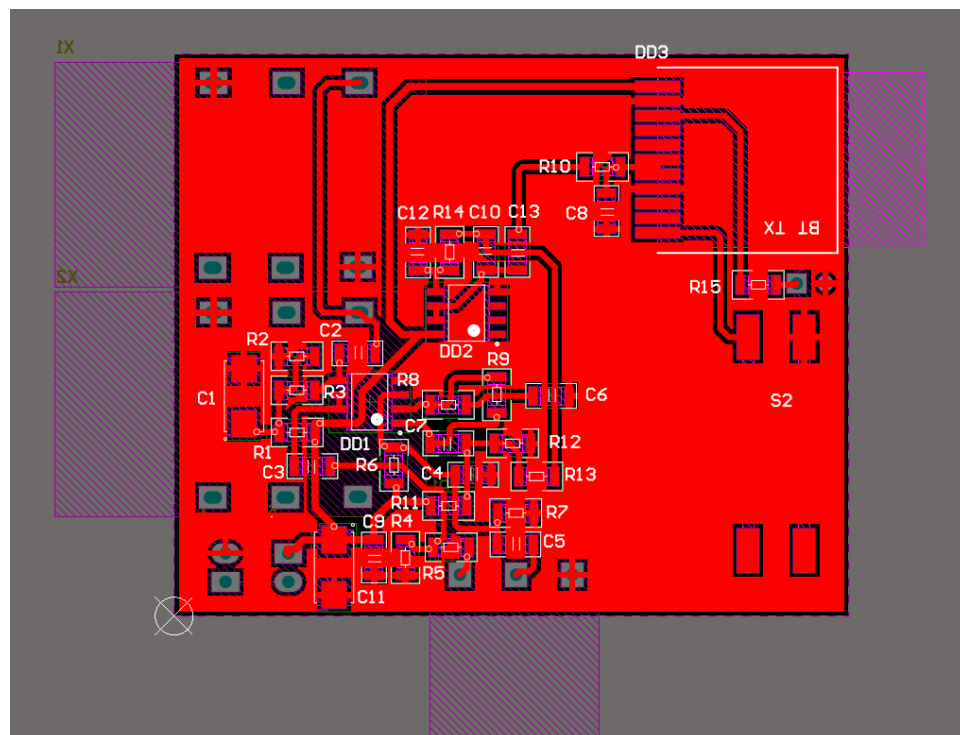


Рисунок 3.8 — Трасування ДП

					РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		42

На рисунку 3.9 показано тривимірну модель електронного модуля.

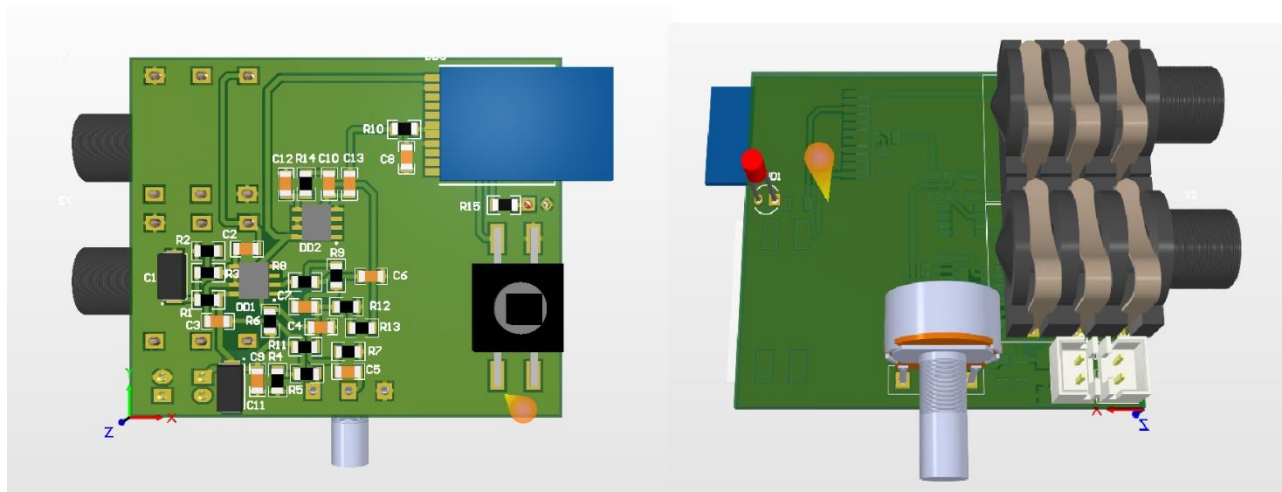


Рисунок 3.9 — Тривимірна модель електронного модуля

У результаті проектування отримали електронний модуль із габаритами 60,8 x 77,4 x 35,0 мм (ШхДхВ).

3.5.3 Передавач на основі модуля *nRF24*

Трасування ДП показано на рисунку 3.10.

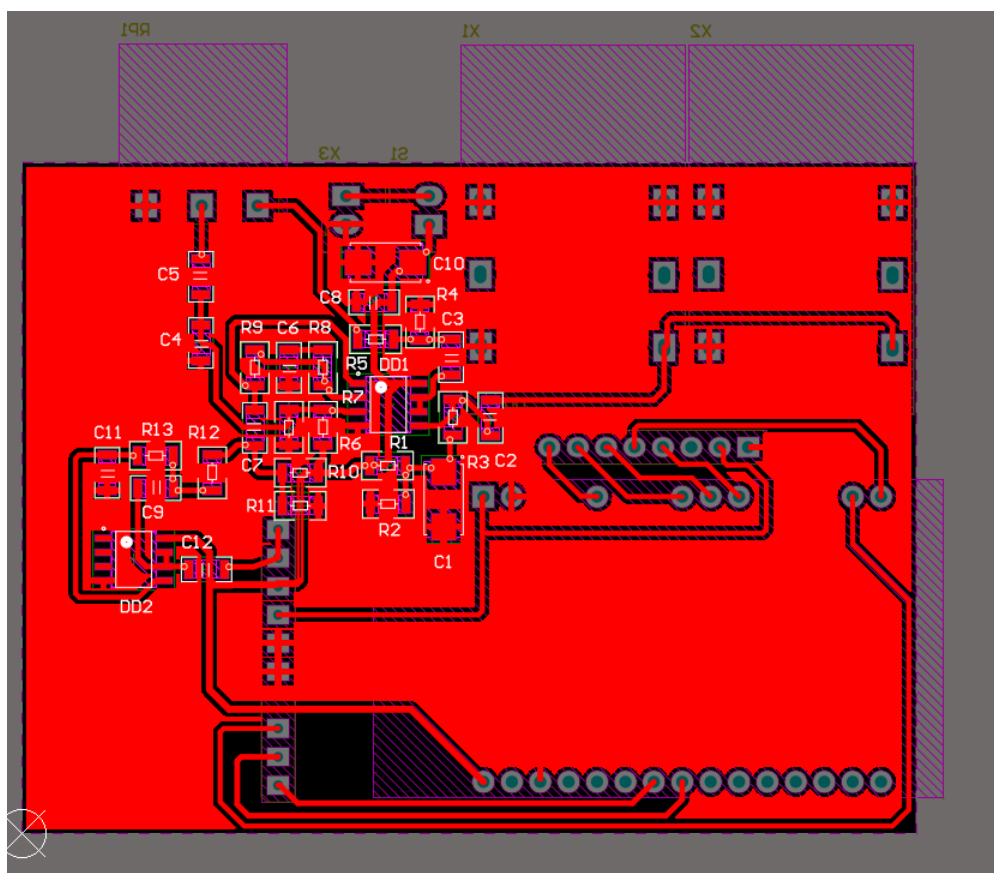


Рисунок 3.11 — Трасування ДП

					РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ	Аркуш 43
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

На рисунку 3.12 показано тривимірну модель електронного модуля.

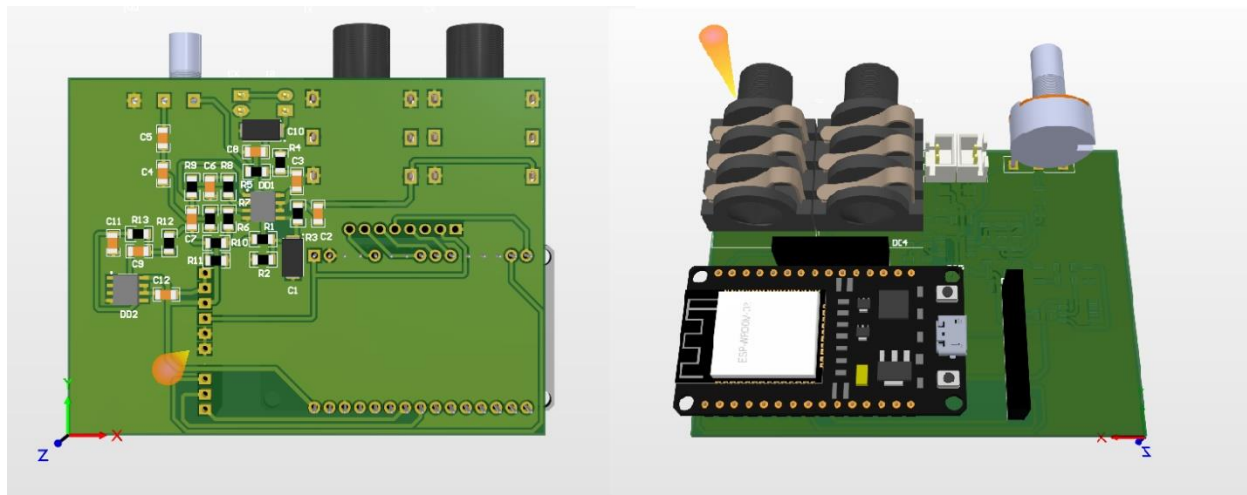


Рисунок 3.12 — Тривимірна модель електронного модуля

У результаті проектування отримали електронний модуль із габаритами 70,6 x 82,4 x 30,8 мм (ШхДхВ).

3.5.4 АМ приймач

Трасування ДП показано на рисунку 3.13.

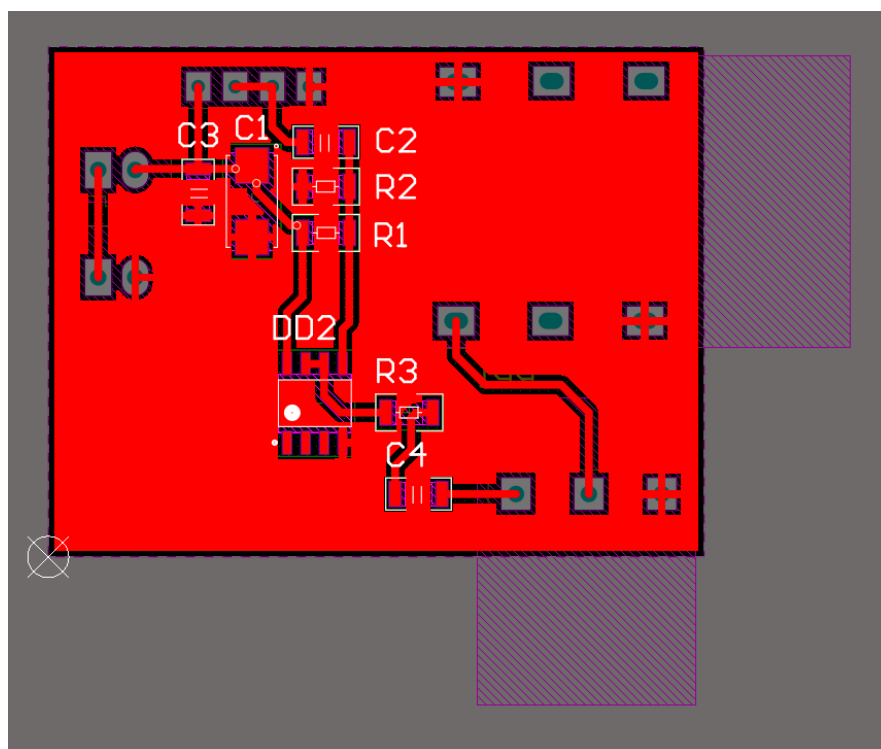


Рисунок 3.13 — Трасування ДП

На рисунку 3.14 показано тривимірну модель електронного модуля.

