

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

**Радіотехнічний факультет
Кафедра прикладної радіоелектроніки**

До захисту допущено:

Зав. кафедри

Андрій МОВЧАНЮК

«__» _____ 20__ р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньою програмою «Інтелектуальні технології
радіоелектронної техніки»,
за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
на тему
«_Пристрій дистанційного керування функціями плеєра смартфона»**

Виконав (-ла):
студент (-ка) IV курсу, групи РЕ-11
Сокотун Олег Сергійович

Керівник: Новосад Андрій Анатолійович

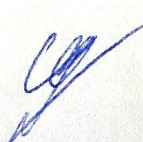
Рецензент: Булашенко Андрій Васильович




13.06.25 р.

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

Студент



Київ – 2025 року

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

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»,

освітня програма «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

Андрій МОВЧАНЮК

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Сокотун Олег Сергійович

1. Тема проєкту «Пристрій дистанційного керування функціями плеєра смартфона»

керівник проєкту Новосад Андрій Анатолійович

затверджені наказом по університету від «29» червня 2025 р. №1840-с

2. Строк подання студентом проєкт 09.06.2025року

3. Вихідні дані до проєкту

Потреба в носимому пристрої для дистанційного керування мультимедійними функціями смартфона.

Необхідність бездротового підключення за допомогою Bluetooth.

Використання мікроконтролера ESP32, BLE, акумуляторного живлення, компактних розмірів пристрою.

Вимоги до енергоефективності, компактності, ергономіки та сумісності зі смартфонами.

Вимога реалізації корпусу, схеми, друкованої плати та програмного забезпечення.

4. Зміст (дипломної проєкту) пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити)

Аналіз предметної області та аналогічних рішень

Обґрунтування вибору форм-фактора пристрою

Розробка структурної та електричної схеми пристрою

Підбір елементної бази: ESP32, LTC4054, MCP1825S, акумулятор, кварц, USB Type-C

Розробка друкованої плати в Altium Designer

Розрахунок антени та моделювання в ANSYS HFSS

Розробка програмного забезпечення для керування мультимедіа через BLE HID

Розробка корпусу пристрою в CAD-середовищі

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо)

Електричні схеми (структурна, принципова)

3D-модель друкованої плати та корпусу

Плакати з результатами трасування (топ/бот)

Графіки моделювання антени (S11, Gain)

Фото зібраного пристрою

6. Дата видачі завдання 14 квітня 2025 року

Календарний план

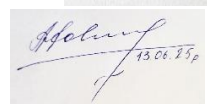
№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Аналіз предметної області	14.04.2025- 21.04.2025	Виконано
2	Обґрунтування вибору компонентів і програмних засобів для реалізації носимого пристрою	22.04.2025- 29.04.2025	Виконано
3	Розробка схеми та плати пристрою	30.04.2025- 21.05.2025	Виконано
4	Розробка корпусу та програмного коду	22.05.2025- 29.05.2025	Виконано
5	Оформлення документації	30.05.2025- 03.06.2025	Виконано
6	Підготовка презентації та предзахист	04.06.2025- 06.06.2025	Виконано

Студент

Олег Сокотун

Керівник

Андрій Новосад



АНОТАЦІЯ

Дипломна проєкт складається з пояснювальної записки обсягом 76 сторінки, які включають 30 рисунка, 26 джерел та 5 додатка.

Мета даного проєкту полягає у розробці компактного, інтелектуального носимого пристрою у формі кулона, що забезпечує зручну взаємодію з мультимедійними системами за допомогою бездротового з'єднання. Для цього було проведено аналіз апаратної архітектури та визначено оптимальну конфігурацію електронних компонентів, здатних забезпечити стабільну та енергоефективну роботу пристрою.

У процесі розробки було обрано сучасний мікроконтролер ESP32, який поєднує високий рівень продуктивності та інтегровану підтримку Bluetooth, що дозволяє забезпечити швидку й стабільну комунікацію з мобільними пристроями. Додатково реалізовано систему живлення з використанням акумулятора, мікросхеми заряду з портом USB Type-C, що забезпечує зручність заряджання та експлуатації.

Усі апаратні компоненти об'єднані на одній друкованій платі, що дозволяє досягти максимальної компактності конструкції. Завдяки цьому вдалося розмістити весь функціонал у корпусі невеликого носимого кулона, придатного для щоденного використання.

Результатом реалізації став повнофункціональний пристрій, що дозволяє здійснювати керування мультимедійними командами, такими як відтворення, пауза, зупинка, а також перемикання на наступний або попередній елемент (наприклад, пісні або відео), — без необхідності прямої взаємодії з основним пристроєм. Успішне тестування апаратної частини підтвердило працездатність рішення та відповідність поставленим вимогам.

Ключові слова: ESP32, Bluetooth, USB Type-C, LTC4054

ABSTRACT

The diploma project consists of an explanatory report comprising 76 pages, which include 30 figures, 26 references, and 5 appendix.

The goal of this work is to develop a compact, intelligent wearable device in the form of a pendant that enables convenient interaction with multimedia systems via a wireless connection. To achieve this, an analysis of the hardware architecture was conducted, and the optimal configuration of electronic components was determined to ensure stable and energy-efficient operation of the device.

During the development process, the modern ESP32 microcontroller was selected, combining high performance with integrated Bluetooth support, which enables fast and stable communication with mobile devices. Additionally, a power supply system was implemented using a battery and a charging circuit with a USB Type-C port, providing ease of charging and usage.

All hardware components are integrated on a single printed circuit board, which allows for maximum compactness of the design. As a result, the entire functionality was successfully placed within the housing of a small wearable pendant suitable for everyday use.

The final implementation resulted in a fully functional device that allows multimedia command control — such as play, pause, stop, as well as switching to the next or previous item (e.g., songs or videos) — without the need for direct interaction with the primary device. Successful hardware testing confirmed the functionality of the solution and its compliance with the defined requirements.

Keywords: ESP32, Bluetooth, USB Type-C, LTC4054

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту**

на тему: «Пристрій дистанційного керування функціями плеєра
смартфона»

Київ – 2024 року

Зміст

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	3
ВСТУП	4
1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	5
1.1.Сучасні виклики мобільної взаємодії з мультимедіа	5
1.2.Роль носимих пристроїв у зручності керування контентом і важливість альтернативи.....	6
1.3.Методи взаємодії: сенсорні, голосові, кнопкові.....	7
1.4.Аналіз наявних комерційних рішень	8
1.5.Обґрунтування вибору форм-фактора кулона з трьома кнопками.....	10
1.6.Порівняння переваг запропонованого рішення з аналогами	10
2. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ	12
2.1.Структурна схема.....	12
2.2. Вибір компонентів	13
2.2.1.Мікроконтролер ESP32	13
2.2.2.Стабілізатор живлення MCP1825S	15
2.2.3.Контролер заряду LTC4054.....	15
2.2.4.Кварцовий генератор 7B-40.000MEEQ-T	16
2.2.5.USB Type-C	17
2.2.6.Акумулятор	18
2.3.Синтез схеми електричної принципової	20
2.4.Аналіз та симуляція антени	23
3.РОЗРОБКА ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА.....	26
3.1.Програма для розробки	26

					PE11.467731.001 ПЗ			
ЗМ.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата	Пристрій дистанційного керування функціями плеєра смартфона»	Лім.	Лист	Листів
Розробив	Сокотун О.						1	
Перевірів	Новосад А.							
Н. Контр.	Новосад А.							
Затвердив	Новосад А.					PE-11, РТФ		

3.2.Додавання Footprint та 3D моделей	27
3.3.Розрахунок мінімальної площі та вибір форми плати	32
3.4.Аналіз з точки зору технолога.....	34
3.5.Створення друкованої плати	39
3.6.Компонування та трасування	44
4.РОЗРОБКА КОРПУСУ ТА КОМПОНУВАННЯ ПРОСТРОЮ	48
4.1.Матеріал корпусу	48
4.2.Конструкція корпусу.....	48
4.4.Мультимедійні кнопки	50
4.5.Зарядний роз'єм USB Type-C.....	50
4.6.Отвори для антени.....	51
4.7.Петля для носіння.....	52
4.8.Ергономіка	53
4.9.Габарити	54
5. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	55
5.1.Опис програмного забезпечення.....	55
5.2.Пояснення програмного забезпечення	56
5.3.Висновок	57
ВИСНОВОК.....	58
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	59
Додаток А. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИСТРОЮ	62
Додаток Б. КОНСТРУКТОРСЬКА ДОКУМЕНТАЦІЯ	64
Додаток В. СКЛАДЛЬНИЙ КРЕСЛЕНИК.....	66
Додаток Г. ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ.....	67
Додаток Д. СПЕЦИФІКАЦІЯ	69

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ADC – Analog-to-Digital Converter
BLE – Bluetooth Low Energy
CPU – Central Processing Unit
DAC – Digital-to-Analog Converter
FR4 – Flame Retardant Grade 4
GPIO – General Purpose Input/Output
HID – Human Interface Device
I2C – Inter-Integrated Circuit
IC – Integrated Circuit
IDE – Integrated Development Environment
LDO – Low Dropout Regulator
PCB – Printed Circuit Board
PCBA – Printed Circuit Board Assembly
PWM – Pulse-Width Modulation
RF – Radio Frequency
SMD – Surface-Mount Device
SPI – Serial Peripheral Interface
UART – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
USB – Universal Serial Bus
VCC – Voltage at Common Collector
VIN – Voltage Input

					<i>PE11.467731.001 ПЗ</i>	Лис
						3
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасному світі, де зростає потреба в мобільності, зручності та мінімізації фізичної взаємодії з технікою, розвиток носимих пристроїв стає важливим напрямом інновацій. Особливу увагу привертають компактні пристрої, які дозволяють взаємодіяти з цифровими системами інтуїтивно та безперешкодно. Одним із таких рішень є реалізація інтелектуальних аксесуарів, здатних забезпечити управління мультимедійними системами користувача за допомогою бездротового зв'язку. Це відкриває нові можливості у сфері персональних електронних пристроїв та покращення користувацького досвіду.

Об'єктом дослідження даного проєкту є носимий електронний пристрій, що забезпечує дистанційне керування мультимедійними функціями. Предметом дослідження є апаратні та програмні засоби реалізації компактного пристрою на базі мікроконтролера ESP32 з підтримкою Bluetooth-зв'язку.

Метою даного проєкту є розробка повнофункціонального носимого пристрою у формі кулона, здатного передавати мультимедійні команди (відтворення, пауза, перемикання вперед/назад) до мобільного або іншого сумісного пристрою через Bluetooth-з'єднання. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання: — аналіз апаратної архітектури для забезпечення компактності та енергоефективності, — вибір оптимальних електронних компонентів, — розробка друкованої плати, — програмування функціоналу з використанням Bluetooth-протоколів,

Результатом виконаного проєкту є компактний, енергоефективний пристрій-кулон, який забезпечує інтуїтивне керування мультимедійним контентом без потреби безпосередньої взаємодії з основним пристроєм. Такий пристрій має потенціал широкого застосування у повсякденному житті, покращуючи зручність користувача та зменшуючи залежність від традиційних методів керування.

					РЕ11.467731.001 ПЗ	Лис
						4
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1.Сучасні виклики мобільної взаємодії з мультимедіа

Сучасний користувач часто керує музикою чи відео з мобільного пристрою, але стандартні способи взаємодії демонструють суттєві обмеження. Малий сенсорний екран смартфона вимагає тривалого фокусування на дрібних елементах інтерфейсу, що провокує втомлення очей. Відсутність тактильної зворотного зв'язку ускладнює точне введення команд: без фізичної клавіатури чи кнопок користувач не відчуває натиску пальцем. Крім того, на вулиці чи під час спорту сенсорний екран може не реагувати в рукавичках чи за наявності вологи.

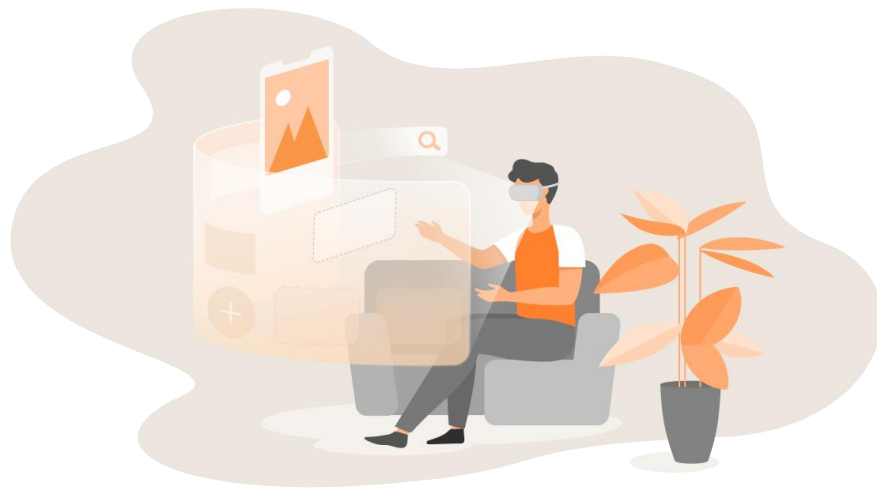


Рисунок 1.1 — Взаємодія с мультимедією

Практичні сценарії використання мультимедіа – це біг, їзда на велосипеді чи автомобілем і накладають додаткові обмеження. Керування телефоном в русі відволікає увагу: навіть голосові команди можуть бути небезпечними. Так, дослідження AAA показало, що використання голосових помічників під час водіння створює сильне когнітивне навантаження і може викликати небезпеку навіть через десятки секунд після завершення команди. Водночас фізичні маніпуляції з телефоном (скрол, натискання екрану) ускладнені на бігу чи під час руху й можуть порушувати безпеку. Тож основні виклики це обмежена

					РЕ11.467731.001 ПЗ	Лис
						5
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

видимість і управлінські можливості мобільних пристроїв при одночасній багатозадачності та експлуатації в умовах руху, холоду чи мокрих рук

1.2.Роль носимих пристроїв у зручності керування контентом і важливість альтернативи

Носимі пристрої (смарт-годинники, браслети, «розумні» кліпси чи кулони) можуть значно полегшити керування мультимедіа. Оскільки вони завжди знаходяться на тілі користувача, їх не потрібно витягати чи шукати, що економить час і увагу. Дослідження показують, що саме носимі технології підходять для віддаленого керування мобільними пристроями: вони забезпечують швидкий доступ до управлінських функцій, не вимагаючи постійної взаємодії з самим смартфоном.



Рисунок 1.2 — Аналогічні пристрої

Наприклад, багато смарт-годинників уже мають додатки для керування музикою чи викликом асистента, дозволяючи змінити трек або зробити паузу одним дотиком чи жестом. У спортивному контексті спеціальні носимі контролери спроектовані так, щоб інтуїтивно змінювати гучність чи перемикаати треки, не відриваючи уваги від тренування чи дороги. Таким чином, розвиток носимих гаджетів відкриває нові можливості: менші за розмірами та енергоефективні пристрої, які «супроводжують» користувача і гарантують легкий доступ до медіаконтролю без необхідності постійно дивитися на екран смартфона.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE11.467731.001 ПЗ

Лис
6

1.3.Методи взаємодії: сенсорні, голосові, кнопкові

Сенсорні інтерфейси: Перевага у інтуїтивності і універсальності. Сенсорні екрани дозволяють користувачу безпосередньо взаємодіяти з елементами, відкривають доступ до великого набору функцій і не потребують додаткового обладнання. Однак вони мають суттєві недоліки: користувачам доводиться фокусувати зір на дисплеї, що важко під час руху; довга робота з екраном призводить до втоми пальців та очей. Нестача тактильного відчуття ускладнює точне натискання дрібних кнопок. Сенсорний контроль також чутливий до зовнішніх умов: холод або волога можуть зробити екран нечутливим, а великі пальці чи рукавички – фактично унеможливити взаємодію.

Голосові інтерфейси: Головна перевага у «hands-free» керуванні: користувач може віддавати команди, не відриваючи рук від керма чи не глянувши на екран. Це зручно у повсякденному житті (на кухні, в автомобілі тощо), і часто допомагає підвищити безпеку. Голосовий помічник дозволяє вмикати музику, змінювати трек або регулювати гучність без фізичного контакту з пристроєм. Проте є суттєві недоліки: розпізнавання мови може давати помилки через акценти чи сильний шум довкілля (наприклад, вуличний трафік). Голосовим системам властиві затримки та обмеження в наборі команд; до того ж вони потребують мережі або доступу до хмарних сервісів. Не менш важливе питання приватності та безпеки, голосовий контроль може бути неприйнятним у публічних місцях.



Рисунок 1.3 — Демонстрація контактного впливу
Кнопкові інтерфейси: Фізичні кнопки забезпечують надійність і

					<i>РЕ11.467731.001 ПЗ</i>	Лис
						7
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

тактильний зворотний зв'язок. Користувач відчуває натиск кнопки, може керувати пристроєм навіпомацки, не відриваючи погляду. Кнопки прості в розробці та стабільні в роботі – не страждають від шуму та вологи. Крім того, вони часто довговічніші за сенсори. Основним недоліком кнопкових інтерфейсів є обмежена кількість функцій: кожна фізична кнопка, як правило, відповідає за одну конкретну команду. Це ускладнює реалізацію більш широкого функціоналу. Водночас фізичні кнопки забезпечують простоту та зручність взаємодії — користувач може швидко і впевнено виконати потрібну дію без необхідності дивитися на пристрій. Проте такі інтерфейси потребують ретельного планування: важливо заздалегідь визначити оптимальну кількість кнопок і логічне розташування для інтуїтивного доступу до основних функцій.

1.4. Аналіз наявних комерційних рішень

На ринку є декілька прикладів зовнішніх Bluetooth-контролерів для мультимедіа.