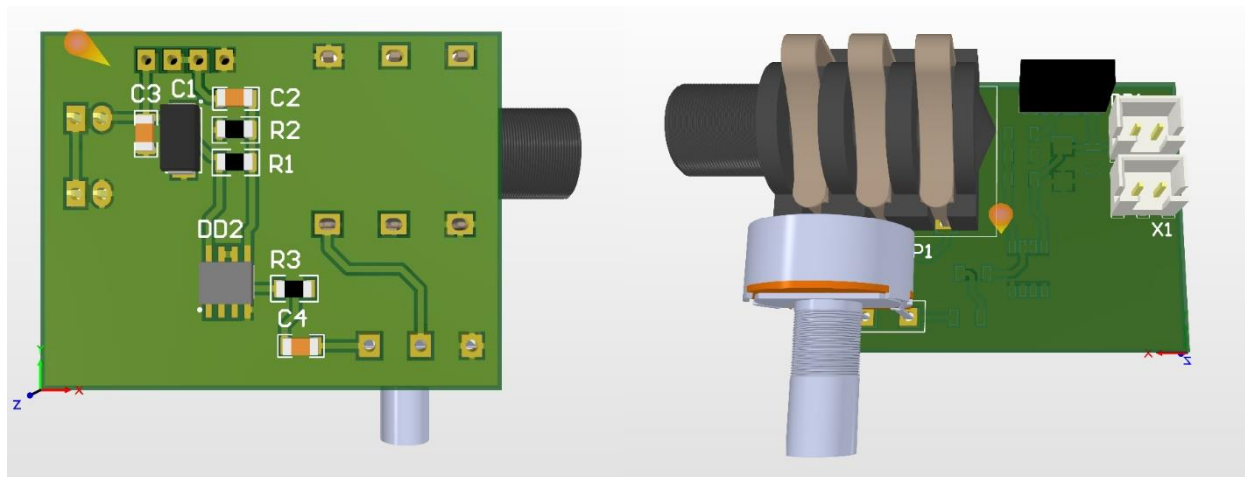


Рисунок 3.14 — Тривимірна модель електронного модуля

У результаті проектування отримали електронний модуль із габаритами 45,2 x 55,0 x 29,8 мм (ШхДхВ).

3.5.5 Bluetooth приймач

Трасування ДП показано на рисунку 3.15.

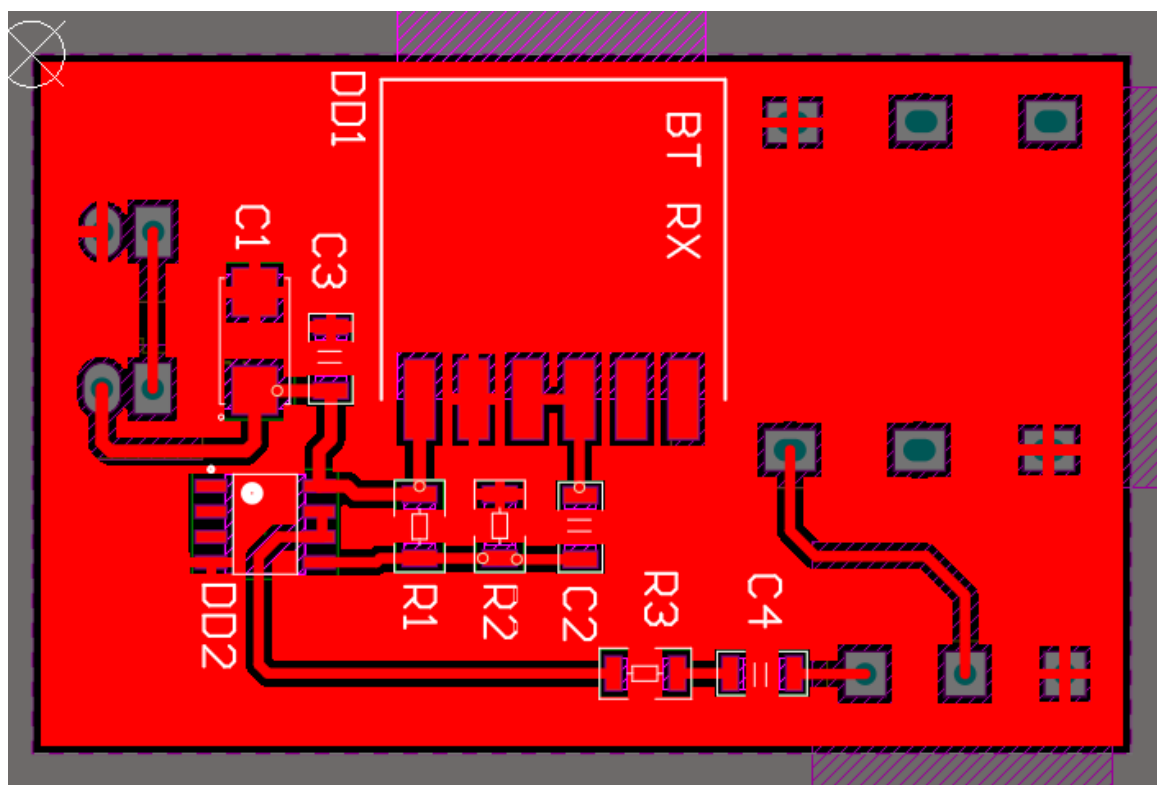


Рисунок 3.15 — Трасування ДП

					РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		45

На рисунку 3.16 показано тривимірну модель електронного модуля.

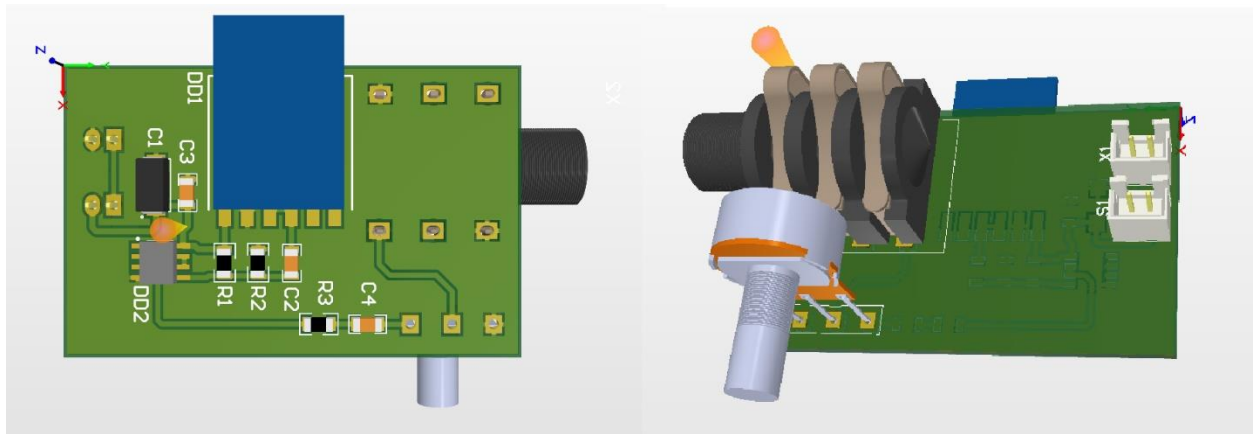


Рисунок 3.16 — Тривимірна модель електронного модуля

У результаті проектування отримали електронний модуль із габаритами 51,2 x 65,0 x 29,8 мм (ШхДхВ).

3.5.6 Приймач на основі модуля nRF24

Трасування ДП показано на рисунку 3.17.

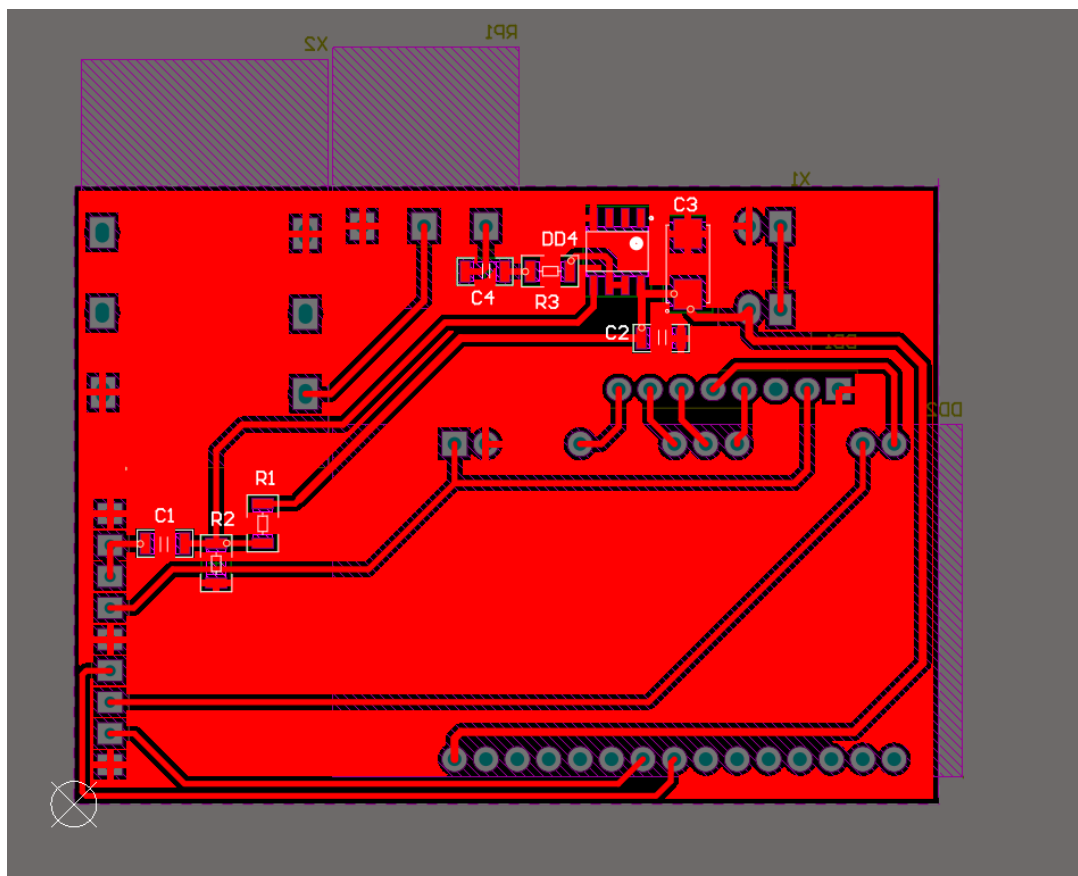


Рисунок 3.17 — Трасування ДП

					РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		46

На рисунку 3.18 показано тривимірну модель електронного модуля.

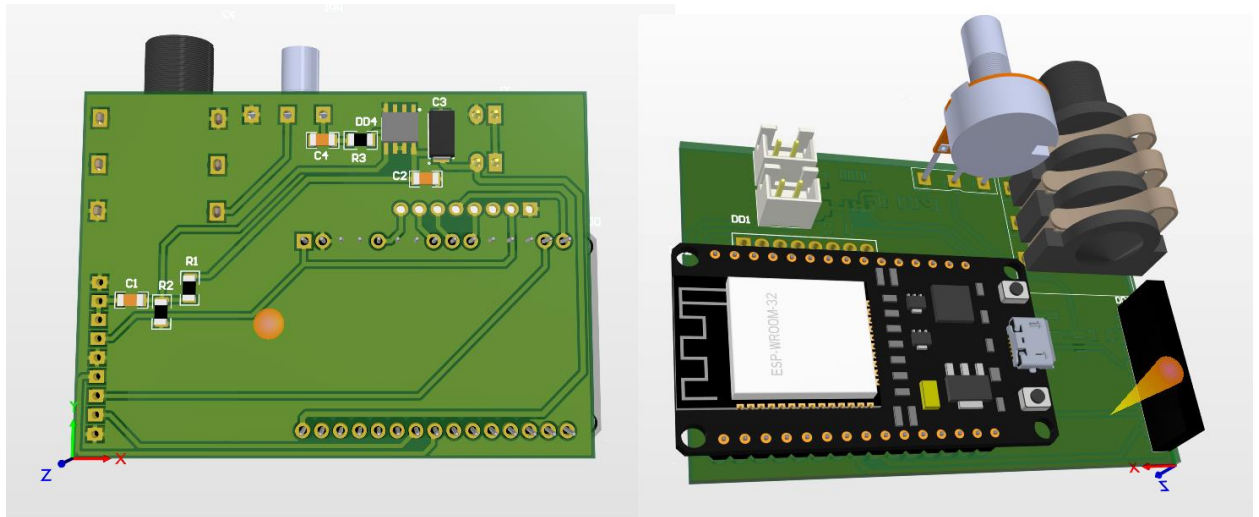


Рисунок 3.18 — Тривимірна модель електронного модуля

У результаті проектування отримали електронний модуль із габаритами 59, 61,2 x 71,9 x 30,8 мм (ШхДхВ).

3.6 Виготовлені прототипи

На рисунках 3.19-3.21 показано виготовлені прототипи радіосистеми.

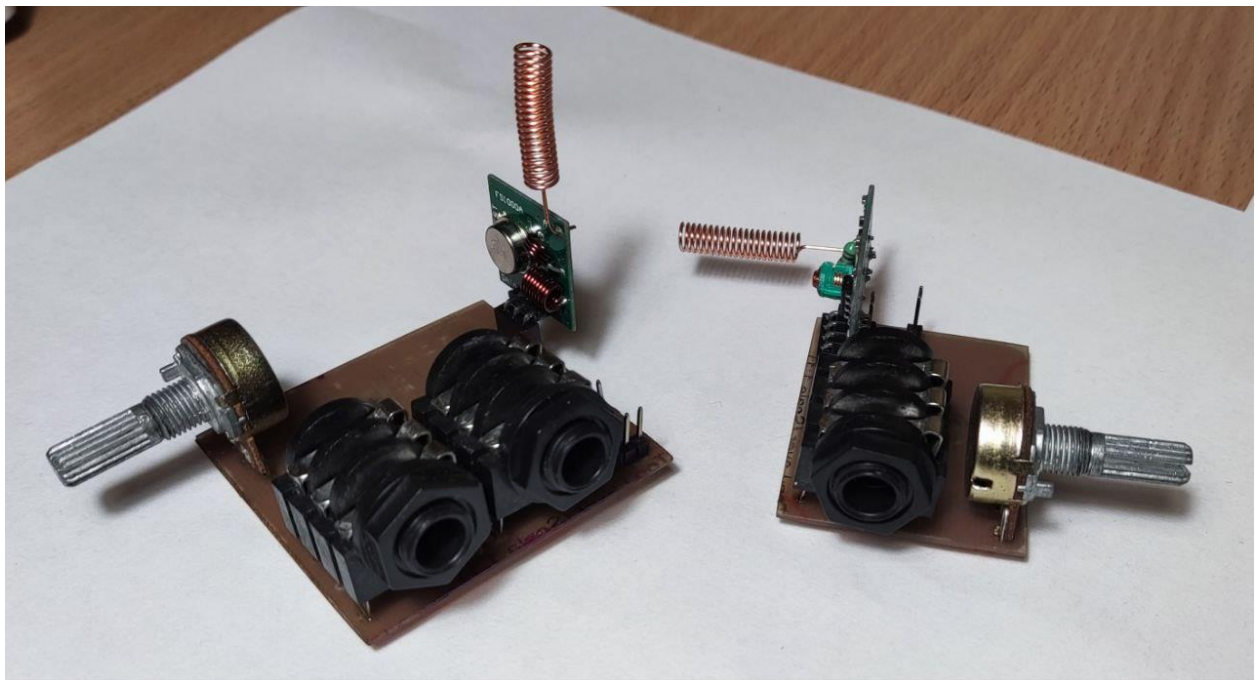


Рисунок 3.19 — АМ прототип

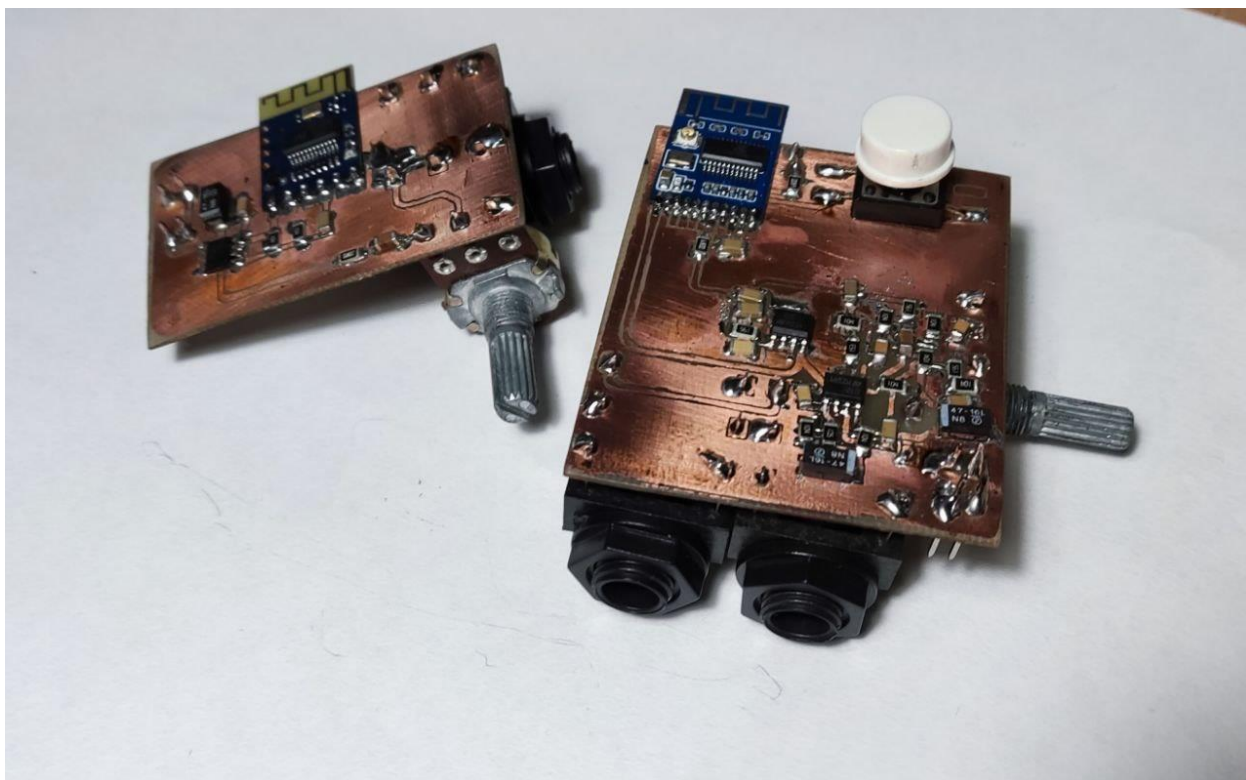


Рисунок 3.20 — Bluetooth прототип

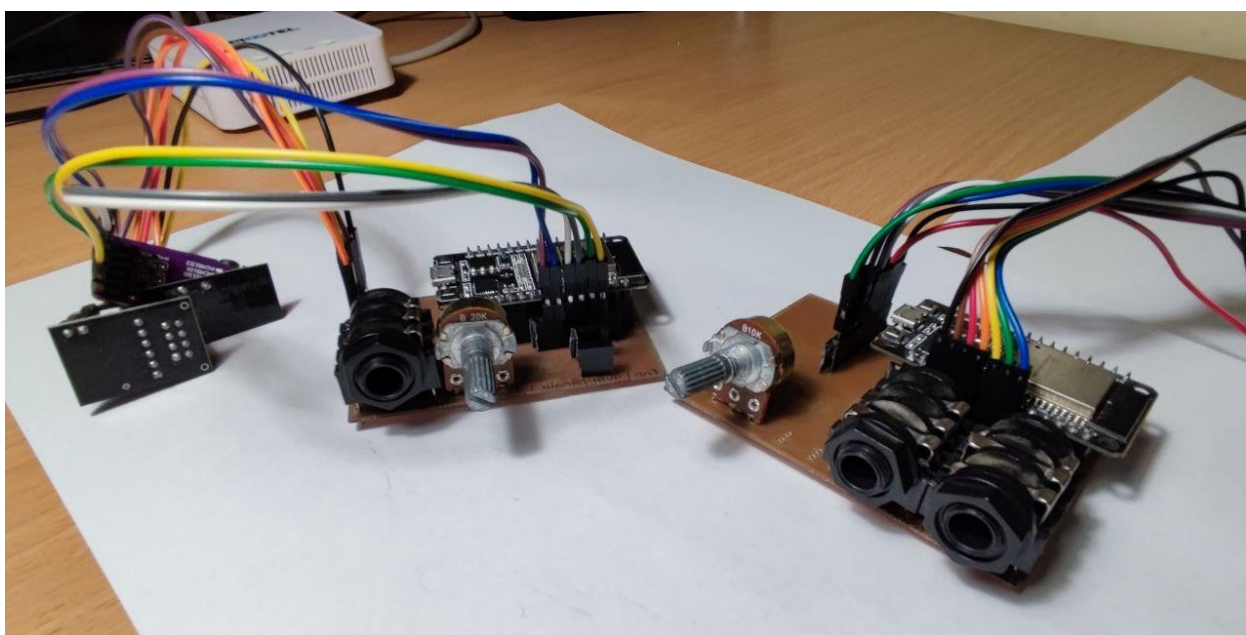


Рисунок 3.21 — Прототип на nRF24

Після виготовлення друкованих плат та запаювання деталей на плату отримали три прототипи радіосистеми які готові до подальшого дослідження їх характеристик.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ

Аркуш
48

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для оцінки прототипів радіосистеми потрібно дослідити які реальні характеристики вони мають, а саме:

- відстань передавання;
- затримка сигналу;
- рівень власних шумів.

Щоб визначити затримку та шуми прототипів було використано програму для запису та обробки аудіо REAPER [17], а також аудіоінтерфейс M-Audio Air 192/6 [18].

4.1 Дослідження відстані передавання

Дослідження максимальної відстані передавання проводилось у межах прямої видимості, без перешкод на шляху сигналу

Для об'єктивності оцінки було проведено 5 експериментів та обраховано середнє значення відстані для кожного з прототипів.

4.1.1 АМ прототип

У таблицю 4.1 внесено значення затримки з 5 експериментів та обраховано середнє значення максимальної відстані передачі.

Таблиця 4.1 — Відстань передавання

№ експерименту	Відстань, м
1	24
2	23
3	23
4	21
5	24

Середнє значення максимальної відстані 23 м.

4.1.2 Bluetooth прототип

У таблицю 4.2 внесено значення затримки з 5 експериментів та обраховано середнє значення максимальної відстані передавання.

Таблиця 4.2 — Відстань передавання

№ експерименту	Відстань, м
1	10
2	12
3	11
4	10
5	10

Середнє значення максимальної відстані 10,6 м.

4.1.3 Прототип на nRF 24

У таблицю 4.3 внесено значення затримки з 5 експериментів та обраховано середнє значення максимальної відстані передавання.

Таблиця 4.3 — Відстань передавання

№ експерименту	Відстань, м
1	55
2	56
3	52
4	55
5	55

Середнє значення максимальної відстані 54,8 м

4.2 Дослідження затримки передавання сигналу

Процес дослідження затримки передавання сигналу полягає у подачі сигналу напряму від джерела до одного з каналів аудіоінтерфейсу, на другий канал аудіоінтерфейсу приходить сигнал через прототип радіосистеми. Записуючи одночасно дві доріжки з двох каналів можна в реальному часі оцінити затримку передавання сигналу. На рисунку 4.1 показано знімок екрану з програми REAPER із прикладом дослідження затримки.