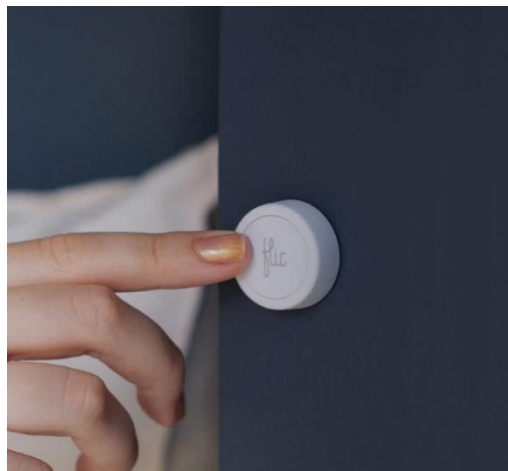


Рисунок 1.5 — Пристрій Flic Button

Flic Button – компактна бездротова кнопка, яку можна носити на зап'ясті або кріпити до одягу. Вона підтримує різні сценарії (Play/Pause, запуск камери, відправка місцеположення тощо) через мобільний додаток. Виробник відзначає її дуже малий розмір і широку сумісність, але одночасно це досить дорога система 35\$ за кнопку і потребує настройки через хмарний сервіс. Пристрій

					<i>PE11.467731.001 ПЗ</i>	Лис
						8
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

успішно виконує базову функцію: наприклад, одним дотиком можна поставити музику на паузу або знову відтворити трек. Проте Flic обмежений у можливостях: він керує мультимедіа тільки коли перебуває в радіусі з'єднання зі смартфоном, а додаткові кнопки чи спеціальних функцій не пропонує (для перемикання треків доводиться використовувати подвійні чи потрійні натискання).



Рисунок 1.6 — Пристрій Chubby Buttons

Ще одним прикладом є Chubby Buttons – носимий Bluetooth-пульт (зазвичай чіпляється на руку або ліпиться на поверхню), який орієнтований на спортивне використання. Його особливість – дуже великі механічні кнопки, що дозволяє керувати музикою навіть у рукавичках та екстремальних умовах. Такий пристрій забезпечує надійний фізичний контроль (гучність, наступна/попередня пісня), але все одно форм-фактор приєднується до рук чи екіпірування. Ключова ідея – винести керування за межі смартфона для зручності під час активності. Водночас на ринку є й інші рішення: існують «умні брелоки» (AirTag, Tile) з однією кнопкою, але вони призначені для пошуку речей, а не для керування медіа. Деякі виробники пропонують функціональні модулі (на кшталт універсальних Bluetooth-пультів для авто чи велосипеда), але вони часто громіздкі чи заточені лише під вузьке застосування. Загалом, існуючі продукти

					РЕ11.467731.001 ПЗ	Лис
						9
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

демонструють різні підходи: від однокнопоквих смарт-кнопок (Flic) до спеціалізованих мультикнопоквих контролерів (Chubby), але жодне з них повністю не задовольняє водночас потребу в компактності, автономності та простоті керування основними функціями мультимедіа.

1.5.Обґрунтування вибору форм-фактора кулона з трьома кнопками

Обрано форму невеликого кулона, що носить на шії, з трьома фізичними кнопками. По-перше, кулон розташовується на грудях – в полі зору і легкодоступний обома руками. На відміну від браслета, кулон не рухається разом з руками під час жестів, тому його завжди просто відчувати на дотик і розрізнити кнопки навпомацки. Три кнопки забезпечують інтуїтивне відповідність необхідним командам: центральна кнопка «плей/пауза», бокові «наступний трек» і «попередній трек». Такий розподіл відповідає звичній концепції керування медіа і виключає необхідність комбінаційних натискань. По-друге, форма кулона спрощує ергономіку та естетику: це цілком може бути дизайнерською прикрасою, що не потребує носіння додаткових пристроїв на зап'ясті чи у кишені. Габарити дозволяють розмістити достатній діаметр кнопок, що зменшує випадкові помилки; прикладом є пульт Chubby Buttons, де великі кнопки дозволяли керувати пристроєм «не знімаючи рукавичок» Кулон також може вмістити відповідну антену та батарею для стабільного бездротового зв'язку. Отже, саме комбінація «три кнопки + кулон» гарантує оптимальне поєднання компактності і зручності: достатній набір команд для мультимедіа, можливість навпомацки орієнтуватися по кнопках та комфортне щоденне носіння.

1.6.Порівняння переваг запропонованого рішення з аналогами

Порівнюючи моє рішення з існуючими аналогами, можна виділити кілька переваг. По-перше, простота і надійність: на відміну від голосових помічників, носимий пристрій не залежить від зовнішніх умов чи шумового фону — кнопкова взаємодія виконується локально та миттєво. Голосові системи хоч і «hands-free», але часто неправильно розпізнають команди за акцентом чи за

					РЕ11.467731.001 ПЗ	Лис
						10
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

сильної музики, та крім того створюють когнітивне навантаження. По-друге, порівняно з сенсорним керуванням смартфоном, фізичні кнопки дають миттєвий відгук і можливість тактильно впевнено виконувати дію без відволікання погляду. Сенсорні екрани довгочасно втомлюють пальці і очі, тоді як в нашому рішенні операції скорочуються до одного натискання. По-третє, на відміну від універсальних контролерів, що обслуговують сотні пристроїв і коштують дорого, наш пульт оптимізований для вузької задачі – керування мультимедіа. Це спрощує інтерфейс, робить пристрій дешевшим і більш енергоефективним. Нарешті, у порівнянні з іншими носимими (кеш-система чи смарт-годинник), кулон з трьома кнопками легший та компактніший: він не має дисплею, не відволікає повідомленнями і витрачає мінімум енергії. Таким чином, запропоноване рішення поєднує високу зручність застосування в русі (як у спортивних пультів) із простотою використання (як у звичних пультів на одну чи дві кнопки), забезпечуючи управління мультимедіа на найнеобхіднішому рівні з мінімальними витратами ресурсів

					РЕ11.467731.001 ПЗ	Лис
						11
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

2. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ

2.1. Структурна схема

На основі проведеного аналізу та обґрунтування вибору елементної бази у попередньому розділі, сформовано загальну архітектуру пристрою. Всі функціональні блоки були згруповані відповідно до їх призначення та взаємодії між собою. З урахуванням специфіки проєкту, компактного носимого пристрою для керування мультимедійними командами, розроблено структурну схему, яка забезпечує логічне відображення апаратної взаємодії ключових елементів системи.

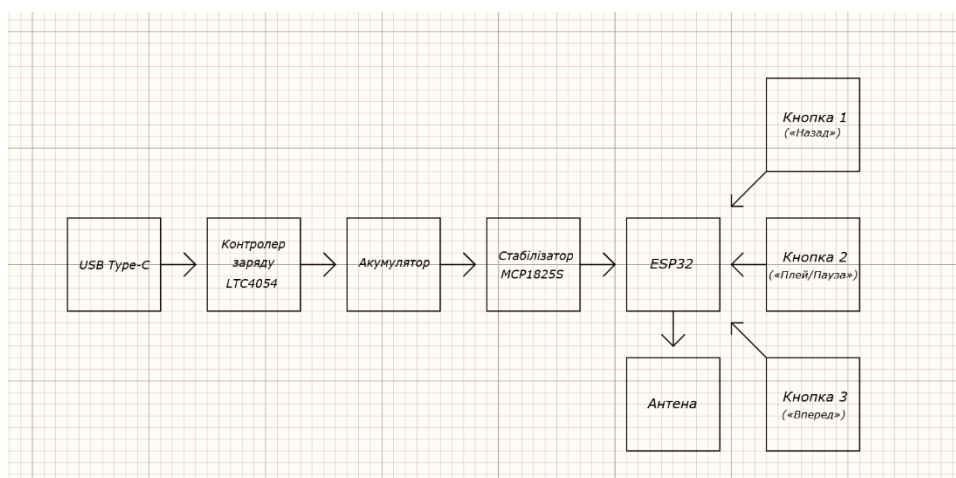


Рисунок 2.1. — Структурна схема

Пристрій-кулон є компактным носимим контролером, який забезпечує бездротове керування мультимедійними командами за допомогою Bluetooth-з'єднання. Основу системи становить мікроконтролер ESP32, що має вбудований модуль Bluetooth Low Energy (BLE) для зв'язку зі смартфоном або іншим сумісним пристроєм.

Живлення до пристрою подається через USB Type-C, що підключений до контролера заряду LTC4054. Цей модуль забезпечує безпечне заряджання вбудованого літій-іонного акумулятора. Надалі енергія з акумулятора стабілізується за допомогою MCP1825S, який формує напругу 3.3 В для живлення цифрової логіки.

Центральною частиною пристрою є ESP32, який отримує живлення від

					PE11.467731.001 ПЗ	Лис
						12
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

стабілізатора та обробляє сигнали від трьох фізичних тактильних кнопок. Кожна кнопка відповідає за окрему команду: – Кнопка 1 — «Назад» (попередній трек), – Кнопка 2 — «Плей/Пауза», – Кнопка 3 — «Вперед» (наступний трек).

Використання окремих кнопок без комбінацій робить інтерфейс інтуїтивно зрозумілим і зручним у повсякденному використанні.

Завдяки компактному розміщенню усіх компонентів на одній друкованій платі, пристрій вміщується в корпус кулона, який можна носити на шії.

2.2. Вибір компонентів

У даному розділі розглянуто основні електронні компоненти, використані для реалізації апаратної частини пристрою. Підбір мікросхем здійснювався з урахуванням компактності, енергоефективності, функціональності та сумісності між собою. Особлива увага приділялась підтримці Bluetooth-з'єднання, стабільній роботі при живленні від акумулятора, а також мінімізації розмірів і кількості зовнішніх елементів, що є критично важливим для портативного формфактора пристрою.

2.2.1. Мікроконтролер ESP32

У даному проєкті як основний обчислювальний модуль обрано мікроконтролер ESP32-D0WD від компанії Espressif Systems. Це сучасний, високопродуктивний двоядерний мікроконтролер, побудований на основі архітектури Xtensa LX6, що працює з частотою до 240 МГц. Основними причинами вибору саме цього чипа стали його висока функціональність, енергоефективність, мініатюрність та вбудовані бездротові інтерфейси.



Рисунок 2.2.— Чіп ESP32-D0WD

					<i>PE11.467731.001 ПЗ</i>	Лис
						13
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні характеристики ESP32-D0WD:

1. Два ядра Xtensa LX6 (до 240 МГц) — для швидкої обробки задач у реальному часі.
2. Bluetooth 4.2 (BLE) та Wi-Fi 802.11 b/g/n — без потреби в зовнішніх модулях.
3. Низьке енергоспоживання — Deep Sleep <10 μ A, що критично для автономної роботи.
4. Більше 30 GPIO з підтримкою UART, SPI, I2C, I2S, PWM.
5. Вбудовані АЦП (12-біт) та ЦАП — для аналогових задач без зовнішніх компонентів.
6. Підтримка зовнішньої флеш-пам'яті до 16 МБ.

Переваги для поточного проекту:

1. ESP32-D0WD об'єднує в одному корпусі Для стабілізації тактової частоти, антенний тракт, стабілізатори напруги та інтерфейси — це значно зменшує кількість зовнішніх компонентів і спрощує топологію плати. Така інтеграція дозволяє реалізувати усю апаратну частину на одній платі мінімального розміру, що є ключовим для кулона.

2. Завдяки вбудованому Bluetooth BLE можливе швидке встановлення з'єднання зі смартфоном без додаткових зовнішніх модулів. У проєкті використовується Bluetooth HID-профіль, що дозволяє передавати мультимедійні команди системного рівня (Play, Pause, Next) напряму в ОС смартфона.

3. Вбудовані механізми глибокого сну (Deep Sleep, Light Sleep) дозволяють скоротити енергоспоживання в режимах очікування. У поєднанні з використанням кнопок як джерел пробудження, це забезпечує тривалу автономну роботу пристрою на одному заряді.

4. ESP32 дозволяє призначити будь-яку вивідну функцію майже на будь-який GPIO що забезпечує високу гнучкість у трасуванні плати та розміщенні елементів.

					<i>PE11.467731.001 ПЗ</i>	Лис
						14
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.2.Стабілізатор живлення MCP1825S

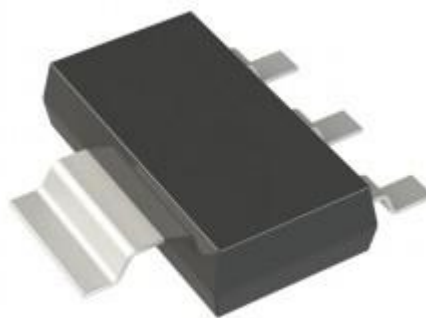


Рисунок 2.3. — Корпус MCP1825S

Для забезпечення стабільного живлення всіх цифрових компонентів пристрою, зокрема мікроконтролера ESP32, було обрано лінійний стабілізатор напруги MCP1825S. Цей стабілізатор виробництва Microchip призначений для живлення низьковольтних цифрових схем, що працюють у діапазоні 1.8–3.3 В, і чудово підходить для портативних пристроїв з живленням від літій-іонного акумулятора (номінал 3.7–4.2 В).

Переваги MCP1825S:

1. Акумулятор у пристрої має напругу від 4.2 В (повністю заряджений) до ~3.0 В (розряджений). MCP1825S може працювати в діапазоні 2.1–6.0 В на вході, стабілізуючи вихід на 3.3 В, що повністю охоплює напругу батареї без втрати стабільності.

2. Цей стабілізатор належить до категорії LDO (Low Dropout). При максимальному струмі навантаження 500 мА падіння напруги складає лише ~210 мВ. Це означає, що навіть при зниженні заряду батареї до 3.5 В пристрій продовжить стабільно працювати, не втрачаючи живлення на ESP32.

2.2.3.Контролер заряду LTC4054

					<i>PE11.467731.001 ПЗ</i>	Лис
						15
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.4.— Корпус LTC4054

Для безпечного та ефективного заряджання літій-іонного акумулятора в проєкті використовується мікросхема LTC4054 (позначення DA1) від компанії Analog Devices. Це монолітний лінійний зарядний пристрій, спеціально розроблений для портативних пристроїв, де критично важливі компактність, простота реалізації та низьке енергоспоживання.

Ключові переваги LTC4054:

1. Простота підключення: мікросхема не потребує зовнішніх MOSFET, діодів або додаткових схем керування. Усі елементи управління зарядкою інтегровані, що дозволяє зменшити кількість компонентів на платі та її габарити.
2. Фіксована напруга заряду 4.2 В: відповідає стандарту заряджання більшості літій-іонних акумуляторів. Це забезпечує повну зарядку акумулятора без ризику перезаряду.

2.2.4.Кварцовий генератор 7B-40.000MEEQ-T

					<i>PE11.467731.001 ПЗ</i>	Лис
						16
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

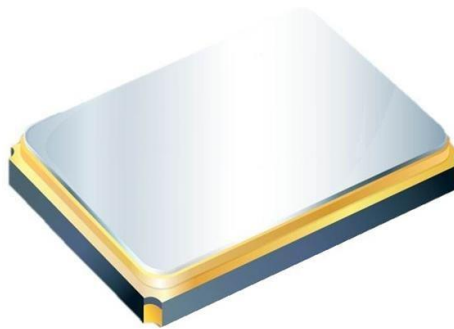


Рисунок 2.5. — Корпус кварцового генератора 7В-40.000МЕЕQ-Т

Для стабілізації тактової частоти мікроконтролера ESP32 у даному проєкті використовується кварцовий резонатор 7В-40.000МЕЕQ-Т. Він підключений до виводів XTAL_N / XTAL_P мікроконтролера через коливальний контур на основі конденсаторів. Така схема формує стабільне джерело генерації сигналу частотою 40 МГц, необхідного для внутрішньої синхронізації системи.

Переваги використання кварцового резонатора:

1. Висока точність частоти. Кварцові генератори забезпечують набагато вищу стабільність і точність (до $\pm 10\text{--}30$ ppm), порівняно з внутрішніми RC-осциляторами мікроконтролера, похибка яких може досягати 1% і більше. Це критично для коректної роботи Bluetooth, де точність частоти прямо впливає на синхронізацію, якість з'єднання і швидкість передачі.

2. Зниження частотного дрейфу. На відміну від внутрішніх осциляторів, кварц менш схильний до температурного дрейфу. Це забезпечує стабільну роботу пристрою при зміні температур навколишнього середовища, наприклад, при носінні під одягом або на відкритому повітрі.

2.2.5.USB Type-C

					<i>PE11.467731.001 ПЗ</i>	Лис
						17
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.6. — Вигляд роз'єму USB Type-C

У проекті використовується роз'єм USB Type-C для реалізації функції заряджання вбудованого акумулятора. Роз'єм підключений до мікросхеми LTC4054, яка здійснює безпечне керування зарядом. Лінії CC1 і CC2 з'єднані із загальним проводом через резистори 5.1 кОм, відповідно до специфікації USB Type-C. Це дозволяє пристрою правильно визначити наявність джерела живлення та ініціювати зарядний процес.

Переваги використання USB Type-C:

1. USB Type-C став де-факто стандартом для сучасної електроніки. Він сумісний з більшістю адаптерів живлення, зарядних пристроїв, ноутбуків і смартфонів. Це означає, що користувачу не потрібно носити окремий кабель або адаптер — заряджання пристрою можливе від будь-якого сучасного джерела живлення, включаючи powerbank, ноутбук чи адаптер від телефона.

2. USB Type-C має симетричну (реверсивну) конструкцію, тобто штекер можна вставляти будь-якою стороною. Це зменшує знос, спрощує підключення та підвищує зручність користування, що особливо важливо для швидкого заряджання в польових умовах або у темряві.

2.2.6. Акумулятор

					РЕ11.467731.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		18



Рисунок 2.7. — Вигляд акумулятору

Акумулятор Li-Pol 502030 є літій-полімерним джерелом живлення ємністю 250 мА·г при номінальній напрузі 3.7 В. Цей тип акумуляторів широко використовується в компактних електронних пристроях завдяки поєднанню високої енергоємності, малої ваги, тонкого формфактора та стабільної вихідної напруги протягом більшості циклу розряду. Формфактор 502030 вказує на розміри акумулятора: 5.0 мм (товщина) × 20 мм (ширина) × 30 мм (довжина). Такі габарити роблять його ідеальним варіантом для розміщення всередині корпусу носимого пристрою-кулона.

Основні переваги цього акумулятора для мого пристрою:

Компактність і легкість, що дозволяє легко інтегрувати акумулятор в корпус.

Низький саморозряд, важливий для пристроїв, які перебувають у тривалому режимі очікування. Повна сумісність із зарядним контролером LTC4054 — стандартна напруга заряду 4.2 В.

Розрахунок тривалості автономної роботи

У режимі безперервної активної роботи (часте натискання кнопок, передача даних через Bluetooth), споживання ESP32 становить ≈ 200 мА (враховуючи мікроконтролер, периферію та стабілізатор).

$$\text{Тоді: } t = 250 \text{ мА} \cdot \text{г} / 200 \text{ мА} \approx 1.25 \text{ години} \approx 75 \text{ хвилин}$$

Це мінімальний час автономної роботи при найвищому навантаженні. Однак у реальних умовах пристрій переважно перебуває в режимі очікування (BLE

					<i>PE11.467731.001 ПЗ</i>	Лис
						19
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Idle/Light Sleep), і лише 10% часу працює активно. При цьому:

Струм у режимі очікування $\approx 1.5 \text{ мА}$

Струм у режимі активної передачі $\approx 200 \text{ мА}$

Середній струм споживання: $I_{\text{середній}} = 0.9 \times 1.5 \text{ мА} + 0.1 \times 200 \text{ мА} = 1.35 + 20 = 21.35 \text{ мА}$

Тривалість роботи при середньому навантаженні: $t = 250 \text{ мА} \cdot \text{г} / 21.35 \text{ мА} \approx 11.7 \text{ години}$

Таким чином, при типовому використанні, де пристрій більшість часу знаходиться у режимі очікування, його можна використовувати протягом 11–12 годин без підзарядки. Це робить акумулятор повністю придатним для щоденного застосування.

2.3. Синтез схеми електричної принципової

На основі розробленої структурної схеми синтезована електрична принципова схема плати зображена на рисунку 3.2

					РЕ11.467731.001 ПЗ	Лис
						20
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		



1. Система живлення

У схемі реалізовано стандартне підключення ліній CC1 і CC2 через

					РЕ11.467731.001 ПЗ	Лис
						21
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

резистори R2 та R3 номіналом 5.1 кОм до землі, що відповідає вимогам USB Type-C для індикації споживання струму.

Контролер LTC4054 задає зарядний струм за допомогою резистора R7 (1.65 кОм). Такий номінал дозволяє встановити безпечний рівень струму заряджання, який не перевантажує акумулятор.

Після заряджання або при живленні від акумулятора, напруга 3.7 В подається на стабілізатор лінійної напруги MCP1825S (VR1), який формує стабільні 3.3 В для цифрових компонентів схеми, зокрема для ESP32. MCP1825S обрано завдяки низькому падінню напруги та підтримці струмів до 500 мА, що забезпечує стабільну роботу всієї системи навіть при активному Bluetooth-з'єднанні.

Основний обчислювальний модуль — ESP32

Центральним елементом схеми є мікроконтролер ESP32-D0WD (позначення D1). Він працює від стабілізованої напруги 3.3 В та виконує всі основні функції пристрою — обробку натискань кнопок, формування Bluetooth-команд та керування радіоінтерфейсом.

Для точного функціонування бездротових інтерфейсів до ESP32 підключено кварцовий резонатор ZQ1 (40 МГц) з обв'язкою з конденсаторів, що формують коливальний контур. Додатково використовуються резистори та конденсаторів для демпфування та фільтрації шумів у високочастотному тракті.

До ESP32 підключено також три тактові кнопки SB1, SB2, SB3. Кожна кнопка підключена до окремого GPIO через підтягуючий резистор R6–R8 (10 кОм). Кнопки відповідають за виконання мультимедійних команд:

- SB1 — попередня команда («Назад»);
- SB2 — центральна команда («Плей/Пауза» або Вкл/Викл при утриманні);
- SB3 — наступна команда («Вперед»).

Кнопки обрані прості, тактильні, SMD-виконання — це забезпечує мінімальні розміри і високу надійність при натисканні.

					<i>PE11.467731.001 ПЗ</i>	Лис
						22
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4.Аналіз та симуляція антени

Для розрахунку та моделювання мікрополоскової патч-антени, яка є важливою частиною радіочастотного тракту пристрою, було використано програмне середовище ANSYS HFSS (High Frequency Structure Simulator). Це професійна система тривимірного електромагнітного моделювання, яка широко застосовується для точного аналізу антенних структур, хвилеводів, резонансних систем та високочастотних ліній.

У межах даного проєкту в середовищі HFSS було змодельовано патч-антену, призначену для роботи у Bluetooth-діапазоні 2.4 ГГц. Під час проєктування враховувалися ключові параметри: товщина та діелектрична проникність підкладки, геометрія металевого елемента, положення точки живлення, а також форма й розміри заземлення.

Використання HFSS надало низку переваг. По-перше, забезпечено високу точність розрахунків, що дозволило заздалегідь налаштувати антену без необхідності фізичних експериментів. По-друге, значно зекономлено час і ресурси: замість кількох ітерацій із виготовлення зразків достатньо було одного етапу цифрової перевірки. По-третє, HFSS дозволив досягти оптимального узгодження на цільовій частоті, що забезпечує стабільний та дальній зв'язок Bluetooth-модуля ESP32 навіть за умов завад або при носінні пристрою під одягом. Крім того, можливість параметризації та 3D-візуалізації значно полегшила адаптацію моделі до конструктивних обмежень друкованої плати.

У межах розробки пристрою було реалізовано мікрополоскову патч-антену, що відповідає діапазону Bluetooth-зв'язку (2.4–2.5 ГГц). Проєктування та електромагнітне моделювання антени здійснювалося у середовищі ANSYS HFSS, яке дозволяє проводити 3D-аналіз розподілу електромагнітних полів, розрахунок резонансних частот, коефіцієнтів узгодження та підсилення.

					<i>PE11.467731.001 ПЗ</i>	Лис
						23
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

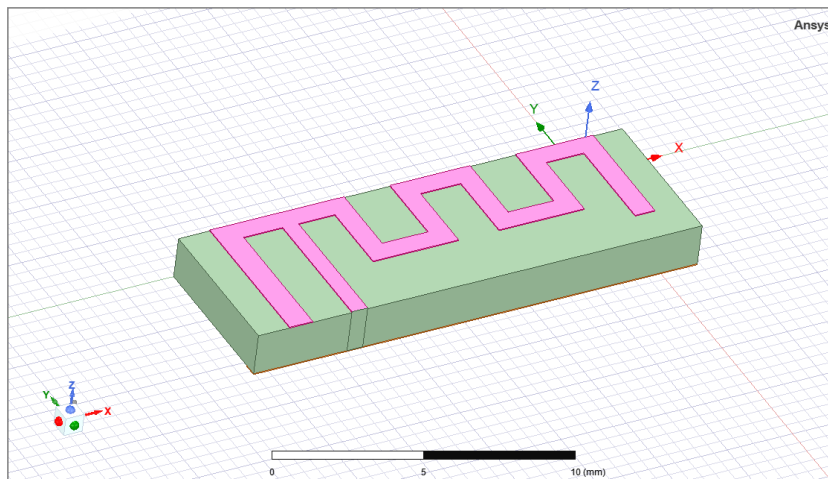


Рисунок 2.9 — 3D-модель антени

На першому етапі була створена геометрія антени з розташуванням провідника на прямокутній діелектричній підкладці. Такий підхід дозволяє зменшити довжину провідного елементу без втрати ефективної електричної довжини, що критично для мініатюрних носимих пристроїв. Підкладка моделювалася як об'єм із заданою діелектричною проникністю. Це дозволяє врахувати вплив матеріалу на частоту резонансу та ширину смуги пропускання.

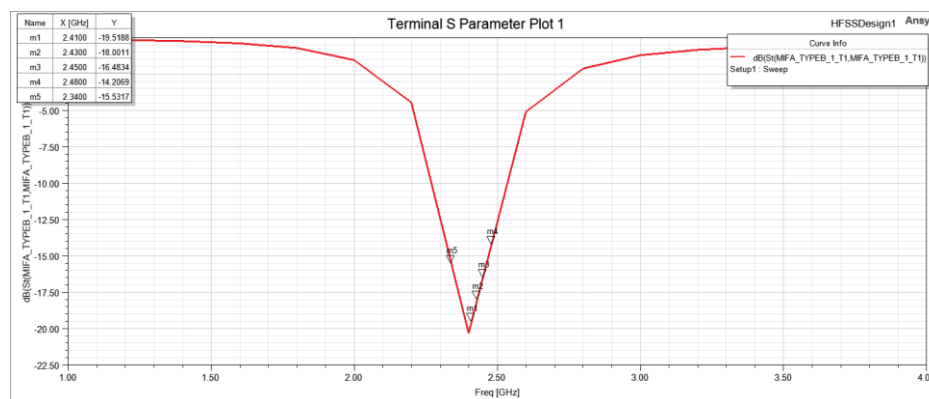


Рисунок 2.10— Аналіз коефіцієнта відбиття (S_{11})

Другим етапом симуляції стало дослідження коефіцієнта відбиття S_{11} , що показує ефективність узгодження антени з передавальним трактом. Результати свідчать про наявність чітко вираженого резонансного мінімуму на частоті 2.44 ГГц, де $S_{11} \approx -19.5$ дБ. Це означає, що лише близько 1% потужності відбивається, тоді як решта ефективно випромінюється в простір. Таким чином, антена оптимально налаштована на Bluetooth-діапазон, забезпечуючи стабільний сигнал

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE11.467731.001 ПЗ

Лис
24

та мінімальні втрати.

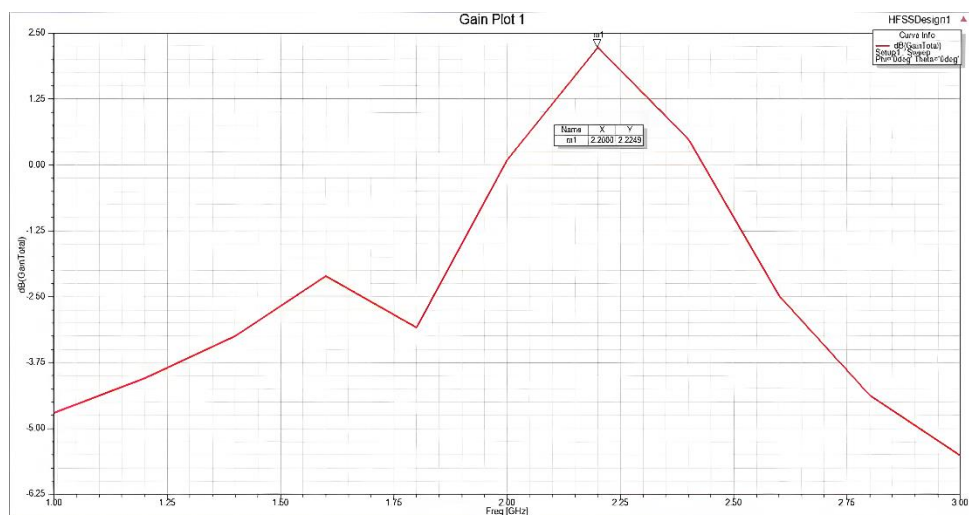


Рисунок 2.11— Підсилення антени

Наступним кроком був аналіз загального підсилення антени (Gain Total) у функції від частоти. Отриманий графік має типовий резонансний профіль із максимумом близько 2.2 ГГц, де досягається підсилення ≈ 2.2 дБ. Це значення відповідає типовим параметрам для вбудованих мікросмушкових антен і свідчить про ефективну концентрацію енергії в основному напрямку випромінювання. Незначне зміщення між піком підсилення та частотою мінімального S_{11} пояснюється специфікою геометрії та впливом підкладки, що є типовим для подібних антен.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РЕ11.467731.001 ПЗ

Лис
25

3. РОЗРОБКА ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА

3.1. Програма для розробки

Схема та друкована плата пристрою були розроблені в середовищі Altium Designer в одній із найфункціональніших та професійних САПР-систем для створення електроніки. Це середовище дозволяє об'єднати всі етапи розробки — від створення логічної схеми до трасування друкованої плати та генерації файлів для виробництва у межах єдиного інтегрованого середовища, що значно прискорює та полегшує проєктування.

Однією з головних переваг Altium Designer є об'єднана структура проєкту, де схема, плата та бібліотеки синхронізовані між собою. Завдяки цьому будь-які зміни автоматично оновлюються у всіх частинах проєкту, знижуючи ймовірність помилок та пришвидшуючи робочий процес.

У рамках реалізації носимого пристрою у формі кулона, в якому використовується щільне компонування SMD-елементів (ESP32, LTC4054, MCP1825S та інші), Altium дозволив швидко інтегрувати точні бібліотеки компонентів з відповідними посадковими місцями (footprints). Це забезпечило надійне та правильне розташування елементів навіть на дуже обмеженій площі плати.

Завдяки інструментам автоматичного та ручного трасування, стало можливим дотриматись усіх дизайн-правил (design rules) щодо ширини доріжок, відстаней між ними, зазорів до контактів та перехідних отворів. Це дозволило реалізувати компактну двосторонню друковану плату, яка зберігає баланс між функціональністю й мініатюрністю — ключовим параметром для пристрою носимого формфактора.

Вбудована функція 3D-візуалізації в Altium дала змогу змодельовати фізичний вигляд плати з урахуванням висоти компонентів, зазорів, відстаней до країв, що важливо для точного проєктування корпусу кулона та уникнення механічних конфліктів.

					РЕ11.467731.001 ПЗ	Лис
						26
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

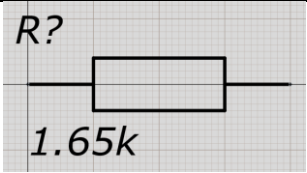
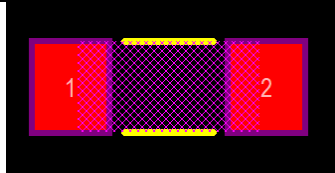
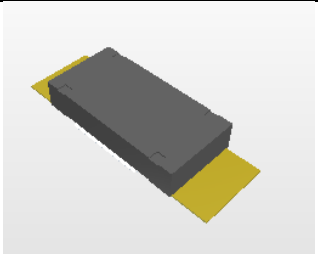
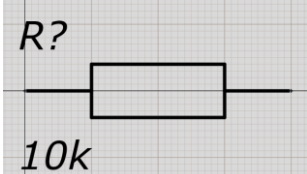
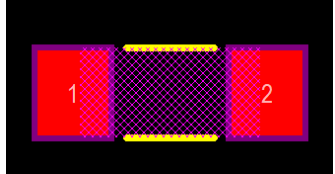
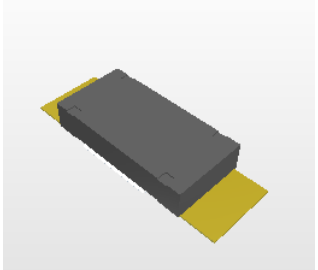
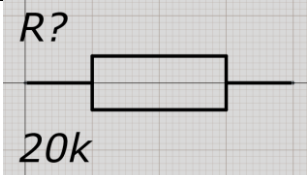
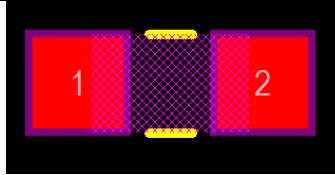
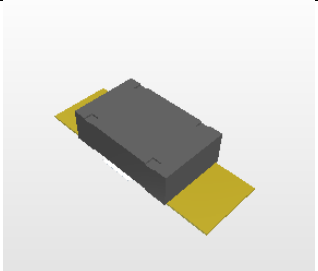
3.2. Додавання Footprint та 3D моделей

Одним з важливих етапів створення електронного пристрою є формування бібліотеки компонентів у середовищі автоматизованого проєктування. Це включає не лише схематичні умовні позначення, але й точні footprint-и та 3D-моделі, що дозволяють перевірити компонування елементів на платі та забезпечити її сумісність з корпусом пристрою.

У межах цього проєкту для ключових компонентів розроблюваного пристрою було створено повну бібліотеку, що включає: схематичні символи для використання в електричних принципових схемах; посадкові місця (Footprint) відповідно до стандартів IPC; 3D-моделі для просторової візуалізації та перевірки колізій.