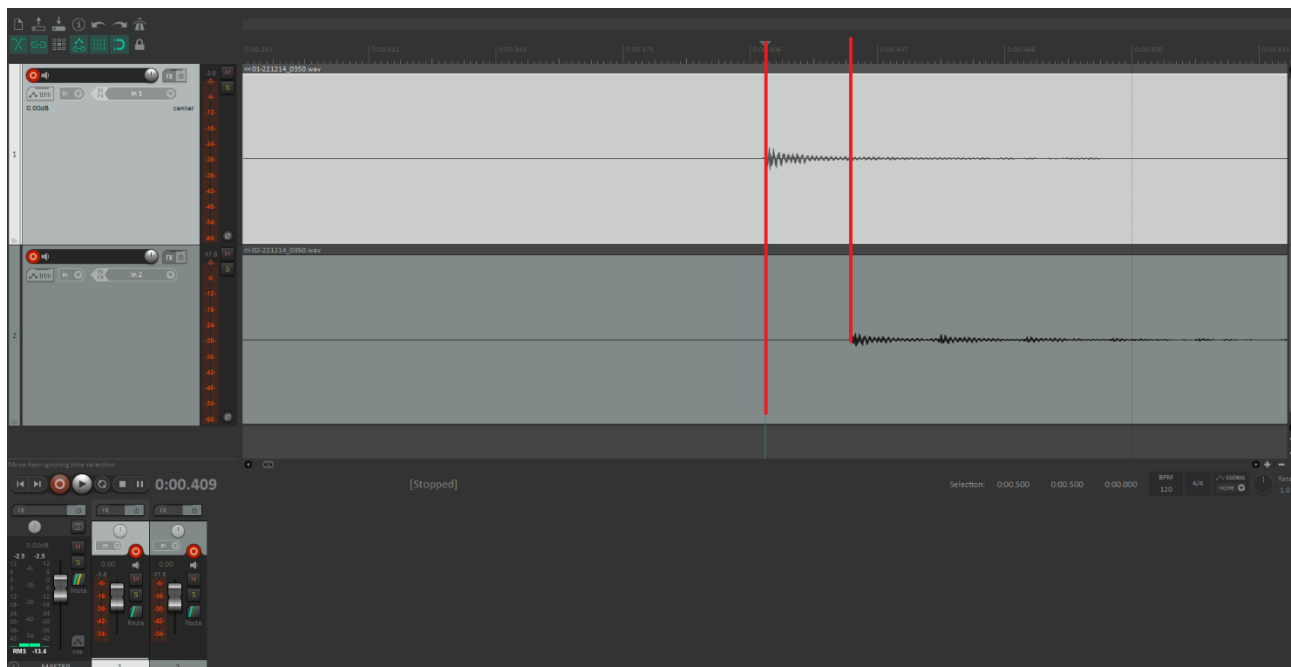


Рисунок 4.1 — Приклад дослідження затримки у програмі

Для об'єктивності оцінки було проведено 10 експериментів, та обраховано середнє значення, яке і буде використовуватися для порівняння.

4.2.1 АМ прототип

У таблицю 4.4 внесено значення затримки з 10 експериментів та обраховано середнє значення затримки.

Таблиця 4.4 — Затримка передавання прототипу

№ експерименту	Затримка, мс
1	4,5
2	3,8
3	5,0
4	4,8
5	4,2
6	4,0
7	4,2
8	4,4
9	4,1
10	3,9

Середнє значення затримки 4,3 мс

4.2.2 Bluetooth прототип

У таблицю 4.5 внесено значення затримки з 10 експериментів та обраховано середнє значення затримки.

Таблиця 4.5 — Затримка передавання прототипу

№ експерименту	Затримка, мс
1	35
2	40
3	38
4	40
5	45
6	35
7	40
8	36
9	42
10	39

Середнє значення затримки 39 мс.

4.2.3 Прототип на nRF 24

У таблицю 4.6 внесено значення затримки з 10 експериментів та обраховано середнє значення затримки.

Таблиця 4.6 — Затримка передавання прототипу

№ експерименту	Затримка, мс
1	14
2	15
3	12
4	17
5	16
6	16
7	15
8	12
9	14
10	14

Середнє значення затримки 14,5 мс.

4.3 Дослідження на власні шуми радіосистеми

Для того щоб дослідити прототипи на власні шуми потрібно на вході передавача сигнальний контакт IN замкнути на контакт GNG. А з виходу приймача знімати вихідний рівень шуму радіосистеми, за допомогою інструментів програми REAPER. На рисунку 4.2 показано інструмент за допомогою якого оцінювався рівень шуму. Для коректного аналізу максимальний рівень вхідного сигналу вважатимемо 0 дБ.

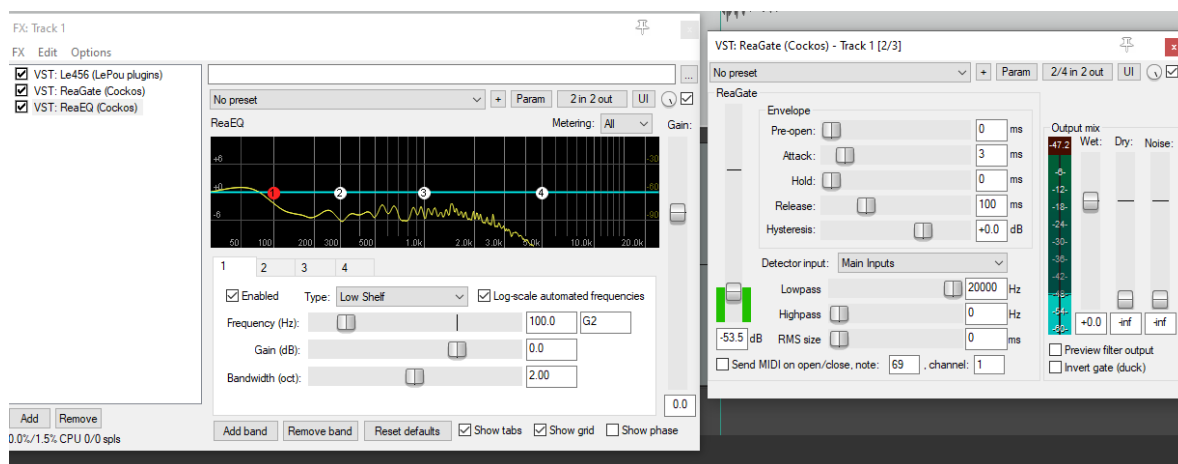


Рисунок 4.2 — Інструмент програми REAPER

Для об'єктивності оцінки було проведено 10 експериментів, та обраховано середнє значення, яке і буде використовуватися для порівняння.

4.3.1 АМ прототип

У таблицю 4.7 внесено значення рівня шуму з 10 експериментів та обраховано його середнє значення .

Таблиця 4.7 — Власні шуми прототипу

№ експерименту	Шум, дБ
1	-45
2	-48
3	-46
4	-45
5	-45
6	-47
7	-46
8	-46
9	-47
10	-46

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ

Аркуш
53

Середнє значення рівня шуму -46 дБ.

4.3.2 Bluetooth прототип

У таблицю 4.8 внесено значення рівня шуму з 10 експериментів та обраховано його середнє значення .

Таблиця 4.8 — Власні шуми прототипу

№ експерименту	Шум, дБ
1	-35
2	-32
3	-35
4	-36
5	-35
6	-30
7	-33
8	-32
9	-35
10	-33

Середнє значення рівня шуму -33 дБ.

4.3.3 Прототип на nRF 24

У таблицю 4.9 внесено значення рівня шуму з 10 експериментів та обраховано його середнє значення .

Таблиця 4.9 — Власні шуми прототипу

№ експерименту	Шум, дБ
1	-72
2	-68
3	-70
4	-71
5	-72
6	-72
7	-71
8	-70
9	-71
10	-71

Середнє значення рівня шуму -71 дБ.

4.4 Порівняння отриманих даних

Для зручності порівняння усі отримані дані занесено у таблицю 4.10.

Таблиця 4.10 — Отримані дані

	Відстань, м	Затримка, мс	Шуми, дБ
АМ прототип	23,0	4,5	-46
Bluetooth прототип	10,6	39,0	-33
Прототип на nRF 24	54,6	14,5	-71

У результаті дослідження отримано такі дані:

АМ прототип має середнє значення відстані прямого передавання, значення затримки є дуже низьким і є готові рішення які доступні на ринку, проте рівень власних шумів є доволі високим і при подальшій обробці може спотворювати основний сигнал.

Bluetooth прототип має найгірші характеристики, відстань прямої передачі близько 10 м у зоні прямої видимості, яка є найменшою серед прототипів, та меншою ніж у аналогічних приладів. Затримка передачі є найвищою серед прототипів, така затримка є доволі суттєва для інструментальних радіосистем і є відчутною на слух навіть для не професійних музикантів. Затримка значно впливає на якість гри музиканта, насамперед впливає на синхронізацію рук, та синхронізацію з музиним супроводом або метрономом. Рівень шуму є найвищим серед прототипів та при подальшій обробці значно впливатиме на основний сигнал. Через велику чутливість вхідного каналу, під час роботи прототипу, на вхід постійно потрапляв шум від Bluetooth модулів.

Прототип на модулі nRF24 показав найкращі результати серед сконструйованих прототипів, відстань передавання до 55 метрів є аналогічною та у деяких випадках кращою ніж у наявних на ринку рішень. Рівень шумів на рівні -70 дБ також відповідає запитам інструментальної радіосистеми та не впливає на сигнал при подальшій його обробці, також його доволі легко можна прибрати під час запису інструментами обробки аудіосигналу. Затримка

					<i>РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ</i>	Аркуш
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

передавання є середньою серед розроблених прототипів, і найменшою серед двох цифрових прототипів.

Отже після порівняльного аналізу найкраще себе показав прототип на основі модуля nRF24. Проте попри його переваги є і певний ряд недоліків які потребують подальшого вдосконалення, а саме: час затримки все одно залишається доволі великий у порівнянні із наявними аналогами на ринку. Такий час затримки може бути обумовлений повільною обробкою даних мікроконтролером, адже шина I²S реалізується програмно, а не апаратно. Тож прототип потребує подальшого вдосконалення: зменшення часу затримки, збільшення відстані передавання. Для зменшення часу обробки даних можна буде використати мікроконтролер Raspberry Pi, а для збільшення відстані передавання можна використати потужніший передавач nRF24 у модифікації із антеною та підсилювачем.

У даному розділі було проведено дослідження виготовлених прототипів за трьома параметрами:

- Максимальна відстань передавання;
- Затримка передавання;
- Рівень власних шумів.

Порівнявши отримані дані обрано прототип який найкраще себе показав у дослідженні. Розглянуто його переваги та недоліки, та можливі способи вдосконалення у подальшій роботі.

					<i>РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ</i>	Аркуш
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ

Даний розділ має на меті проведення маркетингового аналізу стартап проєкту оснований на ідеї дипломного проєкту задля визначення можливості його ринкової реалізації.

Таблиця 5.1 — Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створити компанію з виробництва апаратури для музичних інструментів	Музиканти усіх рівнів	Якісна радіосистема значно дешевша аналогів

З таблиці видно, що ідея проєкту є актуальною, так як кожен музикант має бажання бути мобільним зі своїм інструментом при цьому не втрачаючи якість звучання, та не витративши на прилад величезних коштів

Таблиця 5.2 — Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проєкту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W	N	S
		Мій проєкт	Конкурент1	Конкурент2	Конкурент3			
1	Розробка сайту з інформацією про продукт	2000\$	-	-	-	+	-	-
2	Гарантійне обслуговування приладу на 5 років	500\$	-	-	-	-	-	+
3	Вартість приладу	Від 150\$/шт	-	-	Від 250\$/шт	-	+	-

					РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ	Аркуш
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4	Закупівля матеріалів	Від 50\$	-	-	-	-	+	-
5	Закупівля необхідного інструменту	Від 1000\$	-	-	-	+	-	-
6	Чистий прибуток через рік	2000\$/місяць	-	-	-	-	-	+

Після аналізу характеристик ідеї проекту наведених у таблиці було визначено, що сильними сторонами ідеї проекту є чистий прибуток через рік, адже найбільшими є вкладення фінансів є на початку запуску проекту. Також сильною стороною ідеї є гарантійне обслуговування приладів протягом двох років. Нейтральними сторонами проекту є вартість приладу, адже вона є не набагато нижчою ніж у конкурентів через собівартість деталей. Слабкою стороною є розробка сайту, та закупівля інструментів та обладнання, адже потребує найбільших грошових вкладень.