Цей етап дозволяє уникнути помилок на наступних етапах проєктування друкованої плати та підвищує точність виробницт

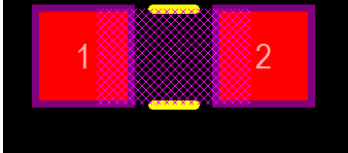
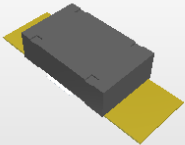
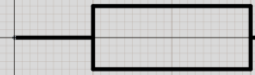
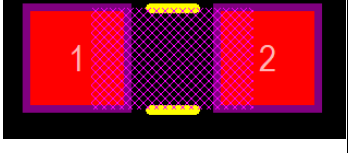
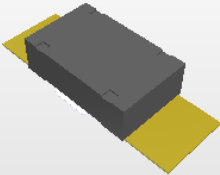
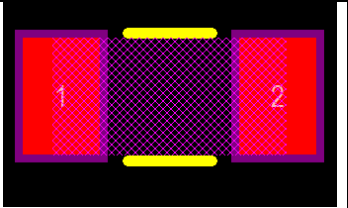
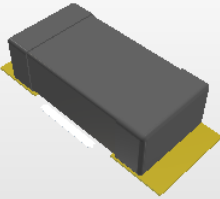
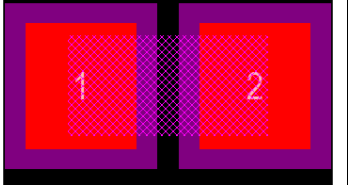
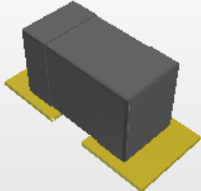
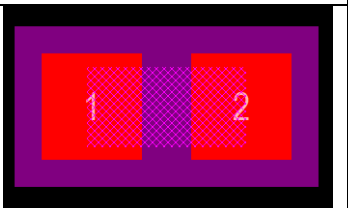
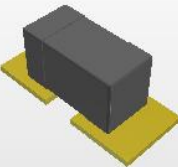
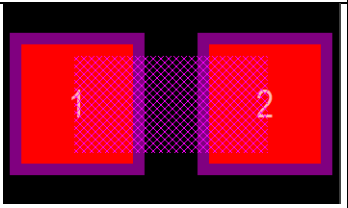
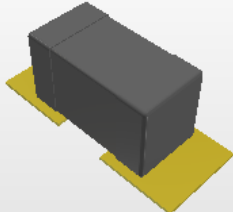
Таблиця 3.1. — Бібліотека footprint-ів та 3D-моделей

RES SMD 1.65K OHM 0.1% 1/4W 1206			
Resistor, Thin Film, 10k, 0.05%, 1206			
RES 20K OHM 5% 1/8W 0805 SMD			

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE11.467731.001 ПЗ

Лис
27

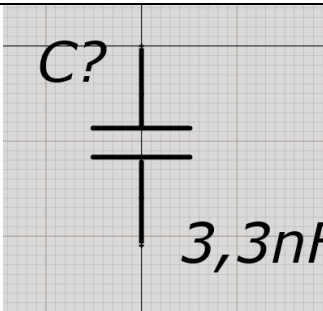
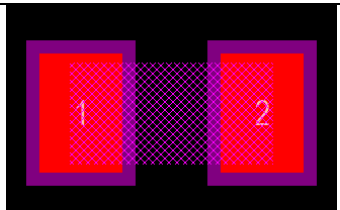
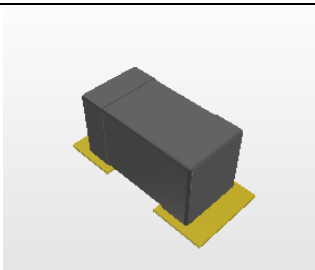
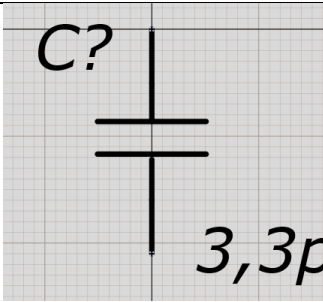
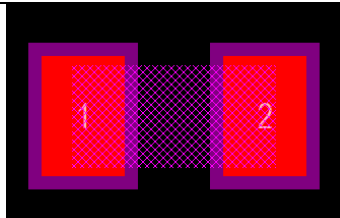
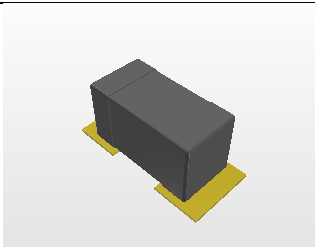
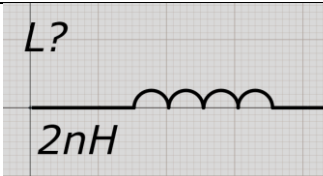
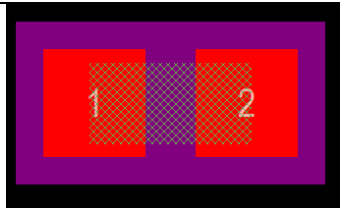
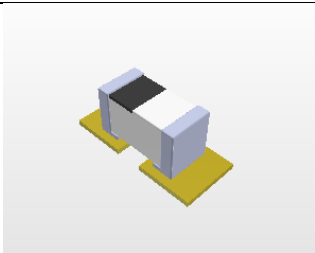
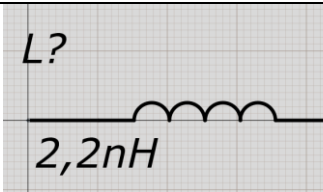
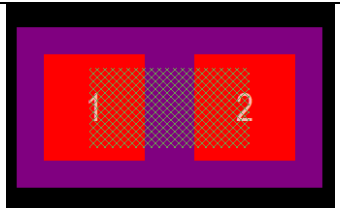
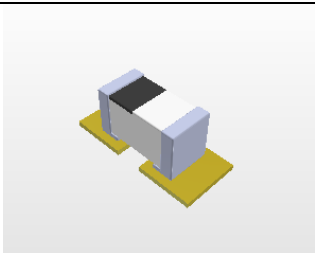
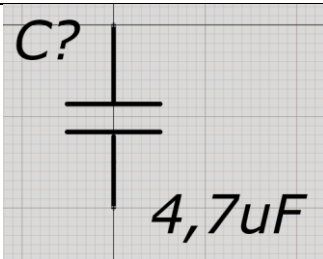
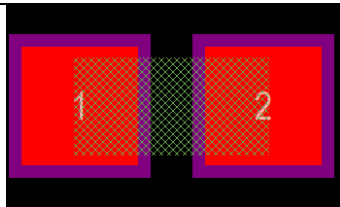
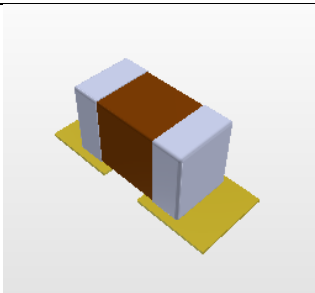
RES 2K OHM 1% 1/8W 0805 SMD	$R?$  $2k$		
RES 5.1K OHM 0.1% 1/8W 0805	$R?$  $5.1k$		
0.10uF 1206 100VDC 0.02	$C?$  $0.1 \mu F$		
1.0uF Tol. 10%. Rated Voltage: 25Vdc	$C?$  $1 \mu F$		
100pF Tol.10%. Rated voltage 16Vdc 85C	$C?$  $100 pF$		
10nF 0603 X7R ceramic capacitor, 25V	$C?$  $10nF$		

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE11.467731.001 ПЗ

Лис

28

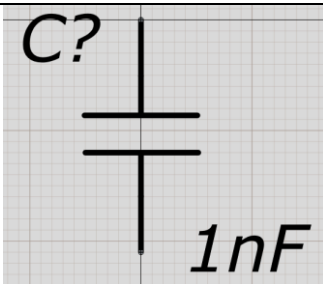
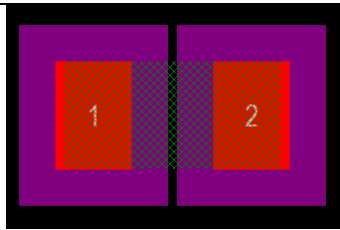
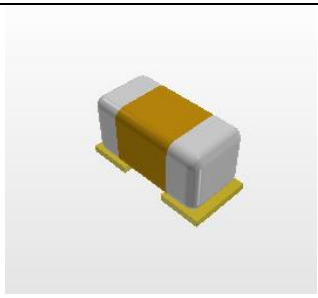
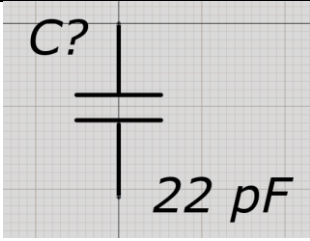
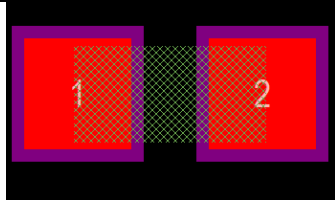
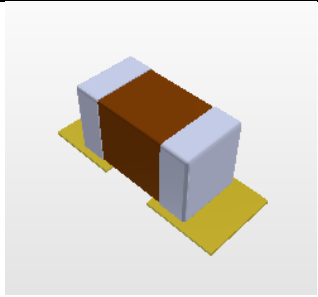
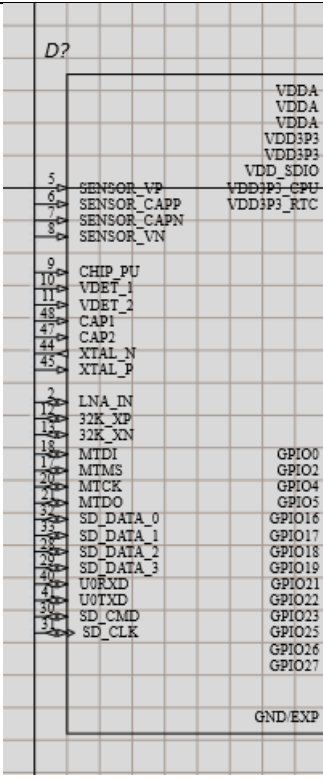
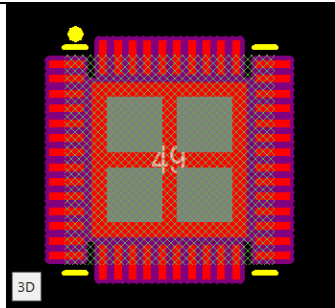
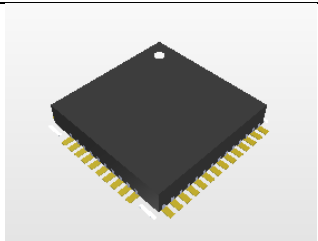
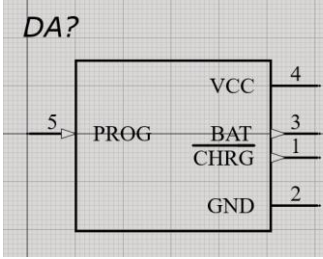
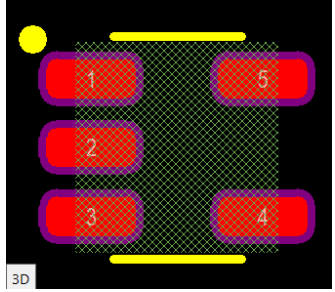
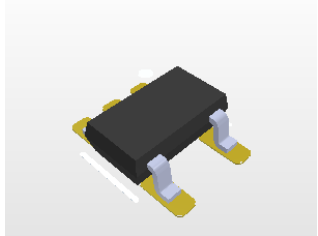
3,3nF 0603 C Ceramic Multilayer Capacitor, 100 V,+125degC, X7R			
3,3pF 0603 C Ceramic Multilayer Capacitor, 100 V, +125degC, X7R Dielec, +/-10%_1			
2 nH Unshielded Multilayer 600 mA 100mOhm Max 0201			
2.2 nH 0201 (0603 metric)			
4.7uF Tol.10%. Rated voltage 16Vdc 85C			

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE11.467731.001 ПЗ

Лис

29

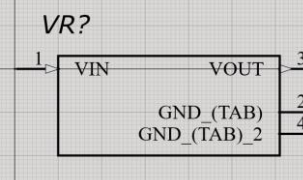
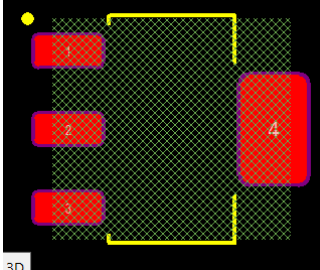
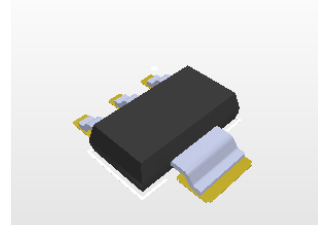
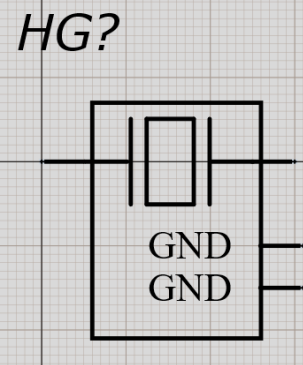
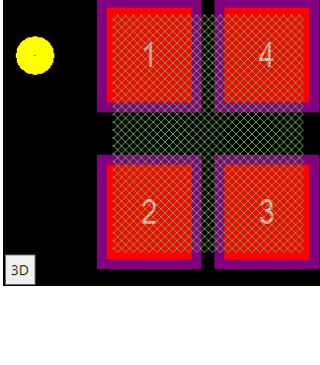
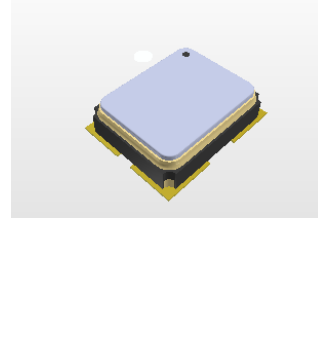
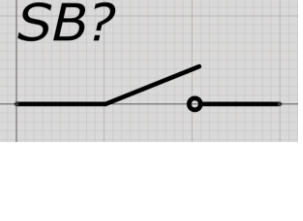
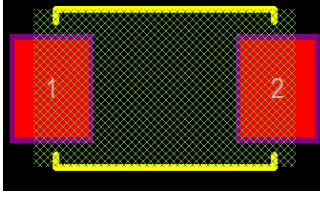
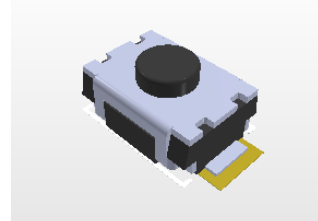
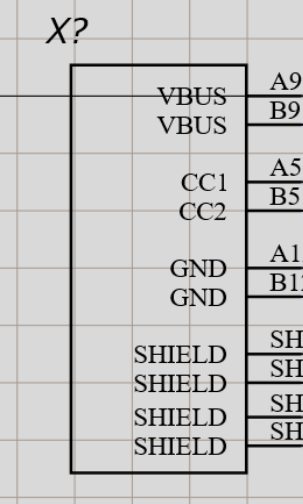
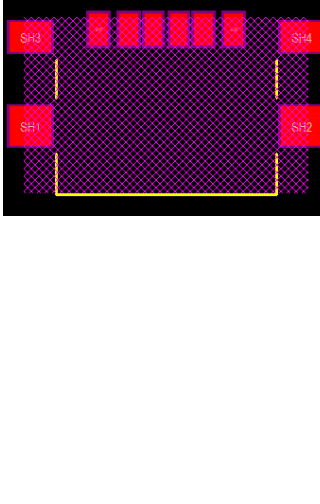
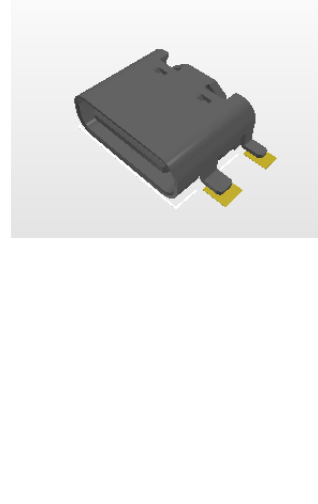
1n MLCC 16 V , X7R Dielectric 0603			
22pF Tol. 5%. Rated Voltage: 100Vdc			
ESP32- D2WD			
LTC4054L- 4.2 – 150mA			

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE11.467731.001 ПЗ

Лис

30

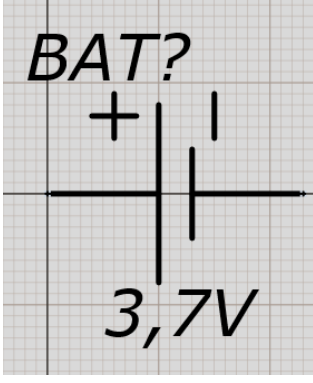
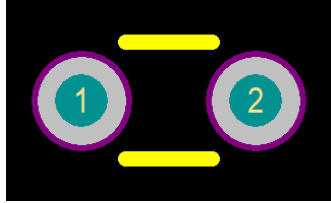
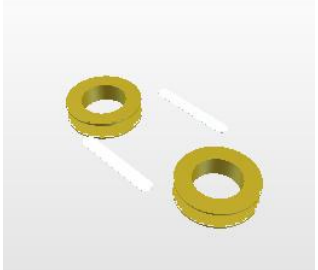
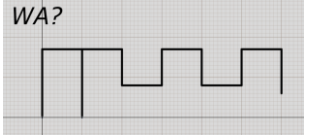
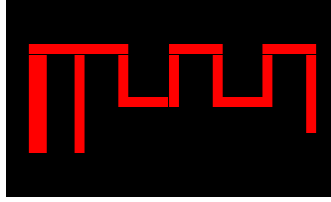
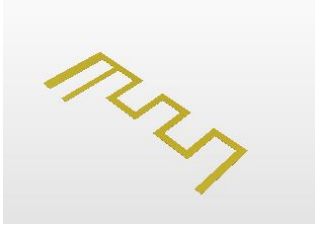
MCP1825S- 3302E/DB LDO,SOT- 223,IS 120uA,VO 3.3V,Vn			
7B- 40.000MEEQ-T 40 MHz ± 10 ppm Crystal 10pF 40 Ohms 4-SMD			
TS-1088- AR02016 50mA 4mm 100M Ω 100,000			
Type C, 20 Vdc, 3 A			

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE11.467731.001 ПЗ

Лис

31

Акумулятор Li-Pol 502030 250мАг 3.7В			
Antena			

У результаті виконаної роботи було створено повноцінну бібліотеку компонентів для проєкту носимого пристрою. Для кожного елемента — від резисторів і конденсаторів до мікроконтролера ESP32, стабілізатора MCP1825S та модуля зарядки LTC4054 — реалізовано коректне схематичне представлення, посадкове місце та 3D-модель, що відповідають фізичним розмірам компонентів.

Створена бібліотека дозволяє точно розмістити всі елементи на платі, візуалізувати конструкцію у 3D-середовищі та мінімізувати ймовірність помилок при трасуванні. Це значно спрощує подальший процес створення плати та підвищує надійність усієї електронної системи.

3.3. Розрахунок мінімальної площі та вибір форми плати

Розрахунок мінімальної площі плати та її компонентів необхідний для визначення загального простору, який плата займатиме в корпусі, а також для виділення оптимального місця під кожен компонент на платі.

$$S_{dp} = \sum S_{mg} + 1.5 \sum S_{cg} + 2 \sum S_{vg} + S_{kr}; \quad (1)$$

де, S_{mg} — це площа малогабаритного компонента; S_{cg} — це площа середньогабаритного компонента; S_{vg} — це площа великогабаритного компонента; S_{kr} — це площа отворів для кріплення.

Результати розрахунку наведені на рис. 3.1.

					PE11.467731.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		32

Найменування	Площа	Коефіцієнт	Кількість	Сума
Акумулятор Li-Pol 502030 250mAh 3.7В (Дріт AWWG 22)	15,847	1	1	15,847
1.65 kOhms ±1% 0.1W, 1/10W Chip Resistor 0603 (1608 Metric)	5,862	1	1	5,862
10 кОм (kOhm) SMD 0805 0,125 Вт 5%	9,167	1	3	27,501
20 kOhm 1% 0,125W 150V 0805 (RC0805FR-20KR-Hitano)	8,476	1	1	8,476
2 kOhm 5% 0,25W SMD 1206	10,93	1	1	10,93
5,1 kOhm 0,5W 5% 1210 SMD	17,166	1	2	34,332
0.1uF (0603) (X5R) 50v ± 10%	6,273	1	5	31,365
1 uF (0603) (X5R) 50v ± 10%	6,273	1	6	37,638
100pF 50V NP0 5% 0805 (CL21C101JBANNNC-Samsung)	8,476	1	1	8,476
10nF 1000V X7R 10% 1210 (C1210B103K102N2-Hitano)	14,693	1	1	14,693
22pF 500V NP0 5% 1206 (CC1206JRNPOBBN220-Yageo)	13,603	1	2	27,206
3,3nF 50V X7R 10% 1206 4k/reel (C1206B332K500NT-Hitano)	13,603	1	1	13,603
4, 7uF 10V Y5V -20/+ 80% 0805 3k/reel (C0805Y475Z100N3-Hitano)	9,167	1	1	9,167
1nF 50V X7R 10% 0603 AVX	5,86	1	1	5,86
ESP32-D2WD	39,21	2	1	78,41
LTC4054L-4.2 - 150mA	14,21	1,5	1	14,21
2N0 +/- 0.3nH Power Inductors - SMD 3655 0603 36550603S2N0T	5,13	1	1	5,13
MCP1825S-3302E/DB LDO,SOT-223,IS 120uA,VO 3.3V,Vn	183,78	1,5	1	275,66
7B-40.000MEEQ-T 40 MHz ±10ppm Crystal 10pF 40 Ohms 4-SMD	13,99	1,5	1	20,99
TS-1088-AR02016	17,26	1,5	3	77,69
USB TYPE C	95,54	1,5	1	143,32
IFA	77,76	1,5	1	116,64
Кріплення	23,04	1	4	92,16
3,3pF 0603 C Ceramic Multilayer Capacitor, 100 V, +125degC, X7R Dielec, +/-10%_1	13,603	1	2	27,21
2.2 nH Inductor 600 mA 100mOhm_1	5,13	1	1	5,13
S				1107,50

Рисунок 3.1. – Результат розрахунку мінімальної площі плати

Відповідно до розрахунків мінімальна площа плати становить 1107.50мм².

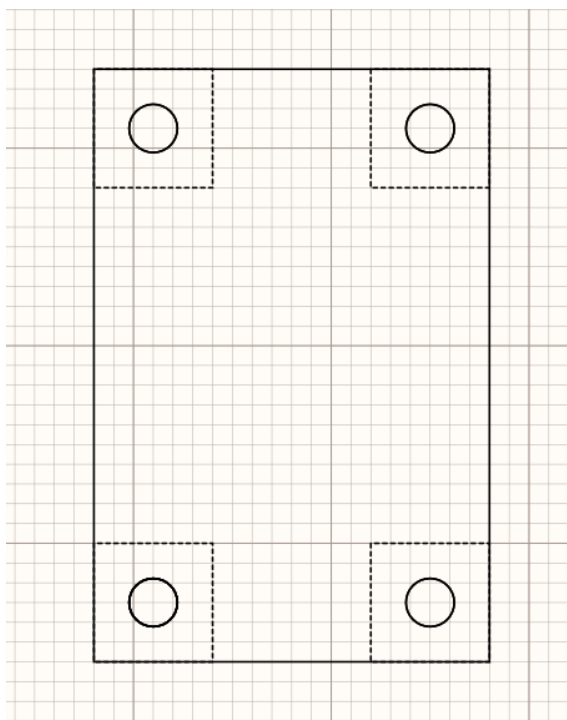


Рисунок 3.2. – Контур плати з місцем під кріплення

Відповідно до ТЗ маємо наступні вимоги та обмеження щодо корпусу:

					PE11.467731.001 ПЗ	Лис
						33
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

- Матеріал корпусу – Пластик .
- Висота корпусу 50 мм з допустимою похибкою у 5мм.
- Ширина корпусу 45 мм з допустимою похибкою у 5мм.
- Глибина корпусу 19 мм з допустимою похибкою у 5мм.

Габарити корпусу обрано з запасом у 5-10 мм виходячи з додаткових розмірів для батареї. Виходячи з викладеного вище обрано плату прямокутної форми з габаритними розмірами 25×40. Кріплення плати буде здійснено за допомогою чотирьох болтів М1.5. Контур плати з місцями під кріплення наведений на рис. 3.2.

3.4.Аналіз з точки зору технолога.

Виробник Pcbetal забезпечує наступні параметри ДП:

•Фінішне покриття: HASL, іммерсійне олово, хімічне покриття Ni/Au (нікель/золото)

- Мінімальний розмір ДП : 5×5 мм
- Максимальний розмір ДП : 450×570 мм
- Максимальна кількість шарів : До 12 шарів
- Мінімальна та максимальна товщина ламінату : 0,3 мм - 3,5 мм
- Можлива товщина металізації : 18, 35, 50 мкм
- Мінімальна ширина провідника : 0,15 мм
- Мінімальна відстань між друкованими елементами : 0,15 мм
- Мінімальний розмір гарантійного пояса : 0,25 мм
- Мінімальний розмір отвору : 0,3 мм
- Мінімальна товщина лінії шовкографії : 0,1 мм
- Мінімальна відстань від КМ до захисної маски не менше : Не менше 0,1

мм

Відповідно до можливостей виробника обрано матеріал: FR-4 35/35 1,6, що означає текстоліт, товщина мідного покриття – 35мкм, товщина текстоліту 1,6 мм.

					PE11.467731.001 ПЗ	Лис
						34
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже плата буде двостороння, монтаж елементів буде здійснюватися з двох сторін ДП.

ДП відповідатиме 1 класу згідно IPC 6011.

Таблиця 3.2. — Розподіл струмового навантаження по ланцюгах живлення

Назва Net	I, A
+5 V	90,9 мА
+3.7 V	100 мА
+3,3 V	190 мА
+1,1V	-
Sig_group	0.49 мА
USB_CC1	0.08 мА
USB_CC2	0.08 мА
PROG	0.61 мА
XTAL_P	-
XTAL_N	-
RF_OUT	-
ANT	-

Розрахуємо, яка має бути ширина провідника, для забезпечення коректної роботи ДП. Розрахунок виконується за допомогою онлайн-калькулятора [2].

Для розрахунку +5V внесені параметри рисунок 3.3:

Current (I)	0.0909	A	Ambient Temperature	25	°C
Thickness (t)	35	μm	Trace Length	45	mm
Temperature Rise (TRise)	10	°C			

Minimum Trace Width	0.02860425352 mm	Minimum Trace Width	0.01099554680 mm
*Internal Layers: Required Trace Width (W) 0.02860425352 mm		*External Layers in Air: Required Trace Width (W) 0.01099554680 mm	
Resistance	0.7939228833 Ω	Resistance	2.065342619 Ω
Voltage Drop	0.07216759009 V	Voltage Drop	0.1877396441 V
Power Loss	0.006560033939 W	Power Loss	0.01706553365 W

Рисунок 3.3. — розрахунок ширини провідника для ланцюга +5V

Для розрахунку +3.7V внесені параметри рисунок 3.4:

Current (I)	0.1000	A	Ambient Temperature	25	°C
Thickness (t)	35	μm	Trace Length	45	mm
Temperature Rise (TRise)	10	°C			

Minimum Trace Width	0.03262750637 mm	Minimum Trace Width	0.01254209529 mm
*Internal Layers: Required Trace Width (W) 0.03262750637 mm		*External Layers in Air: Required Trace Width (W) 0.01254209529 mm	
Resistance	0.6960253466 Ω	Resistance	1.810668067 Ω
Voltage Drop	0.06960253466 V	Voltage Drop	0.1810668067 V
Power Loss	0.006960253466 W	Power Loss	0.01810668067 W

Рисунок 3.4. — розрахунок ширини провідника для ланцюга +3.7V

Для розрахунку +3.3V внесені параметри рисунок 3.5:

Current (I)	0,1900	A	Ambient Temperature	25	°C
Thickness (t)	35	µm	Trace Length	45	mm
Temperature Rise (T _{Rise})	10	°C			

Minimum Trace Width		Minimum Trace Width	
0.07908090096 mm		0.03039889669 mm	

*Internal Layers:		*External Layers in Air:			
Required Trace Width (W)	0.07908090096	mm	Required Trace Width (W)	0.03039889669	mm
Resistance	0.2871688505	Ω	Resistance	0.7470524888	Ω
Voltage Drop	0.05456208160	V	Voltage Drop	0.1419399729	V
Power Loss	0.01036679550	W	Power Loss	0.02696859485	W

Рисунок 3.5. — розрахунок ширини провідника для ланцюга +3.3V
Для розрахунку Sig_group внесені параметри рисунок 3.6:

Current (I)	0.00049	A	Ambient Temperature	25	°C
Thickness (t)	35	µm	Trace Length	45	mm
Temperature Rise (T _{Rise})	10	°C			

Minimum Trace Width		Minimum Trace Width	
0.00002126412134 mm		0.000008173981578 mm	

*Internal Layers:		*External Layers in Air:			
Required Trace Width (W)	0.00002126412134	mm	Required Trace Width (W)	0.000008173981578	mm
Resistance	1067.976009	Ω	Resistance	2778.275337	Ω
Voltage Drop	0.5233082442	V	Voltage Drop	1.361354915	V
Power Loss	0.0002564210396	W	Power Loss	0.0006670639085	W

Рисунок 3.6. — розрахунок ширини провідника для ланцюга Sig_group

Для розрахунку USB_CC1 та USB_CC2 внесені параметри рисунок 3.7:

Current (I)

0.00008

A

Thickness (t)

35

μm

Temperature Rise (T_{Rise})

10

°C

Ambient Temperature

25

°C

Trace Length

45

mm

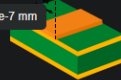
Minimum Trace Width

0.000001745757294 mm



Minimum Trace Width

6.710734825e-7 mm



*Internal Layers:

Required Trace Width (W)

0.000001745757294

mm

Resistance

13008.43566

Ω

Voltage Drop

1.040674853

V

Power Loss

0.00008325398822

W

*External Layers in Air:

Required Trace Width (W)

6.710734825e-7

mm

Resistance

33840.66279

Ω

Voltage Drop

2.707253023

V

Power Loss

0.0002165802418

W

Рисунок 3.7. — розрахунок ширини провідника для ланцюга USB_CC1 та USB_CC2

Для розрахунку PROG внесені параметри рисунок 3.8:

Current (I)

0.00061

A

Thickness (t)

35

μm

Temperature Rise (T_{Rise})

10

°C

Ambient Temperature

25

°C

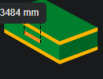
Trace Length

45

mm

Minimum Trace Width

0.00002876513484 mm



Minimum Trace Width

0.00001105738998 mm



*Internal Layers:

Required Trace Width (W)

0.00002876513484

mm

Resistance

789.4825301

Ω

Voltage Drop

0.4815843433

V

Power Loss

0.0002937664494

W

*External Layers in Air:

Required Trace Width (W)

0.00001105738998

mm

Resistance

2053.791307

Ω

Voltage Drop

1.252812697

V

Power Loss

0.0007642157454

W

Рисунок 3.8. — розрахунок ширини провідника для ланцюга PROG

З у рахуванням всіх розрахунків та можливостей виробника отримуємо наступні параметри:

					PE11.467731.001 ПЗ	Лис
						38
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.3. — Отримані параметри

Назва Net	t, mm	t, mm Відповідно до виробника
+5 V	0.01	0.15
+3.7 V	0.0125	0.15
+3,3 V	0.03	0.15
+1,1V	-	0.15
Sig_group	0.0000082	0.15
USB_CC1	0.0000007	0.15
USB_CC2	0.0000007	0.15
PROG	0.000011	0.15
XTAL_P	-	0.15
XTAL_N	-	0.15
RF_OUT	-	0.15
ANT	-	0.15

У результаті виконаного аналізу з позиції технолога було визначено, що конструкція друкованої плати повністю відповідає технічним вимогам сучасного виробництва. Вибрані параметри виготовлення (двостороння плата на основі матеріалу FR-4, мідне покриття 35 мкм, товщина текстоліту 1.6 мм) забезпечують необхідну механічну міцність та електричні характеристики. Всі критичні елементи конструкції (ширина провідників, міжелементні зазори, розміри отворів, розміщення елементів) відповідають стандартам IPC та технологічним обмеженням виробника плат.

3.5. Створення друкованої плати

Імпортуємо в файл PCB результат компіляції проекту

					PE11.467731.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		39

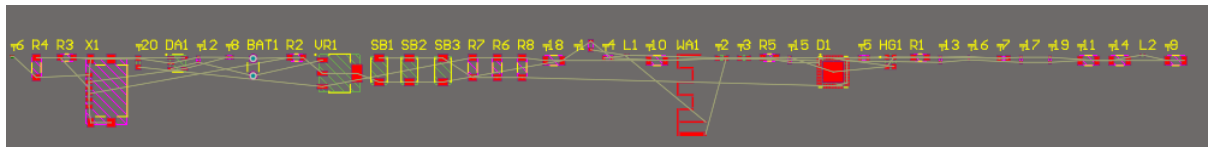


Рисунок 3.9. — Результат додавання компонентів в РСВ

Виходячи з попередньо розрахованих габаритних обмежень та технічних вимог до конструкції пристрою, було визначено доцільну форму та розміри друкованої плати. Задаємо прямокутний контур плати з габаритами 40×25 мм, який забезпечує достатньо місця для розміщення всіх необхідних компонентів, при цьому зберігаючи компактність конструкції, що є критично важливим для носимого пристрою. Контур було вирізано у відповідному редакторі в середовищі Altium Designer, з урахуванням розташування елементів та майбутніх отворів для кріплення.

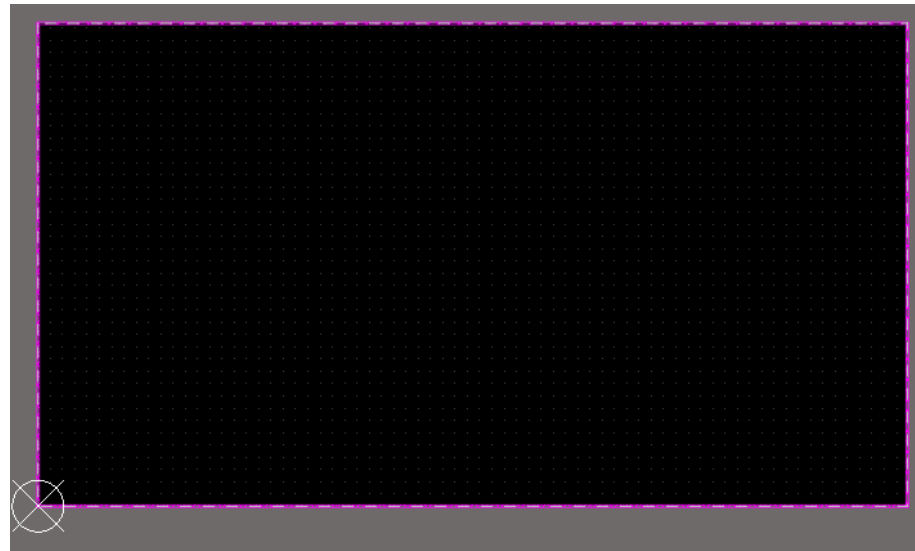


Рисунок 3.10. — Вирізаний контур РСВ

Окрім розмірів плати відповідно до розрахунків мінімальної площі та вибіру форми плати було обрано спосіб кріплення плати, яке забезпечується за допомогою отворів в кутах плати та саморізів М1.5. Контур плати із зонами під кріплення наведена на рис.

					<i>РЕ11.467731.001 ПЗ</i>	Лис
						40
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

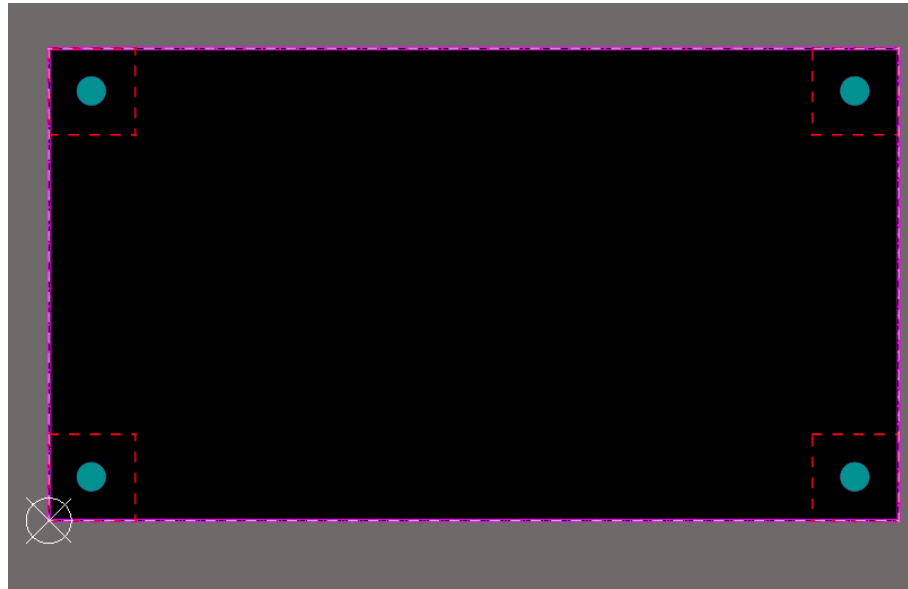


Рисунок 3.11. — Контур плати із зонами під кріплення.

Тепер коли у нас задані габаритні параметри плати можемо переходити до налаштування параметрів матеріалу плати.

LAYER STACK

Обрано матеріал FR-4 35/35 1,6. Вносимо параметри матеріалу в Layer Stack Manager (рис. 3.12.).

#	Name	Material	Type	Weight	Thickness	Dk	Df
	Top Overlay		Overlay				
	Top Solder	SM-002	Solder Mask		0.0254mm	4	0.03
1	Top Layer		Signal	1oz	0.035mm		
	Dielectric 1	FR-4	Dielectric		1.6mm	4.8	
2	Bottom Layer		Signal	1oz	0.035mm		
	Bottom Solder	SM-002	Solder Mask		0.0254mm	4	0.03
	Bottom Overlay		Overlay				

Рисунок 3.12. — Layer Stack Manager.

Наступним кроком є налаштування правил трасування.

DESIGN RULES

У схемі передбачено наступні основні ланцюги VCC, Sig_group.