Таблиця 5.3 — Технологічна здійсненність ідеї проекту

№	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технології	Доступність технологій
1	Створити компанію з виробництва апаратури для музичних інструментів	Сайт із інформацією про продукт компанії	— (Розроблення власного конструктора)	+
2		Складання схем та іншої конструкторської документації.	+	+
3		Моделювання зовнішнього вигляду продукту	+	+
4		Виготовлення пристрою	+	+
5		Реклама продукту	—	+

Найбільш складною частиною реалізації проекту є розробка сайту з інформацією про продукт та реклама продукту.

Усі зазначені технології є доступними.

Таблиця 5.4 — Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	Невідомо
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Плаваюча
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Наявність приміщення для роботи
5	Специфічні вимоги до стандарти та сертифікації	Вимоги щодо дотримання правил техніки безпеки
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	20%

Аналіз попередньої характеристики потенційного ринку стартап-проекту показав, що ринок є привабливим для входження, оскільки присутні обмеження та вимоги до стандартифікації та сертифікації не є дуже високими. Коефіцієнт рентабельності не є дуже високим, але ринок є перспективним, оскільки в проекті розроблятиметься сайт з інформацією про товар, сайт можна рекламувати у соціальних мережах через таргетовану рекламу, що значно пришвидшить пошук клієнтів, та потрібне приміщення для цеху з виготовлення.

Таблиця 5.5 — Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Потреба в унікальних та якісних музичних інструментах	Вузький ринок	Професійні музиканти бажають якісну апаратуру з відповідними характеристиками, за невелику ціну. Музиканти початківці у першу чергу звертають увагу на візуальну складову та ціну	Висока якість приладу, зручність використання, та гарний зовнішній вигляд, та дешевизна

Аналіз характеристик клієнтів показав, що цільовою аудиторією є вузький ринок музикантів. Відмінності у поведінці показують що професійні музиканти чітко знають чого бажають, а музиканти початківці в основному звертають увагу на зовнішній вигляд пристрою. Для цільової аудиторії важливою є якість пристрою, зовнішній вигляд, ціна девайсу.

Таблиця 5.6 — Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Покращення сервісу та якості у конкурентів	Конкуренти покращують сервіс, та якість	1. Підвищення якості товару, та сервісу 2. Зміна в рекламній політиці компанії
2	Розрив договору з постачальником сировини	Конфлікт з постачальником	Шукаємо нового постачальника
3	Можливість проблем з роботою сайту	Проблеми із сервером, та ПЗ	Покращення ПЗ та оновлення сайту

Аналіз факторів загроз, показав, що основними загрозами для компанії є можливе покращення сервісу та якості у конкурентів та некоректна робота онлайн-конструктора, розрив договору із постачальником сировини. Але компанія здатна вжити заходів, які зазначені у таблиці для вирішення даних ситуацій.

Таблиця 5.7 — Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Можливість розширення пристроїв які можна замовити на сайті	Прагнення компанії розширити лінійку приладів	Розробка нових пристроїв
2	Збільшення кількості виготовлених пристроїв і нових замовлень за місяць	Прагнення компанії збільшити кількість готового продукту	Збільшення виробничих потужностей
3	Залучення інвесторів.	Залучення фінансів у проект	Збільшення можливостей проекту

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PE-11мп.4644 15.001 ПЗ

Аркуш

61

Аналіз факторів можливості, показав, що основними можливостями є можливість розширення лінійки пристроїв, збільшення виробничих потужностей, а також залучення інвесторів, шляхом збільшення можливостей проекту.

Таблиця 5.8 — Бізнес модель

Споживчий сегмент	Рішення: Виготовлення якісної музичної апаратури Кого ми обслуговуємо: Вузький ринок
Ціннісна пропозиція	Інструментальні радіосистеми, педалі ефектів
Канали збуту	Сайт, магазин при майстерні
Відносини з клієнтами	Соціальні мережі, магазин
Потоки надходження доходу	Збут пристроїв, реклама на сайті
Ключові види діяльності	Виготовлення музичної апаратури , зокрема радіосистем.
Ключові партнери	Постачальники деталей
Структура витрат	Приміщення, обладнання, сайт

Розроблена бізнес-модель націлена на вузький ринок. Ціннісною пропозицією є інструментальні радіосистеми, педалі ефектів. Взаємодія з клієнтами через сайт та магазин при майстерні. Потоками надходження доходу є збут пристроїв та реклама на сайті. Ключовим видом діяльності є виготовлення музичної апаратури , зокрема радіосистем.. Ключовими партнерами є постачальники сировини. Витратами є оренда приміщення, обладнання, сайт та персонал.

Таблиця 5.9 — Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	У чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Олігополія	Мало конкурентних компаній	Покращення якості
2. Світовий	Компанії-конкуренти зосереджені по всьому світу	Конкуренція не залежить від локального ринку
3. Внутрішньогалузева	Виробництво товарів в межах однієї галузі	Покращення якості
4. Товарно-видова	Конкуренція з іншими майстернями	Конкурентна боротьба відбувається з продуктами інших сервісів
5. Не цінова	Конкуренція за якістю	Виготовлення якісних пристроїв

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку показав, що конкурентів на внутрішньому ринку не багато. Конкуренція відбувається не за ціною, а за якістю. Можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною, це покращення якості пристроїв

Таблиця 5.10 — Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1.	Інновації	Розробка власного сайту
2.	Частка ринку	На ринку присутня мала кількість конкурентних компаній
3.	Якість	На ринку немає аналогів, які повністю задовільняють потреби замовників
4.	Споживча цінність	Лояльність споживачів через хороший конструктор та якісний товар.
5.	Ціна	Від 150\$ залежно від характеристик

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності показало, що фактори якості, споживчої цінності та ціни обумовлюють необхідність розробки проекту.

Таблиця 5.11 — SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: 1. Унікальність пропозиції. 2. Широкий вибір товарів на сайті 3. Стабільна робота заявлених послуг. 4. Більший краща якість готового продукту	Слабкі сторони: 1. Недостатність фінансових ресурсів. 2. Відсутність досвіду роботи на ринку. 3. Складність реалізації проекту.
Можливості: 1. Розширення виробничих потужностей 2. Залучення інвесторів за рахунок реклами відомими музикантами.	Загрози: 1. Розрив договору з постачальником сировини. 2. Зменшення кількості потенційних клієнтів через дороговизну послуг 3. Вибір споживачами аналогічних варіантів

					РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ	Аркуш
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.12 — Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачі в сприйняти продукт	Орієнтований попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
	Музиканти різних рівнів майстерності	Готові	80% сегменту ринку	Невелика конкуренція	Легко

У якості цільових груп потенційних споживачів було обрано музиканти різних рівнів майстерності. Споживачі готові сприйняти продукт. Інтенсивність конкуренції в сегменті невелика, вхід у сегмент є легким.

Таблиця 5.13— Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Реклама	Масовий маркетинг	Якість та унікальність інструментів	Стратегія диференціації

Для обраної альтернативи розвитку проекту було обрано масовий маркетинг. Базовою стратегією розвитку обрано стратегію диференціації, адже така стратегія передбачає створення унікального продукту, який є важливим для достатньої кількості споживачів.

Таблиця 5.14 — Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект “першопрохідцем” на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Проект є одним із першопрохідців на ринку України	Компанія забиратиме існуючих споживачів у конкурентів та шукати нових	Основні характеристики будуть схожими до аналогів, відстань передачі, робоча частота, і т. П.	Стратегія позиціонування

Проведено визначення базової стратегії конкурентної поведінки. Аналіз показав, що проект є першопрохідцем. Обрано стратегію позиціонування. Компанія показує чим відрізняється продукт від конкурентів, чим корисний, які є переваги над конкурентами, таким чином відбувається позиціонування на особливостях, які важливі споживачу.

Таблиця 5.15 — Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яка пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Стабільність роботи	Висока стабільність	- Відсутність затримок у виготовленні
Велика кількість функцій	Забезпечення потреб важливих для споживача	- Можливість зміни деяких частин за час гарантійного обслуговування
Простота у використанні і ергономіка	Доступність користувачам	- Зручний сайт, та робота консультантів з клієнтами

При визначенні ключових переваг концепції потенційного товару було обрано вигоди, які пропонує товар – висока стабільність, забезпечення важливих для споживачів потреб та доступність. Ключовими перевагами перед конкурентами, можливість зміни деяких частин за час гарантійного обслуговування, відсутність затримок у виготовленні

Таблиця 5.16 — Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Клієнти дізнаються про нові продукти з реклами в інтернеті, соціальних мереж, по рекомендаціям інших людей	Інтернет, соціальні мережі	Розробка нових моделей приладів	1. Поширення знань про продукт 2. Інформація про те як зв'язатися з компанією	Перелік основних правдивих даних про продукт

Проведено визначення концепції маркетингових комунікацій. Каналами комунікацій, якими користуються цільові клієнти є інтернет та соціальні мережі. Ключовими позиціями для позиціонування є розробка нових моделей приладів. Рекламне звернення має містити перелік основних даних про продукт.

ВИСНОВКИ

1. У роботі проведено аналіз та порівняння різних способів передавання сигналу, розглянуто їх переваги та недоліки. Для практичного порівняння прийнято рішення розробити три прототипи радіосистеми та порівняти деякі їхні характеристики, а саме:

- АМ прототип
- Bluetooth прототип
- Прототип на основі nRF24

2. Проведено проектування електричних принципових схем приймача та передавача для трьох прототипів, також вдосконалено аналогову частину схеми передавача, а саме додано активний буфер який узгоджує високоомний вихід інструменту та низькоомний вхід попереднього підсилювача.

3. Проведено проектування електронних модулів в середовищі Altium Designer та розроблено відповідну конструкторську документацію. Отримані габаритні розміри прототипів складають:

- АМ прототип: передавач (ШхДхВ) 59,6 x 60,0 x 29,8 мм, приймач 45,2 x 55,0 x 29,8 мм;
- Bluetooth прототип: передавач 60,8 x 77,4 x 35,0 мм, приймач 51,2 x 65,0 x 29,8 мм;
- Прототип на основі nRF24: передавач 70,6 x 82,4 x 30,8 мм, приймач 61,2 x 71,9 x 30,8 мм;

4. За допомогою середовища звукозапису REAPER та його інструментів проведено дослідження виготовлених прототипів на затримку передавання сигналів та власні шуми. Також досліджено максимальну відстань передачі розроблених пристроїв. На основі отриманих даних можна визначити, що найкраще себе зарекомендував прототип на радіомодулі nRF24, адже він показав найнижчий рівень власних шумів та найбільшу відстань передавання сигналу, а також задовільне значення затримки, а саме 14,5 мс. найгірші показники у Bluetooth прототипу, дуже велика затримка 39 мс, високий рівень власних шумів, та найменша відстань передачі серед досліджуваних прототипів.

					<i>РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

5. Розроблено стартап проєкт, у якому розраховано конкурентноздатність даного проєкту та зацікавленість ринку в разі його реалізації. Не зважаючи на велику кількість конкурентних аналогів на ринку, проєкт може знайти свого покупця, адже в країні мало компаній що займаються виготовленням музичної апаратури.

					<i>РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ</i>	Аркуш
						69
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Solid Works — Solidworks.com — Режим доступу: <https://www.solidworks.com>.

2. Білуха В. С. Інструментальна цифрова радіостанція: бакалаврський проєкт/ Білуха Василь Сергійович; НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського" — К., 2021. — 59с.

3. Частотна модуляція — Вікіпедія — Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%B0_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%86%D1%96%D1%8F.

4. Амплітудна модуляція — Вікіпедія — Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D0%BF%D0%BB%D1%96%D1%82%D1%83%D0%B4%D0%BD%D0%B0_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%86%D1%96%D1%8F.

5. Радіо модуль RF бездротовий передавач і приймач 433 МГц для проєктів Arduino. Доставка по Україні курерською службою "Нова пошта" та "Укрпошта"— Режим доступу: <https://diyshop.com.ua/ua/radio-modul-rf-besprovodnoj-peredatchik-i-priemnik-433-mgc?gclid=Cj0K>.

6. Обращение, упаковка, транспортировка и использование компонентов для поверхностного монтажа, чувствительных к влаге при пайке методом оплавления. IPC-7070, J-STD-013. — [Чинний від 2007—01] — IPC 2007. — 4с.

7. Ai-Thinker Радіомодуль NRF24L01+ 2.4 ГГц купити в Києві та Україні — Режим доступу: <https://arduino.ua/prod4215-ai-thinker-radiomodyl-nrf24l01-2-4-ggc>.

8. Bluetooth 5.1 Gfsk Stereo Audio Zender Board Gfsk Draadloze Transceiver Module Diy Speaker Hoofdtelefoon KCX_BT_EMITTER 5V|Geintegreerde Schakelingen| - AliExpress — Режим доступу: https://nl.aliexpress.com/item/33058710334.html?spm=a2g0o.order_list.0.0.

					РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ	Аркуш
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Bluetooth audio модуль МН-М18: продаж, ціна у Дніпропетровській області. Аудіо/відео продукція від "Радіоключ" - 934513539 — Режим доступу: <https://radiokey.com.ua/ua/p934513539-bluetooth-audio-modul.html>.

10. РКС Компоненти - РАДІОМАГ — Режим доступу: <https://www.rcscomponents.kiev.ua/>.

11. Imrad - інтернет-магазин радіодеталей та електронних комплектуючих — Режим доступу: <https://imrad.com.ua/ua>.

12. PCM1808 105dB Snr Audio Stereo Adc Single Ended Analoge Ingang Decoder 24bit Versterker Board Speler Module|amplifier module|audio amplifier moduleaudio module - AliExpress — Режим доступу: <https://nl.aliexpress.com/item/32777376004.html?spm=a2g0o.product>.

13. Interface I2S PCM5102 Dac Decoder GY PCM5102 I2S Speler Module Voor Raspberry Pi Phat Formaat Board Digitale Audio Board|audio module|module audioi2s dac - AliExpress — Режим доступу: <https://nl.aliexpress.com/item/32822046058.html?spm=a2g0o.detail.0.0.38>.

14. Платы печатные. Основные параметры конструкции ГОСТ 23751-86. — [Чинний від 1989—04—01] — М. : Государственный стандарт союза ССР, 1986. — 7с.

15. Fire hazard testing – Part 11-2: Test flames – 1 kW nominal pre-mixed flame – Apparatus,confirmatory test arrangement and guidance – IEC 60695-11-2 [Чинний від 2017—06] — IEC, 2017. — 18с.

16. Directive 2011/65/EU — Schmidt-export.ru — Режим доступу: https://schmidt-export.ru/sites/default/files/pdf/ce_cert/2011-65_rohs-en.pdf.

17. Обращение, упаковка, транспортировка и использование компонентов для поверхностного монтажа, чувствительных к влаге при пайке методом оплавления. IPC-7070, J-STD-013. — [Чинний від 2007—01] — IPC 2007. — 4с.

18. Типы SMT сборок - DIP-монтаж< — Режим доступу: https://studbooks.net/2343452/tehnika/tipy_sborok.

19. Altium Designer — Altium.com — Режим доступу: <https://www.altium.com/altium-designer>.

					<i>РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ</i>	Аркуш
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

20. REAPER | Audio Production Without Limits — Режим доступу:
<https://www.reaper.fm/index.php>.

21. M-Audio — Режим доступу: <https://m-audio.com/air-192-6>.

					<i>РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ</i>	Аркуш
						72
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ДОДАТОК А РОЗРАХУНОК ШИРИНИ ДРУКОВАНОГО ПРОВІДНИКА

Для силових:

Мінімальне значення ширини друкованого провідника $t1$ у вузькому місці, мм:

Вибираємо за класом точності- $tminD_p := 0.25mm$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta tno_p := -0.05mm$

$$t1V_p := tminD_p + |\Delta tno_p| = 0.3mm$$

Мінімальне значення ширини друкованого провідника $t1$ у широкому місці, мм:

Вибираємо за класом точності- $tminD_p := 0.45mm$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta tno_p := -0.1mm$

$$t1III_p := tminD_p + |\Delta tno_p| = 0.55mm$$

Мінімально допустиму ширину провідника $t2$ з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%):

Питомий опір провідників (Ом*мм²/м)- $\rho_p := 0.0175 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$

Довжина провідника (м)- $l_p := 0.1m$

Товщина фольги (мм)- $h_p := 35 \cdot 10^{-3}mm$

Прикладена напруга (В)- $U_{жзр_p} := 5V$

Максимальний струм (А)- $I_{max_p} := 0.5A$

$$t2_p := \frac{l_p \cdot I_{max_p} \cdot \rho}{h_p \cdot U_{жзр_p} \cdot 0.03} = 0.167mm$$

Мінімально допустиму ширину провідника $t3$ з урахуванням допустимого рівня струму на ньому:

Максимальний струм (мА)- $I_{max_p} := 0.5A$

Товщина фольги (мм)- $h_p := 35 \cdot 10^{-3}mm$

Допустима щільність струму в провіднику (А/мм²)- $j_p := 20 \frac{A}{mm^2}$

$$t3_p := \frac{I_{max_p}}{h_p \cdot j_p} = 0.714mm$$

Для силових:

Мінімальне значення ширини друкованого провідника $t1$ у вузькому місці, мм:

Вибираємо за класом точності- $tminD_p := 0.25mm$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta tno_p := -0.05mm$

$$t1V_p := tminD_p + |\Delta tno_p| = 0.3mm$$

Мінімальне значення ширини друкованого провідника $t1$ у широкому місці, мм:

Вибираємо за класом точності- $tminD_p := 0.45mm$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta tno_p := -0.1mm$

$$t1III_p := tminD_p + |\Delta tno_p| = 0.55mm$$

Мінімально допустиму ширину провідника $t2$ з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%):

Питомий опір провідників (Ом*мм²/м)- $\rho_p := 0.0175 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$

Довжина провідника (м)- $l_p := 0.1m$

Товщина фольги (мм)- $h_p := 35 \cdot 10^{-3}mm$

Прикладена напруга (В)- $U_{жзр_p} := 3.3V$

Максимальний струм (А)- $I_{max_p} := 0.4A$

$$t2_p := \frac{l_p \cdot I_{max_p} \cdot \rho}{h_p \cdot U_{жзр_p} \cdot 0.03} = 0.202mm$$

Мінімально допустиму ширину провідника $t3$ з урахуванням допустимого рівня струму на ньому:

Максимальний струм (мА)- $I_{max_p} := 0.4A$

Товщина фольги (мм)- $h_p := 35 \cdot 10^{-3}mm$

Допустима щільність струму в провіднику (А/мм²)- $j_p := 20 \frac{A}{mm^2}$

$$t3_p := \frac{I_{max_p}}{h_p \cdot j_p} = 0.714mm$$

Рисунок 1 — Розрахунок ширини друкованого провідника для силових ліній

З розрахованих даних обираємо ширину провідників у вузькому та широкому місці, при цьому повинна виконуватись умова:

Для силових:

$$tmin_v \geq \begin{cases} t1V_p \\ t2_p \\ t3_p \\ t4_p \end{cases} \text{ у вузькому місці}$$

$$tmin_w \geq \begin{cases} t1III_p \\ t2_p \\ t3_p \\ t4_p \end{cases} \text{ у широкому місці}$$

$$tmin_v_s := \max(t1V_p, t2_p, t3_p, t4_p) = 0.714mm \quad tmin_w_s := \max(t1III_p, t2_p, t3_p, t4_p) = 0.714mm$$

Рекомендована ширина для силового провідника

$$tmin_w_s = 0.714mm$$

Рисунок 2 — Розрахунок ширини друкованого провідника для силових ліній

Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата

РЕ-11мн.4644 15.001 ПЗ

Аркуш

73

Для сигнальних:

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1 у вузькому місці, мм:

Вибираємо за класом точності- $t_{minD_S} := 0.25\text{mm}$
Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta t_{ho_S} := -0.05\text{mm}$
 $t1V_S := t_{minD_S} + |\Delta t_{ho_S}| = 0.3\text{-mm}$

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1 у широкому місці, мм:

Вибираємо за класом точності (на один менше) $t_{minD_S} := 0.45\text{mm}$
Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta t_{ho_S} := -0.1\text{mm}$
 $t1III_S := t_{minD_S} + |\Delta t_{ho_S}| = 0.55\text{-mm}$

Мінімально допустиму ширину провідника t2 з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%):

Питомий опір провідників (Ом*мм²/м)- $\rho := 0.0175 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$
Довжина провідника (м)- $l_S := 0.1\text{m}$
Товщина фольги (мм)- $h_S := 35 \cdot 10^{-3} \text{mm}$
Прикладена напруга (В)- $U_{жив_S} := 3.5\text{V}$
Максимальний струм (А)- $I_{max_S} := 0.1\text{A}$

$$t2_S := \frac{l_S \cdot I_{max_S} \cdot \rho}{h_S \cdot U_{жив_S} \cdot 0.03} = 0.048\text{-mm}$$

Мінімально допустиму ширину провідника t3 з урахуванням допустимого рівня струму на ньому:

Максимальний струм (А)- $I_{max_S} := 0.1\text{A}$
Товщина фольги (мм)- $h_S := 35 \cdot 10^{-3} \text{mm}$
Допустима щільність струму в провіднику(А/мм²)- $j_S := 20 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$
 $t3_S := \frac{I_{max_S}}{h_S \cdot j_S} = 0.143\text{-mm}$

Для сигнальних:

$$t_{min_v} \geq \begin{cases} t1V_S \\ t2_S \\ t3_S \end{cases} \quad \text{у вузькому місці} \quad t_{min_w} \geq \begin{cases} t1III_S \\ t2_S \\ t3_S \end{cases} \quad \text{у широкому місці}$$

$$t_{min_vP} := \max(t1V_S, t2_S, t3_S) = 0.3\text{-mm} \quad t_{min_wP} := \max(t1III_S, t2_S, t3_S) = 0.55\text{-mm}$$

Рекомендована ширина для сигнального провідника $t_{min_wP} = 0.55\text{-mm}$

Рисунок 3 — Розрахунок ширини друкованого провідника для сигнальних ліній

ДОДАТОК Б РОЗРАХУНОК ШИРИНИ ДРУКОВАНОГО ПРОВІДНИКА

Для силових:

Мінімальне значення ширини друкованого провідника $t1$ у вузькому місці, мм:

Вибираємо за класом точності- $tminD_p := 0.25mm$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta tno_p := -0.05mm$

$$t1V_p := tminD_p + |\Delta tno_p| = 0.3mm$$

Мінімальне значення ширини друкованого провідника $t1$ у широкому місці, мм:

Вибираємо за класом точності- $tminD_p := 0.45mm$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta tno_p := -0.1mm$

$$t1III_p := tminD_p + |\Delta tno_p| = 0.55mm$$

Мінімально допустиму ширину провідника $t2$ з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%):

Питомий опір провідників (Ом*мм²/м)- $\rho_s := 0.0175 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$