Створюємо такі класи ланцюгів (рис. 3.18 — 3.19)

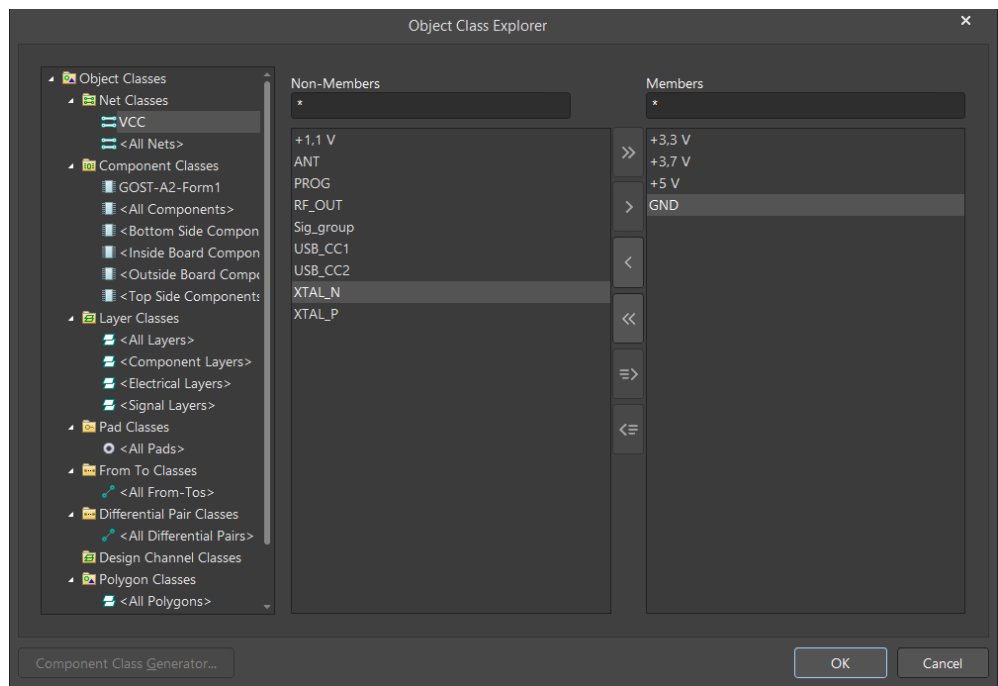


Рисунок 3.13. — Net Classes (VCC).

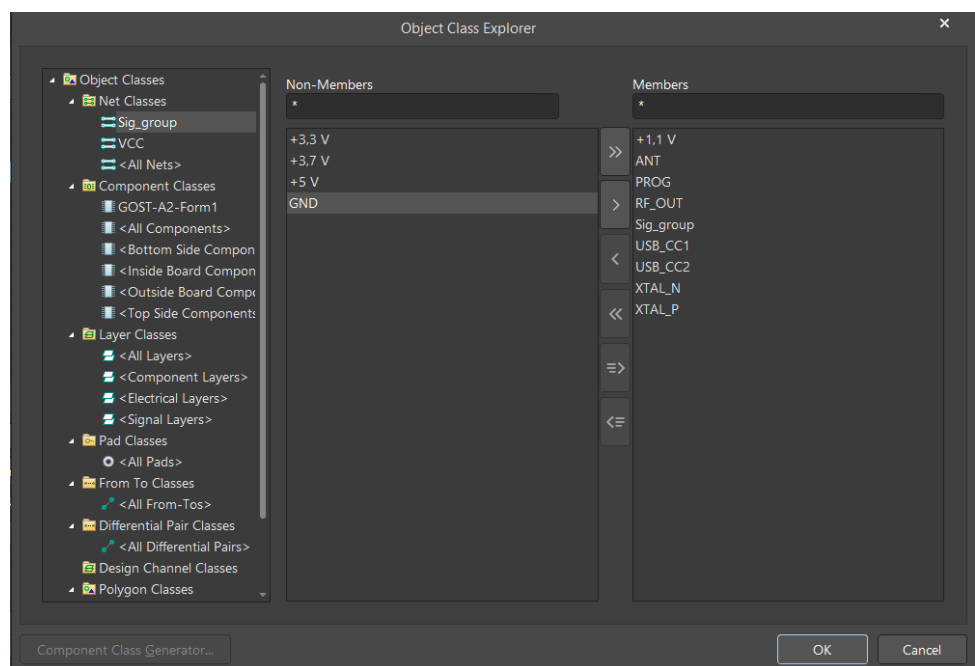


Рисунок 3.14. — Net Classes (Sig_group).

Коли у нас створені ланцюги переходимо до налаштування правил трасування. Для створених класів задані наступні правила, щодо ширини провідників (Рисунок 3.20 — 3.21)

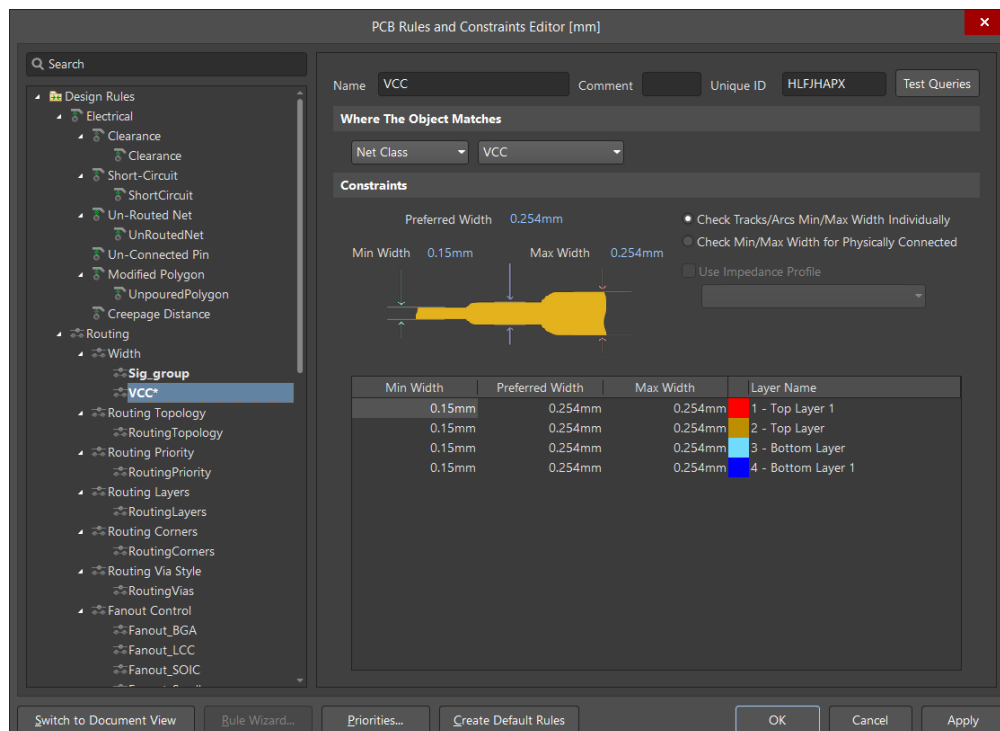


Рисунок 3.15. — Правила ширини провідників для VCC.

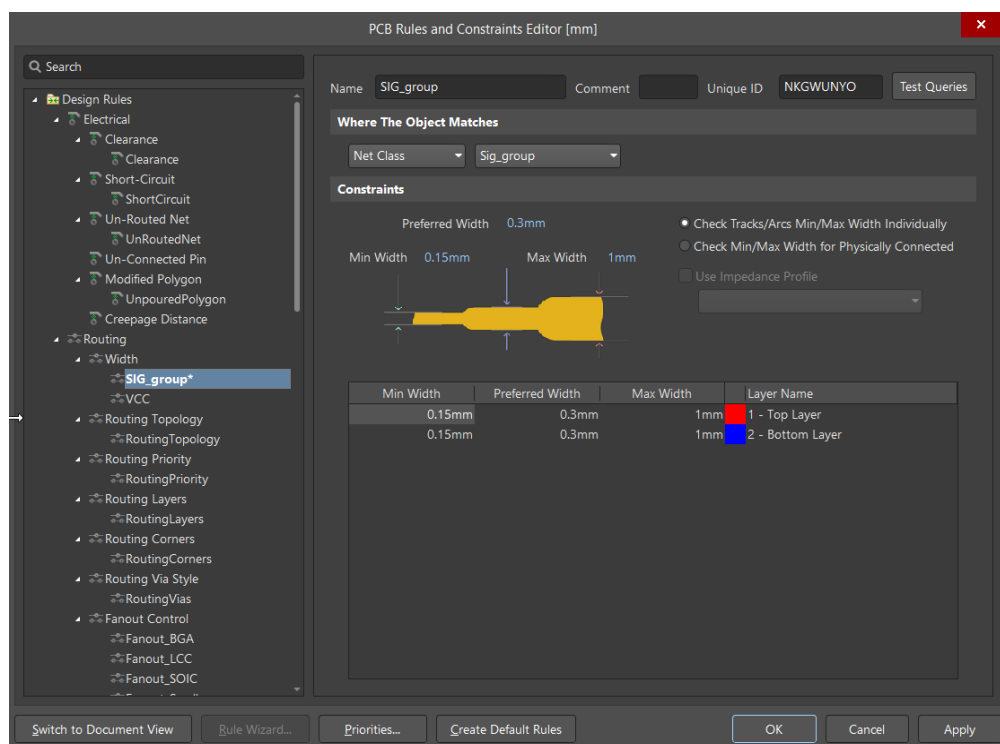


Рисунок 3.16. — Правила ширини провідників для Sig_group.

У ході виконання даного етапу мною було проведено повний цикл підготовки проєкту до створення друкованої плати. Я виконав імпорт схеми в РСВ-документ та сформував контур друкованої плати з розмірами 40×25 мм, що

відповідає вимогам компактності та конструктивним особливостям мого носимого пристрою.

3.6.Компонування та трасування

Основна увага приділялася ергономіці використання та оптимізації розташування під форм-фактор кулона.

Центральна кнопка була розміщена по осі симетрії плати, щоб забезпечити зручний доступ до неї в умовах носіння на ший. Бічні кнопки розташовані ліворуч і праворуч від центральної на однаковій відстані, що дозволяє користувачу інтуїтивно керувати мультимедійними функціями.

Мікроконтролер ESP32, стабілізатор живлення та контролер заряду розташовані у центральній частині плати з урахуванням мінімізації довжини провідників живлення. Такий підхід покращує стабільність роботи пристрою та спрощує трасування.

В редакторі PCB проведено трасування, тобто створено. Результати трасування у верхньому та нижньому шарі наведено на рисунку 3.17 та на рисунку 3.18

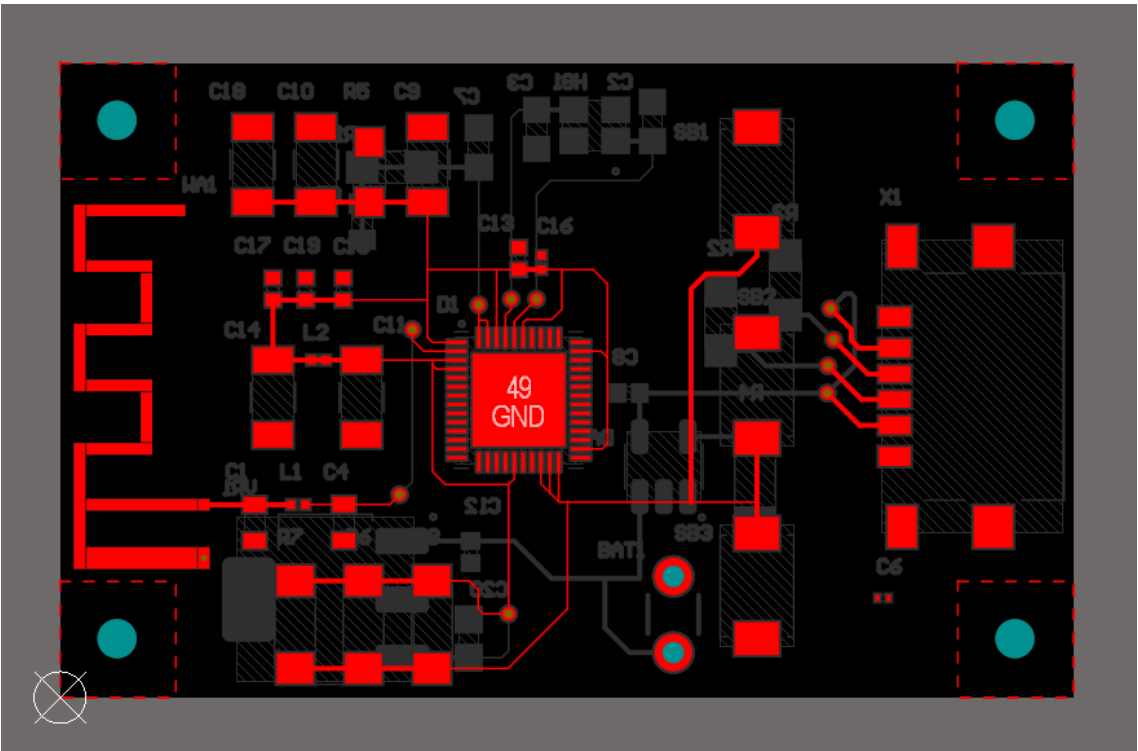


Рисунок 3.17. — Трасування у верхньому шарі.

Рисунок 3.19. — Трасування у верхньому шару з полігоном «Землі».

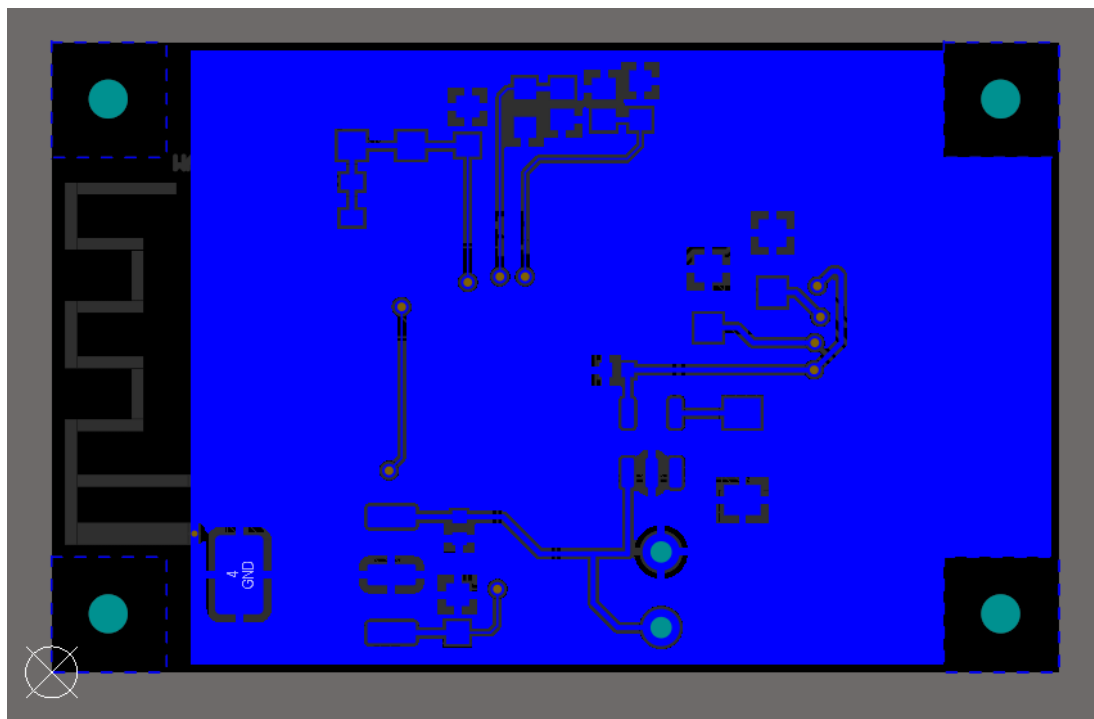


Рисунок 3.20. — Трасування у нижньому шару з полігоном «Землі».

У процесі проєктування я виконав повне компонування елементів на друкованій платі, з урахуванням зручності трасування та логіки схеми. У редакторі РСВ було здійснено трасування всіх необхідних електричних ланцюгів у верхньому та нижньому шарах плати. Ланцюг «Землі» реалізовано полігонами, що дозволяє зменшити електричний опір та покращити стабільність роботи пристрою.

У результаті плата готова до виготовлення, а її електричні параметри та топологія відповідають технічним вимогам.

					РЕ11.467731.001 ПЗ	Лис
						46
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

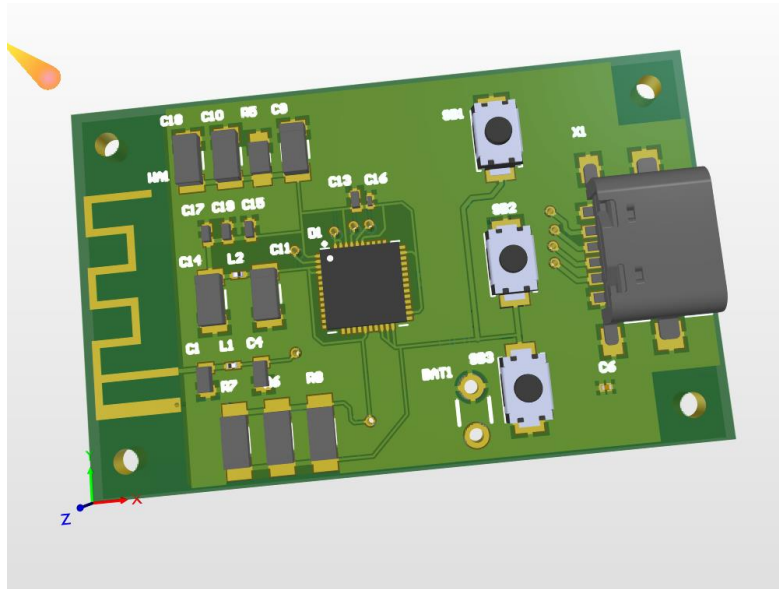


Рисунок 3.21. — 3D модель плати

На зображенні представлена 3D модель друкованої плати, змодельована відповідно до сформованої топології та розміщення компонентів. Візуалізація дозволяє оцінити загальні габарити плати, ергономіку розташування елементів та відповідність конструкції форм-фактору кулона. Центральна та бічні кнопки чітко виділяються на моделі, що підкреслює їх зручне розташування для тактильного керування. Така модель також використовується для перевірки сумісності з корпусом пристрою до етапу виготовлення.