Довжина провідника (м)- $l_p := 0.1m$

Товщина фольги (мм)- $h_p := 35 \cdot 10^{-3}mm$

Прикладена напруга (В)- $U_{жв_p} := 5V$

Максимальний струм (А)- $I_{max_p} := 0.5A$

$$t2_p := \frac{l_p \cdot I_{max_p} \cdot \rho}{h_p \cdot U_{жв_p} \cdot 0.03} = 0.167mm$$

Мінімально допустиму ширину провідника $t3$ з урахуванням допустимого рівня струму на ньому:

Максимальний струм (мА)- $I_{max_p} := 0.5A$

Товщина фольги (мм)- $h_p := 35 \cdot 10^{-3}mm$

Допустима щільність струму в провіднику(А/мм²)- $j_p := 20 \frac{A}{mm^2}$

$$t3_p := \frac{I_{max_p}}{h_p \cdot j_p} = 0.714mm$$

Для силових:

Мінімальне значення ширини друкованого провідника $t1$ у вузькому місці, мм:

Вибираємо за класом точності- $tminD_p := 0.25mm$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta tno_p := -0.05mm$

$$t1V_p := tminD_p + |\Delta tno_p| = 0.3mm$$

Мінімальне значення ширини друкованого провідника $t1$ у широкому місці, мм:

Вибираємо за класом точності- $tminD_p := 0.45mm$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta tno_p := -0.1mm$

$$t1III_p := tminD_p + |\Delta tno_p| = 0.55mm$$

Мінімально допустиму ширину провідника $t2$ з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%):

Питомий опір провідників (Ом*мм²/м)- $\rho_s := 0.0175 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$

Довжина провідника (м)- $l_p := 0.1m$

Товщина фольги (мм)- $h_p := 35 \cdot 10^{-3}mm$

Прикладена напруга (В)- $U_{жв_p} := 3.3V$

Максимальний струм (А)- $I_{max_p} := 0.4A$

$$t2_p := \frac{l_p \cdot I_{max_p} \cdot \rho}{h_p \cdot U_{жв_p} \cdot 0.03} = 0.202mm$$

Мінімально допустиму ширину провідника $t3$ з урахуванням допустимого рівня струму на ньому:

Максимальний струм (мА)- $I_{max_p} := 0.4A$

Товщина фольги (мм)- $h_p := 35 \cdot 10^{-3}mm$

Допустима щільність струму в провіднику(А/мм²)- $j_p := 20 \frac{A}{mm^2}$

$$t3_p := \frac{I_{max_p}}{h_p \cdot j_p} = 0.714mm$$

Рисунок 4 — Розрахунок ширини друкованого провідника для силових ліній

Для силових:

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t_1 у вузькому місці, мм:

Вибираємо за класом точності- $t_{minD_P} := 0.25\text{mm}$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta t_{noP} := -0.05\text{mm}$

$$t_{1V_P} := t_{minD_P} + |\Delta t_{noP}| = 0.3\text{-mm}$$

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t_1 у широкому місці, мм:

Вибираємо за класом точності- $t_{minD_P} := 0.45\text{mm}$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta t_{noP} := -0.1\text{mm}$

$$t_{1III_P} := t_{minD_P} + |\Delta t_{noP}| = 0.55\text{-mm}$$

Мінімально допустиму ширину провідника t_2 з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%):

Питомий опір провідників (Ом*мм²/м)- $\rho := 0.0175 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$

$$I_P := 0.1\text{m}$$

Довжина провідника (м)-

$$h_P := 35 \cdot 10^{-3}\text{mm}$$

Товщина фольги (мм)-

$$U_{живP} := 3.3\text{V}$$

Прикладена напруга (В)-

$$I_{maxP} := 0.5\text{A}$$

$$\text{Максимальний струм } t_{2P} := \frac{I_P \cdot I_{maxP} \cdot \rho}{h_P \cdot U_{живP} \cdot 0.03} = 0.253\text{-mm}$$

Мінімально допустиму ширину провідника t_3 з урахуванням допустимого рівня струму на ньому:

Максимальний струм (мА)-

$$I_{maxP} := 0.5\text{A}$$

$$h_P := 35 \cdot 10^{-3}\text{mm}$$

Допустима щільність струму в провіднику (А/мм²)-
товщина фольги (мм)-

$$j_P := 20 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

$$t_{3P} := \frac{I_{maxP}}{h_P \cdot j_P} = 0.714\text{-mm}$$

З розрахованих даних обираємо ширину провідників у вузькому та широкому місці, при цьому повинна виконуватись умова:

Для силових:

$t_{min_v} \geq$ у вузькому місці

$$\begin{vmatrix} t_{1V_P} \\ t_{2P} \\ t_{3P} \end{vmatrix}$$

$t_{min_w} \geq$ у широкому місці

$$\begin{vmatrix} t_{1III_P} \\ t_{2P} \\ t_{3P} \end{vmatrix}$$

$$t_{min_vS} := \max(t_{1V_P}, t_{2P}, t_{3P}) = 0.714\text{-mm} \quad t_{min_wS} := \max(t_{1III_P}, t_{2P}, t_{3P}) = 0.714\text{-mm}$$

Рекомендована ширина для силового провідника

$$t_{min_wS} = 0.714\text{-mm}$$

Рисунок 5 — Розрахунок ширини друкованого провідника для силових ліній

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ

Аркуш

76

Для сигнальних:

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1 у вузькому місці, мм:

Вибираємо за класом точності- $t_{minD_S} := 0.25\text{mm}$
Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta t_{ho_S} := -0.05\text{mm}$
 $t1V_S := t_{minD_S} + |\Delta t_{ho_S}| = 0.3\text{-mm}$

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1 у широкому місці, мм:

Вибираємо за класом точності (на один менше) $t_{minD_S} := 0.45\text{mm}$
Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta t_{ho_S} := -0.1\text{mm}$
 $t1III_S := t_{minD_S} + |\Delta t_{ho_S}| = 0.55\text{-mm}$

Мінімально допустиму ширину провідника t2 з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%):

$$\rho := 0.0175 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

Питомий опір провідників (Ом*мм²/м)- $l_S := 0.1\text{m}$
 $h_S := 35 \cdot 10^{-3} \text{mm}$
Довжина провідника (м)- $U_{жив_S} := 3.5\text{V}$
Товщина фольги (мм)- $I_{max_S} := 0.1\text{A}$
Прикладена напруга $t2_S := \frac{l_S \cdot I_{max_S} \cdot \rho}{h_S \cdot U_{жив_S} \cdot 0.03} = 0.048\text{-mm}$
Максимальний струм (А)-

Мінімально допустиму ширину провідника t3 з урахуванням допустимого рівня струму на ньому:

$$I_{max_S} := 0.1\text{A}$$

Максимальний струм (А)-
Товщина фольги (мм)- $h_S := 35 \cdot 10^{-3} \text{mm}$
Допустима щільність струму в провіднику(А/мм²)- $j_S := 20 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$
 $t3_S := \frac{I_{max_S}}{h_S \cdot j_S} = 0.143\text{-mm}$

Для сигнальних:

$$t_{min_v} \geq \begin{cases} t1V_S \\ t2_S \\ t3_S \end{cases} \quad \text{у вузькому місці} \quad t_{min_w} \geq \begin{cases} t1III_S \\ t2_S \\ t3_S \end{cases} \quad \text{у широкому місці}$$

$$t_{min_vP} := \max(t1V_S, t2_S, t3_S) = 0.3\text{-mm} \quad t_{min_wP} := \max(t1III_S, t2_S, t3_S) = 0.55\text{-mm}$$

Рекомендована ширина для сигнального провідника $t_{min_wP} = 0.55\text{-mm}$

Рисунок 6 — Розрахунок ширини друкованого провідника
для сигнальних ліній

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

РЕ-11мп.4644 15.001 ПЗ

Аркуш
77

Позн.	Найменування	Кіл.	Примітки
	<u>Конденсатори</u>		
C1	TAJD107M047#NJV -AVX 47мкФ 16В ±10%	1	
C2	12065C3104JAT2A -AVX 100 нФ 50В ±5%	1	
C3	12065C106JAT2A -AVX 10 мкФ 50В ±5%	1	
C4	12065C335JAT2A -AVX 3,3 мкФ 50В ±5%	1	
C5	12065C225JAT2A -AVX 2,2 мкФ 50В ±5%	1	
C6	12065C105JAT2A -AVX 1 мкФ 50В ±5%	1	
C7	12065C106JAT2A -AVX 10 мкФ 50В ±5%	1	
C8	12065C103JAT2A -AVX 10 нФ 50В ±5%	2	
C9	12065C223JAT2A -AVX 22 нФ 50В ±5%	1	
C10	TAJD107M047#NJV -AVX 47мкФ 16В ±10%	1	
C11	12065C103JAT2A -AVX 10 нФ 50В ±5%	1	
C12	12065C106JAT2A -AVX 10 мкФ 50В ±5%	1	
	<u>Мікросхеми</u>		
DD1,DD2	TL072 корпус SOIC-1,75 max height	2	
	<u>Радіомодуль</u>		
DD3	FS1000A	1	
	<u>Потенціометр</u>		
RP1	16K1 - А 100К, L- 20 КС	1	

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Позн.	Найменування	Кіл.	Примітки
	<u>Конденсатори</u>		
C1	TAJD107M047#NJV -AVX 47мкФ 16В ±10%	1	
C2	12065C3104JAT2A -AVX 100 нФ 50В ±5%	1	
C3	12065C106JAT2A -AVX 10 мкФ 50В ±5%	1	
C4	12065C335JAT2A -AVX 3,3 мкФ 50В ±5%	1	
C5	12065C225JAT2A -AVX 2,2 мкФ 50В ±5%	1	
C6	12065C105JAT2A -AVX 1 мкФ 50В ±5%	1	
C7	12065C106JAT2A -AVX 10 мкФ 50В ±5%	1	
C8, C9	12065C103JAT2A -AVX 10 нФ 50В ±5%	2	
C10	12065C223JAT2A -AVX 22 нФ 50В ±5%	1	
C11	TAJD107M047#NJV -AVX 47мкФ 16В ±10%	1	
C12	12065C103JAT2A -AVX 10 нФ 50В ±5%	1	
C13	12065C106JAT2A -AVX 10 мкФ 50В ±5%	1	
	<u>Мікросхеми</u>		
DD1,DD2	TL072 корпус SOIC-1,75 max height	2	
	<u>Радіомодуль</u>		
DD3	KCX_BT_EMITTER	1	
	<u>Потенціометр</u>		
RP1	16K1 - A 100K, L- 20 KC	1	

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Позн.	Найменування	Кіл.	Примітки
	<u>Конденсатори</u>		
C1	TAJD107M047#NJV -AVX 47мкФ 16В ±10%	1	
C2	12065C3104JAT2A -AVX 100 нФ 50В ±5%	1	
C3	12065C106JAT2A -AVX 10 мкФ 50В ±5%	1	
C4	12065C335JAT2A -AVX 3,3 мкФ 50В ±5%	1	
C5	12065C225JAT2A -AVX 2,2 мкФ 50В ±5%	1	
C6	12065C105JAT2A -AVX 1 мкФ 50В ±5%	1	
C7	12065C106JAT2A -AVX 10 мкФ 50В ±5%	1	
C8	12065C103JAT2A -AVX 10 нФ 50В ±5%	1	
C9	12065C223JAT2A -AVX 22 нФ 50В ±5%	1	
C10	TAJD107M047#NJV -AVX 47мкФ 16В ±10%	1	
C11	12065C103JAT2A -AVX 10 нФ 50В ±5%	1	
C12	12065C106JAT2A -AVX 10 мкФ 50В ±5%	1	
	<u>Мікросхеми</u>		
DD1,DD2	TL072 корпус SOIC-1,75 max height	2	
	<u>Мікроконтролер</u>		
DD5	ESP WROOM-32 DEVKIT1	1	
	<u>Модулі</u>		
DD3	PCM1808	1	
DD4	nRF24L01	1	
</			

[illegible]

Позн.	Найменування	Кіл.	Примітки
	<u>Конденсатори</u>		
C1	12065C225JAT2A -AVX 2,2 мкФ 50В ±5%	1	
C2	12065C103JAT2A -AVX 10 нФ 50В ±5%	1	
C3	TAJD107M047#NJV -AVX 47мкФ 16В ±10%	1	
C4	12065C106JAT2A -AVX 10 мкФ 50В ±5%	1	
	<u>Мікросхеми</u>		
DD4	TL072 корпус SOIC-1,75 max height	1	
	<u>Мікроконтролер</u>		
DD2	ESP WROOM-32 DEVKIT1	1	
	<u>Модулі</u>		
DD3	nRF24L01	1	
DD4	PCV5102A	1	
	<u>Потенціометр</u>		
RP1	16K1 - A 100K, L- 20 КС	1	
	<u>Резистори</u>		
R1,R2	RC1206FR-100KR -Hitano 100кОм 0.25 Вт ±5%	2	
R3	RC1206FR-020R -Hitano 20 Ом 0.25 Вт ±5%	1	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис
Розробив	Білуха		
Перевір.	Адаменко.		
Реценз.			
Н. Контр	Попсуй		
Затверд.	Адаменко.		
РЕ-11мп.464415.006 ПЕ			
Приймач на nRF24 Перелік елементів		Лім.	Арк.
			1
		КПІ ім. Ігоря Сікорського, РТФ	
		Аркушів	2

[illegible]

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк	Прим
				<u>Документація</u>		
A3			PE-11мп.464415.001 СК	Складальний кресленик		
A3			PE-11мп.464415.001 ЕЗ	Схема електрична принципова		
A4			PE-11мп.464415.001 ПЕ	Перелік елементів		
				<u>Деталі</u>		
A3		1	PE-11мп.758724.001	Друкована плата		
				<u>Інші вироби</u>		
		2		TAJD107M047#NJV -AVX 47мкФ 16В ±10%	2	С1, С10
		3		12065С3104JAT2A -AVX 100 нФ 50В ±5%	1	С2
		4		12065С106JAT2A -AVX 10 мкФ 50В ±5%	3	С3,С7, С12
		5		12065С335JAT2A -AVX 3,3 мкФ 50В ±5%	1	С4
		6		12065С2255JAT2A -AVX 2,2 мкФ 50В ±5	1	С5
		7		12065С105JAT2A -AVX 1 мкФ 50В ±5%	1	С6
		8		12065С103JAT2A -AVX 10 нФ 50В ±5%	2	С8, С11
		9		12065С223JAT2A -AVX 22 нФ 50В ±5%	1	С9
		10		Мікросхема TL072 корпус SOIC-1,75 max height	2	DD1, DD2
Зм	Арк.	№ докум.	Підп	Дата	PE-11мп.464415.001	
Розроб.	Білуха				Літ.	Аркуш
Перев	Адаменко					1
Т.конт					2	
Н.конт	Попсуй				НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», РТФ, РІ-71	
Затв.	Адаменко					

Друкований вузол

[illegible]

Формат	Зона	Поз.	Позначення		Назва	Кільк	Прим
					<u>Документація</u>		
A3			PE-11мп.464415.003 СК		Складальний кресленик		
A3			PE-11мп.464415.002 ЕЗ		Схема електрична принципова		
A4			PE-11мп.464415.002 ПЕ		Перелік елементів		
					<u>Деталі</u>		
A3		1	PE-11мп.758724.002		Друкована плата		
					<u>Інші вироби</u>		
		2			TAJD107M047#NJV -AVX 47мкФ 16В ±10%	1	С1
		3			12065C2255JAT2A -AVX 2,2 мкФ 50В ±5	1	С2
		4			12065C103JAT2A -AVX 10 нФ 50В ±5%	1	С3
		5			12065C106JAT2A -AVX 10 мкФ 50В ±5%	1	С4
		6			Радіомодуль CDR03A	1	DD1
		7			Мікросхема TL072 корпус SOIC-1,75 max height	1	DD2
		8			Потенціометр 3224W - BOURNS 100 кОм ±10%	1	RP1
		9			RC1206FR-100KR -Hitano 100кОм 0.25 Вт ±5%	2	R1, R2
		10			RC1206FR-020R -Hitano 20 Ом 0.25 Вт ±5%	1	R3
					PE-11мп.464415.002		
Зм	Арк.	№ докум.	Підп	Дата	Друкований вузол		
Розроб.		Білуха					
Перев		Адаменко					
Т.конт							
Н.конт		Попсуй					
Затв.		Адаменко					
					Літ.	Аркуш	Аркуші в
						1	2
					НТУУ «КПІ ім. Ізгоря Сікорського», РТФ, РІ-71		

Формат	Зона	Поз.	Позначення		Назва	Кільк	Прим.
		11			Роз'єм NX1500-02SMS	1	S1
		12			Роз'єм NX1500-02SMS		X1
		13			Роз'єм Jack 6,3мм JC-211 Ninigi	1	X2
					<u>Матеріали</u>		
		14			Приніт SAC305	1	
		15			Паяльна паста V8B45	1	
					РЕ-11мп.464415.002	2	
Зм	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк	Прим		
				Документація				
A3			PE-11мп.464415.003 СК	Складальний кресленик				
A3			PE-11мп.464415.003 ЕЗ	Схема електрична принципова				
A4			PE-11мп.464415.003 ПЕ	Перелік елементів				
				Деталі				
A3		1	PE-11мп.758724.003	Друкована плата				
				Інші вироби				
		2		TAJD107M047#NJV -AVX 47мкФ 16В ±10%	2	С1, С11		
		3		12065С3104JAT2A -AVX 100 нФ 50В ±5%	1	С2		
		4		12065С106JAT2A -AVX 10 мкФ 50В ±5%	3	С3,С7, С13		
		5		12065С335JAT2A -AVX 3,3 мкФ 50В ±5%	1	С4		
		6		12065С2255JAT2A -AVX 2,2 мкФ 50В ±5	1	С5		
		7		12065С105JAT2A -AVX 1 мкФ 50В ±5%	1	С6		
		8		12065С103JAT2A -AVX 10 нФ 50В ±5%	3	С8, С11,С12		
		9		12065С223JAT2A -AVX 22 нФ 50В ±5%	1	С10		
		10		Мікросхема TL072 корпус SOIC-1,75 max height	2	DD1, DD2		
				PE-11мп.464415.003				
Зм	Арк.	№ докум.	Підп	Дата				
Розроб.		Білуха			Друкований вузол	Літ.	Аркуш	Аркуші в
Перев		Адаменко					1	2
Т.конт						НТУУ «КПІ ім. Ізгоря Сікорського», РТФ, РІ-71		
Н.конт		Попсуї						
Затв.		Адаменко						

[illegible]

Формат	Зона	Поз.	Позначення		Назва	Кільк	Прим
					<u>Документація</u>		
A3			PE-11мп.464415.004 СК		Складальний кресленик		
A3			PE-11мп.464415.004 ЕЗ		Схема електрична принципова		
A4			PE-11мп.464415.004 ПЕ		Перелік елементів		
					<u>Деталі</u>		
A3		1	PE-11мп.758724.004		Друкована плата		
					<u>Інші вироби</u>		
		2			TAJD107M047#NJV -AVX 47мкФ 16В ±10%	1	С1
		3			12065C2255JAT2A -AVX 2,2 мкФ 50В ±5	1	С2
		4			12065C103JAT2A -AVX 10 нФ 50В ±5%	1	С3
		5			12065C106JAT2A -AVX 10 мкФ 50В ±5%	1	С4
		6			Радіомодуль МН-М18	1	DD1
		7			Мікросхема TL072 корпус SOIC-1,75 max height	1	DD2
		8			Потенціометр 3224W - BOURNS 100 кОм ±10%	1	RP1
		9			RC1206FR-100KR -Hitano 100кОм 0.25 Вт ±5%	2	R1, R2
		10			RC1206FR-020R -Hitano 20 Ом 0.25 Вт ±5%	1	R3
					PE-11мп.464415.004		
Зм	Арк.	№ докум.	Підп	Дата	Друкований вузол		
Розроб.		Білуха					
Перев		Адаменко					
Т.конт							
Н.конт		Попсуй					
Затв.		Адаменко					
					Літ.	Аркуш	Аркуші в
						1	2
					НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», РТФ, РІ-71		

[illegible]

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк	Прим
				<u>Документація</u>		
A3			PE-11мп.464415.005 СК	Складальний кресленик		
A2			PE-11мп 464415.005 ЕЗ	Схема електрична принципова		
A4			PE-11мп.464415.005 ПЕ	Перелік елементів		
				<u>Деталі</u>		
A3		1	PE-11мп.758724.005	Друкована плата		
				<u>Інші вироби</u>		
		2		TAJD107M047#NJV -AVX 47мкФ 16В ±10%	2	С1, С10
		3		12065С3104JAT2A -AVX 100 нФ 50В ±5%	1	С2
		4		12065С106JAT2A -AVX 10 мкФ 50В ±5%	3	С3,С7, С12
		5		12065С335JAT2A -AVX 3,3 мкФ 50В ±5%	1	С4
		6		12065С2255JAT2A -AVX 2,2 мкФ 50В ±5	1	С5
		7		12065С105JAT2A -AVX 1 мкФ 50В ±5%	1	С6
		8		12065С103JAT2A -AVX 10 нФ 50В ±5%	2	С8, С11
		9		12065С223JAT2A -AVX 22 нФ 50В ±5%	1	С9
		10		Мікросхема TL072 корпус SOIC-1,75 max height	2	DD1, DD2
Зм	Арк.	№ докум.	Підп	Дата	PE-11мп.464415.005	
Розроб.	Білуха				Літ.	Аркуш
Перев	Адаменко					1
Т.конт					Друкований вузол	
Н.конт	Попсуй				НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», РТФ, РІ-71	
Затв.	Адаменко					

[illegible]

Формат	Зона	Поз.	Позначення		Назва	Кільк	Прим		
					<u>Документація</u>				
A3			PE-11мп.464415.006 СК		Складальний кресленик				
A3			PE-11мп.464415.006 ЕЗ		Схема електрична принципова				
A4			PE-11мп.464415.006 ПЕ		Перелік елементів				
					<u>Деталі</u>				
A3		1	PE-11мп.758724.006		Друкована плата				
					<u>Інші вироби</u>				
		2			12065C223JAT2A -AVX 22 нФ 50В ±5%	1	С1		
		3			12065C103JAT2A -AVX 10 нФ 50В ±5%	1	С2		
		4			TAJD107M047#NJV -AVX 47мкФ 16В ±10%	1	С3		
		5			12065C106JAT2A -AVX 10 мкФ 50В ±5%	1	С4		
		6			Радіомодуль nRF24L01	1	DD1		
		7			Мікроконтролер ESP WROOM-32 DEVKIT1	1	DD2		
		8			ЦАП РСМ5102А	1	DD3		
		9			Мікросхема TL072 корпус SOIC-1,75 max height	1	DD4		
		10			Потенціометр 3224W - BOURNS 100 кОм ±10%	1	RP1		
					PE-11мп.464415.006				
Зм	Арк.	№ докум.	Підп	Дата					
Розроб.		Білуха			Друкований вузол		Літ.	Аркуш	Аркуші в
Перев		Адаменко						1	2
Т.конт							НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», РТФ, РІ-71		
Н.конт		Попсуї							
Затв.		Адаменко							

Формат	Зона	Поз.	Позначення		Назва	Кільк	Прим
		11			RC1206FR-100KR -Hitano 100кОм 0.25 Вт ±5%	2	R1, R2
		12			RC1206FR-020R -Hitano 20 Ом 0.25 Вт ±5%	1	R3
		13			Роз'єм NX1500-02SMS	1	S1
		14			Роз'єм NX1500-02SMS	1	X1
		15			Роз'єм Jack 6,3мм JC-211 Ninigi	1	X2
					<u>Матеріали</u>		
		16			Пріпій SAC305	1	
		17			Паяльна паста V8B45	1	
					PE-11мп.464415.006	2	
Зм	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			