					РЕ11.467731.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		47

4. РОЗРОБКА КОРПУСУ ТА КОМПОНУВАННЯ ПРОСТРОЮ

4.1. Матеріал корпусу

Для виготовлення корпусу обрано полікарбонат – міцний та термостійкий пластик із високим склястим переходом ($\sim 150^{\circ}\text{C}$). Полікарбонат відзначається надзвичайною ударостійкістю (на рівні інженерних матеріалів) і витривалістю до високих температур. Його показники розтягування складають близько 65 МПа (для порівняння у ABS ~ 32 МПа), що робить конструкцію легшою та довговічнішою. Крім того, полікарбонат стійкий до ультрафіолетового випромінювання і атмосферного впливу. Матеріал фактично поглинає більшу частину UVдіапазону (UVA/UVB), тому спеціальні добавки стабілізують його до жовтіння при тривалому сонячному опроміненні. Ці властивості – поєднання малої ваги, високої механічної стійкості та UVстабільності – роблять полікарбонат оптимальним для вуличного застосування електроніки.

4.2. Конструкція корпусу

Корпус пристрою складається з двох частин — верхньої та нижньої — які з'єднуються між собою в процесі остаточного складання методом ультразвукової зварки. Така технологія дозволяє отримати міцне, герметичне та монолітне з'єднання, без необхідності використання клеїв чи механічних кріплень. Під дією високочастотних механічних коливань у зоні контакту полімер розм'якшується, після чого деталі зливаються на молекулярному рівні. В результаті утворюється єдина цільна конструкція, яка не розбирається та зберігає високу механічну стійкість. З'єднання має хорошу герметичність, що важливо для захисту внутрішніх компонентів від пилу, вологи та механічних навантажень. Такий підхід ідеально підходить для полікарбонату та дозволяє зберегти естетичний вигляд корпусу, оскільки зварний шов майже непомітний ззовні.

					<i>PE11.467731.001 ПЗ</i>	Лис
						48
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

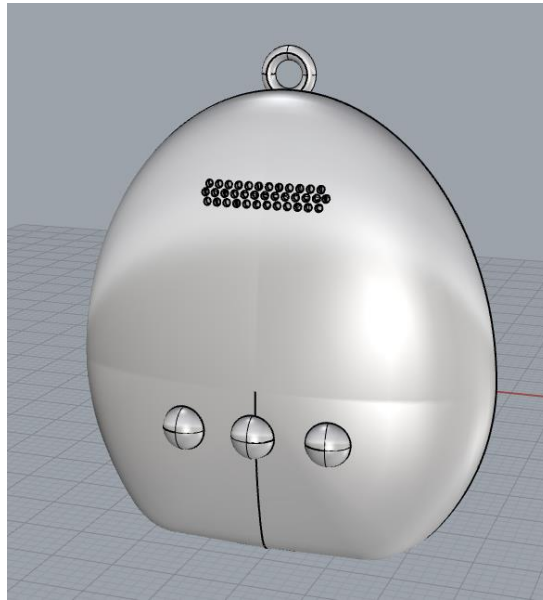


Рисунок 4.1 — 3D модель корпусу кулона

4.3. Кріплення

У конструкції корпусу передбачені вбудовані посадкові стійки для фіксації друкованої плати, які оснащені отворами діаметром 1.6 мм під саморізи типу М1.5. Ці кріплення забезпечують жорстку та точну фіксацію плати всередині корпусу до фінального збирання.

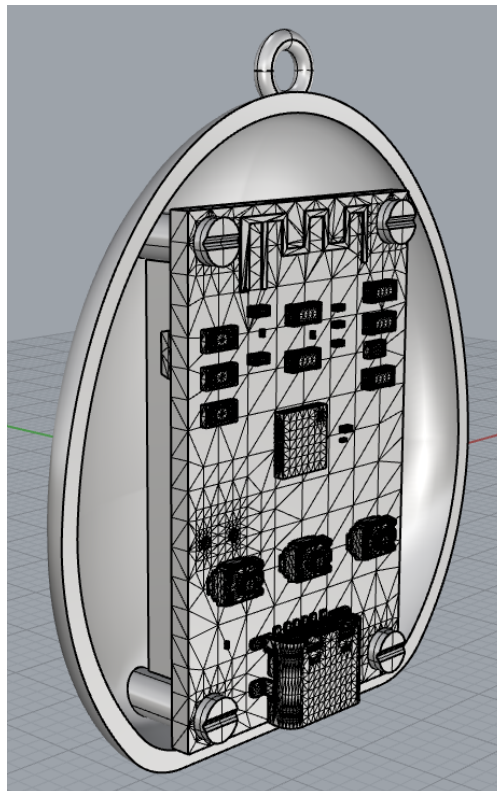


Рисунок 4.2 — Кріплення плати до корпусу

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE11.467731.001 ПЗ

Лис
49

4.4.Мультимедійні кнопки

У корпусі передбачено три фізичні тактові кнопки, інтегровані в передню панель пристрою. Їхнє розташування виконано лінійно, що забезпечує інтуїтивне керування мультимедійними функціями:

- ліва кнопка — перемикаання на попередню композицію,
- центральна — відтворення/пауза,
- права — наступна композиція.

Кожна кнопка має чіткий тактильний відгук — при натисканні створюється характерний «клік», який сигналізує про спрацювання. Це досягається завдяки використанню стандартних SMD-кнопок, розміщених під спеціально сформованими отворами в корпусі.

Кнопки винесені на корпус в зону постійної доступності — вони розташовані так, щоб було зручно натискати як однією рукою (висить на шиї), так і в положенні, коли пристрій знятий. Завдяки ергономічній формі корпусу та округлим краям, пальці природно лягають саме на область кнопок, не вимагаючи зусиль або фокусування уваги.



Рисунок 4.3 — Реалізація кнопок

4.5.Зарядний роз'єм USB Type-C

У нижній частині корпусу передбачено роз'єм USB Type-C, який використовується для живлення пристрою та заряджання вбудованого акумулятора. Таке розміщення обрано не випадково: нижнє розташування

					PE11.467731.001 ПЗ	Лис
						50
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечує зручність підключення кабелю під час носіння пристрою на шиї або при використанні його на столі. Завдяки цьому, кабель не заважає доступу до кнопок та не впливає на ергономіку.

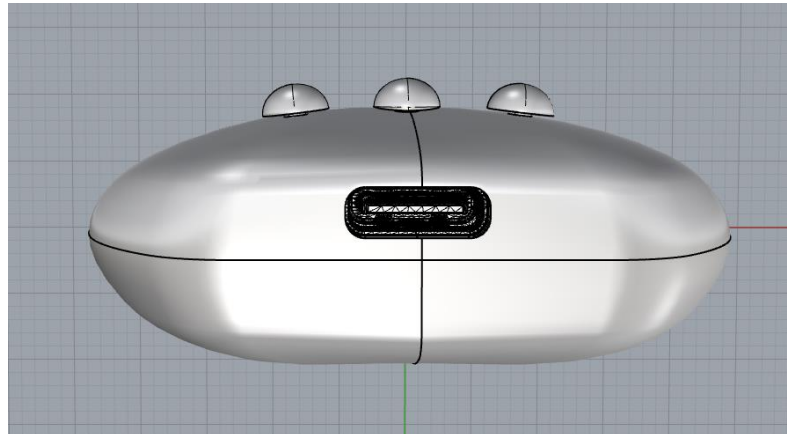


Рисунок 4.4 — Реалізація отвору під роз'єм

4.6.Отвори для антени

У конструкції корпусу передбачено спеціальні вентиляційні отвори в зоні розміщення антени, відповідно до схеми друкованої плати. Ці отвори виконані у вигляді сітки невеликих отворів безпосередньо навпроти області, де знаходиться антена.

Метою такого рішення є мінімізація радіочастотного екранування, що неминуче виникає при розміщенні антени всередині повністю закритого пластикового корпусу.

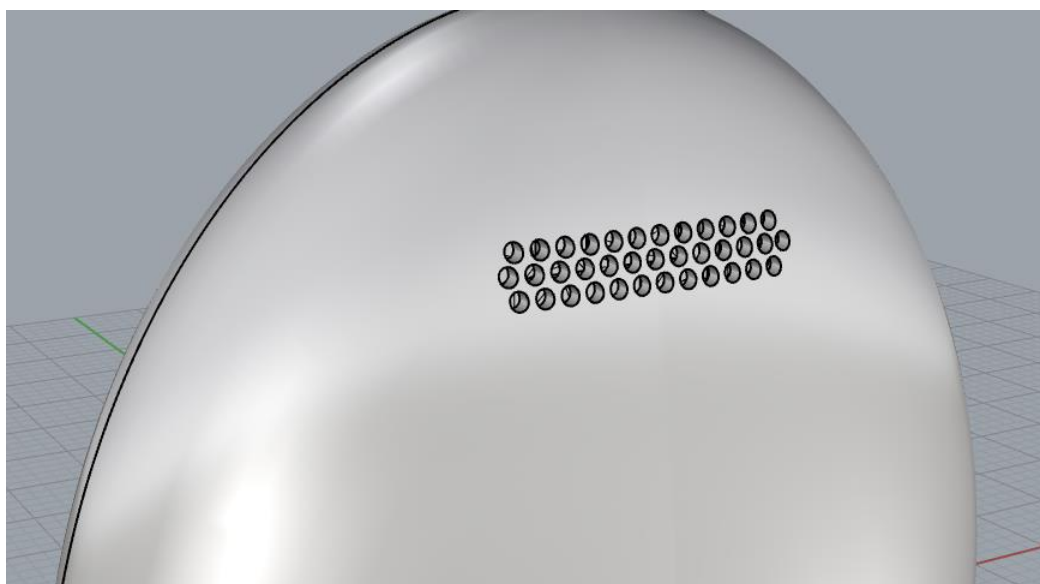


Рисунок 4.5 — Сітка отворів

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РЕ11.467731.001 ПЗ

Лис
51

Отвори виконані максимально компактно та симетрично, щоб не порушувати естетику зовнішнього вигляду. Їх розмір і форма підбрані таким чином, щоб зберігати механічну цілісність корпусу, але при цьому дозволити проходження радіохвиль з мінімальними втратами.

Крім цього, відкрита зона антени сприяє пасивному охолодженню внутрішніх компонентів, що є додатковою перевагою при інтенсивному використанні пристрою. Таке конструктивне рішення є важливим для забезпечення стабільної бездротової роботи пристрою в умовах реального використання.

4.7.Петля для носіння

У верхній частині корпусу, на торці, передбачено кругле вушко (кільце) або отвір, призначений для протягування шнурка, ланцюжка або карабіна. Це конструктивне рішення дозволяє використовувати пристрій як повноцінний кулон, який легко носити на шії протягом дня.

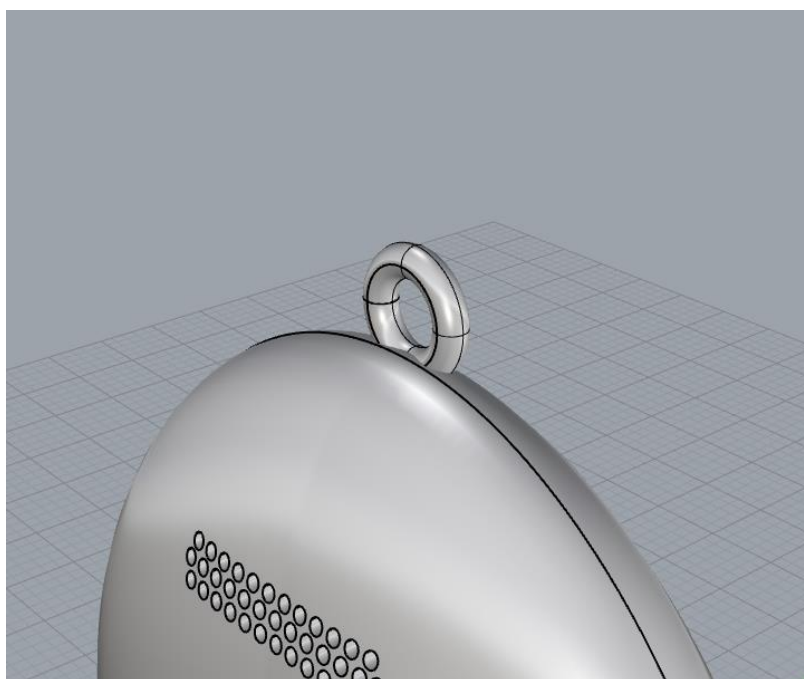


Рисунок 4.6 — Кільце для носіння

Конструкція петлі виконана як частина самого корпусу (монолітно), що

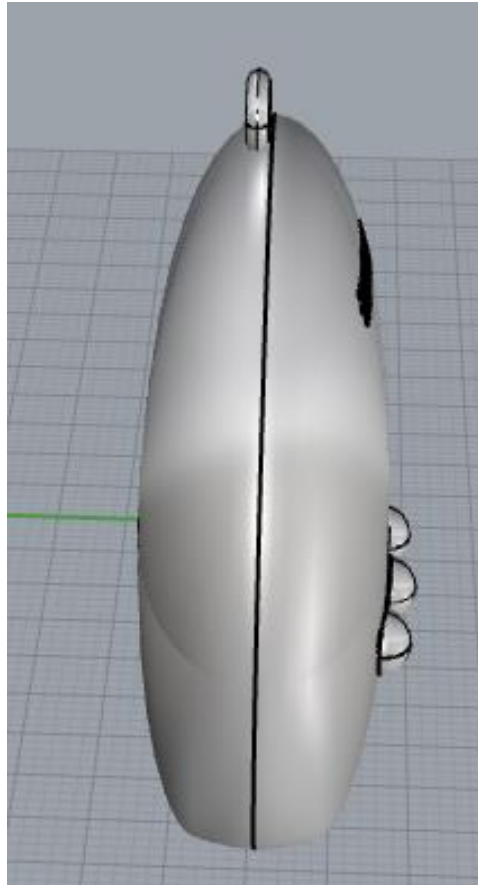
					РЕ11.467731.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		52

забезпечує її міцність та довговічність. Внутрішній діаметр отвору 3 мм. За потреби, можна використовувати і карабін або тримач.

Таке рішення не лише додає зручності у повсякденному використанні, а й зменшує ризик втрати пристрою, оскільки він завжди залишається при користувачеві. Крім того, підвішування на шию — це ергономічно виправданий варіант для пристрою, який взаємодіє з мультимедіа, адже дає змогу легко дістати й використовувати його в русі.

4.8.Ергономіка

Форма корпусу має ергономічний, округлий дизайн: усі краї плавні, без гострих кутів. Це забезпечує приємні тактильні відчуття, запобігає подряпинам шкіри, а також дозволяє пристрою легко ковзати по тканині одягу. Заокруглені кути знижують концентрацію механічних напружень у матеріалі корпусу, що підвищує його механічну міцність і довговічність. Такий підхід робить пристрій не тільки безпечним у використанні, але й естетично привабливим і зручним у щоденному носінні показано на рисунку 4.7 та 4.8



Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE11.467731.001 ПЗ

Лис
53

Рисунок 4.7 — Вигляд А

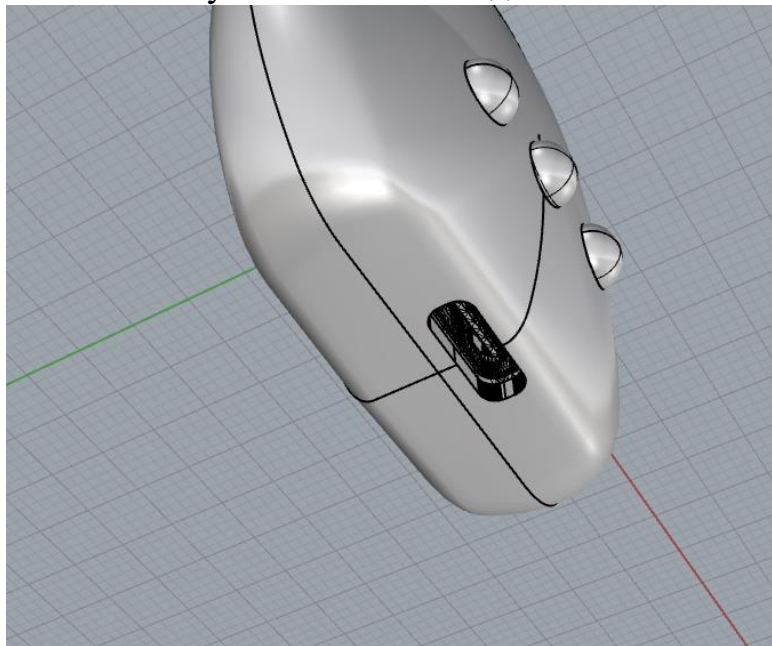


Рисунок 4.8 — Вигляд Б

4.9.Габарити

Габарити корпусу становлять приблизно 50×45×19 мм. Завдяки таким компактним розмірам пристрій зручно поміщається в долоні та не займає багато місця. Він також легко може носитися на шиї як підвіска або кріпитися до одягу чи аксесуарів. Компактність забезпечує мобільність пристрою та не створює дискомфорту під час повсякденного використання.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РЕ11.467731.001 ПЗ

Лис

54

5. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

5.1.Опис програмного забезпечення

1. Підключення бібліотеки та оголошення пінів

- Використовується BleKeyboard для емуляції мультимедійної клавіатури.
- Кнопки під'єднані до пінів 26 (PREV), 25 (PLAY/PAUSE) і 33 (NEXT).

2. Створення BLE-пристрою

- Об'єкт BleKeyboard bleKeyboard("Pendant", "MyCompany", 100) ініціалізує HID-пристрій із зазначеними назвою, виробником і батареєю 100 %.

3. Початкове налаштування (setup)

- Усі три піни переведені в режим INPUT_PULLUP, щоб кнопки працювали «на замикання на землю».
- Запускається реклама BLE-пристрою через bleKeyboard.begin().

4. Головний цикл (loop)

- Якщо клієнт не підключений (!bleKeyboard.isConnected()), цикл нічого не виконує.
- Для кожної кнопки викликається checkButton() із відповідним HID-кодом; для кнопки PLAY передається прапорець можливості переходу в сон.

5. Обробка кнопок (checkButton)

- **Debounce** 50 мс запобігає хибним спрацюванням.
- **Коротке натискання** (< 2 с): відправляється команда press → delay 100 мс → release.
- **Довге утримання** (> 2 с) лише для кнопки PLAY: виконуються releaseAll() і esp_deep_sleep_start().

6. HID-команди

					PE11.467731.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		55

- PREV → KEY_MEDIA_PREV_TRACK
- PLAY → KEY_MEDIA_PLAY_PAUSE
- NEXT → KEY_MEDIA_NEXT_TRACK

7. Енергозбереження

- Відсутність обробки без підключення та режим глибокого сну при довгому утриманні центральної кнопки знижують споживання енергії.

8. Масштабованість

- Масив `pressTime[3]` і уніфікована функція `checkButton()` дають змогу легко додати нові кнопки без дублювання коду.

5.2. Пояснення програмного забезпечення

1. Ініціалізація BLE – після виклику `bleKeyboard.begin()` ESP32 починає рекламувати себе як HID-пристрій (мультимедійна клавіатура), що дозволяє смартфону або комп'ютеру підключитися до нього по Bluetooth.

2. Дебаунс натискань – при натисканні кнопки запускається затримка у 50 мс, яка усуває хибні спрацювання, спричинені механічними коливаннями контактів.

3. Відстеження тривалості натискання – у момент переходу кнопки в стан LOW зберігається час; при відпусканні обчислюється інтервал натискання для визначення короткого (<2 с) або довгого (>2 с) натискання.

4. Обробка короткого натискання – якщо тривалість менша за 2 секунди, викликається `bleKeyboard.press(keycode)` для емуляції натискання клавіші, затримка 100 мс, потім `bleKeyboard.release(keycode)`.

5. Обробка довгого натискання (центральна кнопка) – якщо натискання триває більше ніж 2 с, усі клавіші відпускаються через `bleKeyboard.releaseAll()`, після чого викликається `esp_deep_sleep_start()` для переходу в режим глибокого сну.

6. Відправка HID-команд – кожній кнопці відповідає окремий

					<i>PE11.467731.001 ПЗ</i>	Лис
						56
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

мультимедійний HID-код: ліва — KEY_MEDIA_PREV_TRACK, центральна — KEY_MEDIA_PLAY_PAUSE, права — KEY_MEDIA_NEXT_TRACK.

7. Перевірка підключення – перед обробкою будь-яких кнопок перевіряється `bleKeyboard.isConnected()`, і якщо клієнт не підключено, цикл `loop()` нічого не виконує, що дозволяє уникнути помилок і знизити енергоспоживання.

8. Масштабованість коду – використання масиву `pressTime[3]` і універсальної функції `checkButton()` дозволяє легко додавати нові кнопки або змінювати функціонал без дублювання логіки.

5.3.Висновок

Реалізована прошивка забезпечує надійне передавання мультимедійних HID-команд через Bluetooth, що дозволяє користувачеві зручно керувати відтворенням, паузою та перемиканням мультимедії без необхідності прямої взаємодії зі смартфоном. Крім основного функціоналу, програма реалізує механізм енергозбереження: при тривалому утриманні центральної кнопки пристрій переходить у режим глибокого сну (`deep sleep`), з якого може бути швидко виведений наступним натисканням будь-якої кнопки. Такий підхід дозволяє значно подовжити автономну роботу пристрою та зменшити загальне споживання енергії, що особливо важливо для компактного носимого гаджета з акумуляторним живленням.

					РЕ11.467731.001 ПЗ	Лис
						57
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

1. Розроблений пристрій повністю відповідає поставленим технічним завданням: він забезпечує дистанційне керування мультимедійними функціями смартфона через Bluetooth за допомогою трьох інтуїтивно зрозумілих фізичних кнопок, автономно живиться від вбудованого акумулятора з контролером заряджання, а всі етапи розробки (аналіз ринку, обґрунтування вибору компонентів, 3D-моделювання корпусу, симуляція антени та трасування плати) успішно виконані.

2. Завдяки використанню ESP32 з підтримкою режимів низького енергоспоживання пристрій є надзвичайно енергоефективним: у глибокому сплячому режимі його споживання може знижуватися до декількох мікроампер. Оптимізована схема живлення (літій-іонний акумулятор з контролером LTC4054 та стабілізатор MCP1825S) разом із компактною конструкцією та вбудованою мікрополосковою антеною забезпечують тривалу автономну роботу від батареї.

3. Пристрій має ергономічний дизайн: компактний корпус-кулон легко носити на шиї, а інтерфейс з трьома кнопками дозволяє швидко керувати мультимедіа без складних налаштувань. Інтеграція елементів керування на платі виконана згідно з рекомендаціями щодо користувацького інтерфейсу, що гарантує надійну та зручну експлуатацію

4. Конструкція пристрою розроблена з урахуванням вимог технологічності: використано стандартні SMD-компоненти, що спрощують монтаж, а друкована плата оптимізована для компактного розміщення елементів. Корпус пристрою спроектований з урахуванням можливості виготовлення на 3D-принтері, що дозволяє швидко створювати дослідні зразки, спрощує індивідуальне налаштування та не потребує складного інструментального оснащення. Такий підхід забезпечує високу адаптивність виробництва та зручність подальших доопрацювань.

					РЕ11.467731.001 ПЗ	Лис
						58
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. [Електронний ресурс] – Сенсорний екран:
<https://www.lenovo.com/us/en/glossary/touch-screen>
2. [Електронний ресурс] – Вплив hands-free пристроїв:
<https://www.jurewitz.com/articles/hands-free-devices-are-distracting>
3. [Електронний ресурс] – Приклад кнопок Chubby Buttons:
<https://www.amazon.com/Chubby-Buttons-Splash-Resistant-Smartphone-Snowboarders/dp/B07FBQ3PCF>
4. [Електронний ресурс] – Пристрій Pebl Wear:
<https://www.trendhunter.com/trends/peblwear>
5. [Електронний ресурс] – Голосове керування мультимедіа:
<https://hometheaterreview.com/discover-the-secrets-behind-voice-control-and-live-your-dream-home-entertainment-experience>
6. [Електронний ресурс] – Огляд кнопки Flic:
<https://www.pcworld.com/article/2555451/flic-button-review.html>
7. [Електронний ресурс] – Оптимізація живлення Bluetooth-пристроїв:
<https://www.mistywest.com/posts/low-power-optimizations-for-a-bluetooth-connected-wearable>
8. [Електронний ресурс] – Мікросхема LTC4054:
<https://www.analog.com/en/products/ltc4054-4.2.html>
9. [Електронний ресурс] – Джерело тактування мікроконтролера:
<https://resources.altium.com/ru/p/how-important-your-microcontroller-clock-source>
10. [Електронний ресурс] – Вибір тактових кнопок:
<https://www.te.com/en/products/switches/intersection/choosing-tactile-switches-for-electronic-applications.html>
11. [Електронний ресурс] – USB Type-C:
<https://www.dell.com/support/kbdoc/en-us/000141238/guide-to-usb-type-c>
12. [Електронний ресурс] – Altium Designer:
<https://www.altium.com/altium-designer>
13. [Електронний ресурс] – Розробка антен в Ansys HFSS:

					PE11.467731.001 ПЗ	Лис
						59
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

<https://blog.ozeninc.com/resources/designing-antennas-using-ansys-hfss>

14. [Електронний ресурс] – ESP32 (огляд і характеристики):
<https://components101.com/microcontrollers/esp32-mcu-pinout-datasheet-equivalent-circuit-specs>

15. [Електронний ресурс] – Схема ядра ESP32:
https://docs.espressif.com/projects/esp-hardware-design-guidelines/en/latest/esp32/_images/esp32-sche-core.png

16. [Електронний ресурс] – Рекомендації до схем ESP32:
<https://docs.espressif.com/projects/esp-hardware-design-guidelines/en/latest/esp32/schematic-checklist.html>

17. [Електронний ресурс] – Акумулятор 3.7 В 250 мА·г:
<https://akumka.com.ua/prod5715-akkymylyator-li-pol-502030-250mach-3-7v.html>

18. [Електронний ресурс] – USB роз'єм UJC-HP-G-5-SMT-TR:
<https://www.snapeda.com/parts/UJC-HP-G-5-SMT-TR/Same%20Sky/view-part>

19. [Електронний ресурс] – Резистор 1.65 кОм (ERA8ARB1651V):
<https://www.snapeda.com/parts/ERA8ARB1651V/Panasonic/view-part>

20. [Електронний ресурс] – Резистор 10 кОм (ERA-8ARW103V):
<https://www.snapeda.com/parts/ERA-8ARW103V/Panasonic/view-part>

21. [Електронний ресурс] – Резистор 20 кОм (ERJ-U06J203V):
<https://www.snapeda.com/parts/ERJ-U06J203V/Panasonic/view-part>

22. [Електронний ресурс] – Резистор 2 кОм (ERJ-U06F2001V):
<https://www.snapeda.com/parts/ERJ-U06F2001V/Panasonic/view-part>

23. [Електронний ресурс] – Резистор 5.1 кОм (ERA-6ARB512V):
<https://www.snapeda.com/parts/ERA-6ARB512V/Panasonic/view-part>

24. [Електронний ресурс] – Конденсатор 0.1 мкФ (GRM3195C2A104GA01D):
<https://www.snapeda.com/parts/GRM3195C2A104GA01D/Murata/view-part>

25. [Електронний ресурс] – Конденсатор 1 мкФ (GRM155C81E105KE11D):
<https://www.snapeda.com/parts/GRM155C81E105KE11D/Murata/view-part>

					<i>PE11.467731.001 ПЗ</i>	Лис
						60
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

26. [Електронний ресурс] – Конденсатор 100 пФ (GRM033B11C101KA01D):

<https://www.snapeda.com/parts/GRM033B11C101KA01D/Murata/view-part>

27. [Електронний ресурс] – Конденсатор 10 нФ (06033C103KAT2A):

<https://www.snapeda.com/parts/06033C103KAT2A/AVX/view-part>

28. [Електронний ресурс] – Довідка по X7R/X5R конденсаторах:

https://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/X7R_X5R.pdf

29. [Електронний ресурс] – Конденсатор 4.7 μФ (GRT188R61C475KE13J):

<https://www.snapeda.com/parts/GRT188R61C475KE13J/Murata/view-part>

30. [Електронний ресурс] – Індуктор 2N0 (885012206034):

<https://www.snapeda.com/parts/885012206034/W%C3%BCrth%20Elektronik/view-part>

31. [Електронний ресурс] – Мікросхема LTC4054 (зарядка):

<https://www.snapeda.com/parts/LTC4054LES5-4.2%23TRPBF/Analog%20Devices/view-part>

32. [Електронний ресурс] – Стабілізатор MCP1825S:

<https://www.snapeda.com/parts/MCP1825S-3302E/DB/Microchip/view-part>

33. [Електронний ресурс] – Кварц 40 МГц (7B-40.000MEEQ-T):

<https://www.snapeda.com/parts/7B-40.000MEEQ-T/TXC/view-part>

34. [Електронний ресурс] – Тактова кнопка (TS-1088-AR02016):

<https://www.snapeda.com/parts/TS-1088-AR02016/Xunpu/view-part>

					<i>PE11.467731.001 ПЗ</i>	Лис
						61
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИСТРОЮ

```
#include <BleKeyboard.h>
```

```
const int PIN_PREV = 26;
```

```
const int PIN_PLAY = 25;
```

```
const int PIN_NEXT = 33;
```

```
BleKeyboard bleKeyboard("Pendant", "MyCompany", 100);
```

```
unsigned long lastPress = 0;
```

```
const unsigned long debounce = 50;
```

```
const unsigned long longHold = 2000;
```

```
void setup() {
```

```
    pinMode(PIN_PREV, INPUT_PULLUP);
```

```
    pinMode(PIN_PLAY, INPUT_PULLUP);
```

```
    pinMode(PIN_NEXT, INPUT_PULLUP);
```

```
    bleKeyboard.begin();
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
    if(!bleKeyboard.isConnected()) return;
```

```
    checkButton(PIN_PLAY, KEY_MEDIA_PLAY_PAUSE, true);
```

```
    checkButton(PIN_NEXT, KEY_MEDIA_NEXT_TRACK, false);
```

```
    checkButton(PIN_PREV, KEY_MEDIA_PREV_TRACK, false);
```

```
}
```

```
void checkButton(int pin, uint16_t keycode, bool canSleep) {
```

					PE11.467731.001 ПЗ	Лис
						62
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

```

static unsigned long pressTime[3] = {0};
int idx = (pin==PIN_PLAY?0:(pin==PIN_NEXT?1:2));
bool pressed = digitalRead(pin)==LOW;

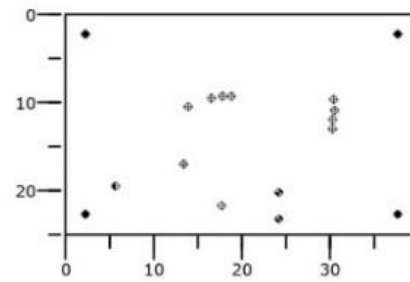
if(pressed && millis()-lastPress>debounce) {
    lastPress = millis();
    pressTime[idx] = millis();
}
if(!pressed && pressTime[idx] && millis()-pressTime[idx]>debounce) {
    // коротке натискання
    if(millis()-pressTime[idx] < longHold) {
        bleKeyboard.press(keycode);
        delay(100);
        bleKeyboard.release(keycode);
    }
    pressTime[idx]=0;
}
// довге утримання плей-кнопки
if(canSleep && pressed && millis()-pressTime[idx] > longHold) {
    bleKeyboard.releaseAll();
    delay(100);
    esp_deep_sleep_start();
}
}

```

					РЕ11.467731.001 ПЗ	Лис
						63
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

[illegible]

Додатковий вид А



Таблиця 1 - діаметри отворів

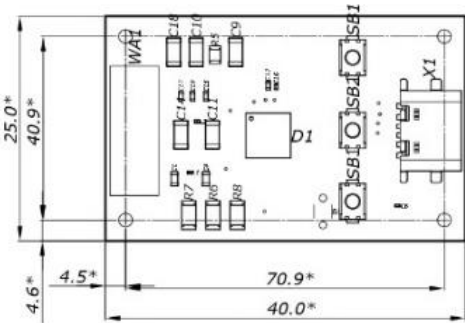
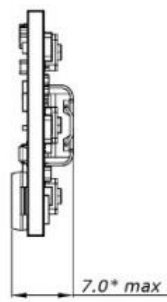
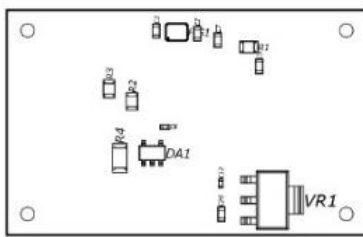
Symbol	Count	Hole Size	Plated	Hole Tolerance
•	1	0.30mm	Plated	
⊕	10	0.40mm	Plated	
⊕	2	0.90mm	Plated	
•	4	1.60mm	Plated	
	17 Total			

Інв. № ориг.	Підп. і дата	Зам. інв. №	Інв. № ориг.	Підп. і дата

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

PE11.467713.001

ДОДАТОК В. СКЛАДЛЬНИЙ КРЕСЛЕНИК

Інв. № ориг.	Підп. і дата	Зам. інв. №	Інв. № ориг.	Підп. і дата	Довідк. №	Перв. застосування																																														
							PE11.467713.001.CK  25.0* 40.9* 4.6* 4.5* 70.9* 40.0*  7.0* max  1.* Розміри для довідок 2. Позначення елементів показані умовно і відповідають схем електричній принципів PE11.467713.001 E3 і переліку елементів PE11.467713.001 ПЗ 3. Паяльна паста Sn63/Pb37 (ПОС-61), ГОСТ 21930-76																																													
							PE11.467713.001.CK <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">Зм.</td> <td style="width: 10%;">Арх.</td> <td style="width: 10%;">№ докум.</td> <td style="width: 10%;">Підпис</td> <td style="width: 10%;">Дата</td> </tr> <tr> <td>Розроб.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Перевір.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Т. контр.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Н. контр.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Затв.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> Копіював <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">PE11.467713.001.CK</td> </tr> <tr> <td style="width: 30%;">Лит.</td> <td style="width: 30%;">Маса</td> <td style="width: 40%;">Масштаб</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">1:1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Аркушів 1</td> <td>Аркушів 1</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Формат А3</td> </tr> </table>	Зм.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	Розроб.					Перевір.					Т. контр.					Н. контр.					Затв.					PE11.467713.001.CK			Лит.	Маса	Масштаб			1:1	Аркушів 1		Аркушів 1	Формат А3		
Зм.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата																																																
Розроб.																																																				
Перевір.																																																				
Т. контр.																																																				
Н. контр.																																																				
Затв.																																																				
PE11.467713.001.CK																																																				
Лит.	Маса	Масштаб																																																		
		1:1																																																		
Аркушів 1		Аркушів 1																																																		
Формат А3																																																				

ДОДАТОК Г. ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ

Первинне застосування		Поз. позн.	Найменування	Кільк.	Примітка		
Довідковий №		BAT1	Акумулятор Li-Pol 502030 250мАг 3.7В (Дріт AWG 22)	1			
			Конденсатори				
		C9-C11, C14, C18	0.1uf (0603) (X5R) 50v ± 10%	5			
		C8, C12, C13, C15, C17, C19	1 uF (0603) (X5R) 50v ± 10%	6			
		C16	100pF 50V NP0 5% 0805 (CL21C101JBANNNC-Samsung)	1			
		C7	10nF 1000V X7R 10% 1210 (C1210B103K102N2-Hitano)	1			
		C2, C3	22pF 500V NP0 5% 1206 (CC1206JRNPOBBN220-Yageo)	2			
		C5	3,3nF 50V X7R 10% 1206 4k/reel (C1206B332K500NT-Hitano)	1			
		C20	4, 7uF 10V Y5V -20/+ 80% 0805 3k/reel (C0805Y475Z100N3-Hitano)	1			
		C6	1nF 50V X7R 10% 0603 AVX	1			
		C1, C4	3,3pF 0603 C Ceramic Multilayer Capacitor, 100 V, +125degC, X7R Dielec, +/-10%_1	2			
	Підпис і дата						
		D1	ESP32-D2WD	1			
		DA1	LTC4054L-4.2 - 150mA	1			
		HG1	7B-40.000MEEQ-T 40 MHz ±10ppm Crystal 10pF 40 Ohms 4-SMD	1			
			Індуктивності				
		L1	2.2 nH Inductor 600 mA 100mOhm_1	1			
	L2	2N0 +/- 0.3nH Power Inductors - SMD 3655 0603 36550603S2N0T	1				
РЕ11.467713.001ПЕЗ							
Зм. Арк.		№ докум.	Підпис	Дат			
Інв.№ ориг.	Розроб.	Сокотун О.			Літера	Аркуш	Аркушів
	Перевір.					1	2
	Т.контр						
	Н.контр						
	Затв.						
Перелік елементів							

[illegible]

ДОДАТОК Д. СПЕЦИФІКАЦІЯ

סוף

[illegible]