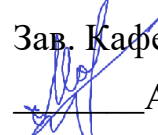


**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Радіотехнічний факультет
Кафедра Прикладної Радіоелектроніки**

До захисту допущено:

Зав. Кафедрою

 Андрій МОВЧАНЮК

« » 20 р.

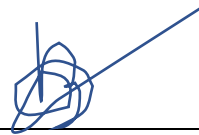
**Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Інтелектуальні технології
радіоелектронної техніки»
за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
на тему: Пристрій створення радіоперешкод з імітацією сигналів БПЛА**

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи РЕ-12

Грабун Владислав Євгенійович

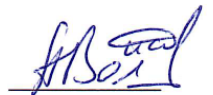
Прізвище, ім'я, по батькові



Керівник: ст. викл. каф. ПРЕ Адаменко Володимир Олексійович

Посада, науковий ступінь, вчене звання

Прізвище, ім'я, по батькові



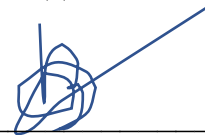
Рецензент: ст. викл. Вишневий Сергій Валерійович, к.т.н. каф. РТС

Посада, науковий ступінь, вчене звання,

Прізвище, ім'я, по батькові

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

Студент (-ка)



Київ – 2025 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примі тка
1	A4	PE12.464441.001	Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	PE12.464441.001.ПЗ	Пояснювальна записка	50	
3	A3	PE12.464441.001.E1	Схема електрична структурна	1	
4	A2	PE12.464441.001.E3	Схема електрична принципова	1	
5	A4	PE12.464441.001.ПЕЗ	Перелік елементів	5	
6	A4	PE12.758723.001	Ілюстраційний матеріал друкована плата	1	
7	A4	PE12.714131.002	Ілюстраційний матеріал корпус	1	

				PE12.464441.001		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Грабун В.Є.			Пристрій створення радіоперешкод з імітацією сигналів БПЛА	Лист	Листів
Керівн.	Адаменко В. О.				1	1
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф.ПРЕ, Гр.РЕ-12	
Н/контр.						
Зав.каф.	Мовчанюк А.В.					

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

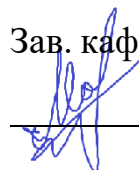
Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітня програма «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

 Андрій МОВЧАНЮК

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Грабуну Владиславу Євгенійовичу

1. Тема проєкту «Пристрій створення радіоперешкод з імітацією сигналів БПЛА»
2. Керівник проєкту ст. викладач Адаменко Володимир Олексійович, затверджені наказом по університету від «29 » травня 2025 р. № 1840-с
Строк подання студентом проєкту 10 червня 2025 року
3. Вихідні дані до проєкту: Напруга живлення +12 В, Струм до 2 А, робочі частоти 800 — 1000 МГц та 5.5 — 5.8 ГГц. Відповідність ГОСТ 16019-2001 (УХЛ 1).
4. Зміст пояснювальної записки 1) Аналіз ринку, 2) Розгляд схемотехнічних рішень 3) Синтез схеми пристрою 4) Розробка конструкції пристрою.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) схема структурна, схема електрична

принципова, зображення трасування друкованої плати, зображення готового пристрою, презентація 15 сторінок.

6. Дата видачі завдання 14 квітня 2025 року

Календарний план

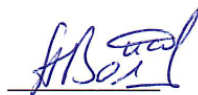
№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Огляд існуючих рішень	15.04.24-06.05.25	
2	Розробка та аналіз завдання на проєкт	07.05.24-10.05.25	
3	Розробка структурної схеми та вибір компонентів	11.05.24-18.05.25	
4	Розробка схеми електричної принципової	19.05.24-23.05.25	
5	Розробка друкованої плати	24.05.24-29.05.25	
6	Розробка конструкторської документації	30.05.24-05.06.25	
7	Оформлення текстової та графічної документації	06.06.24-09.06.25	

Студент

Керівник проєкту



Владислав ГРАБУН



Володимир АДАМЕНКО

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт складається з пояснювальної записки обсягом 49 сторінок, що містить 35 ілюстрації, 2 таблиці, 5 додатки та 30 бібліографічних посилань.

Метою даного дипломного проєкту є розробка портативного автономного пристрою для імітації присутності безпілотних літальних апаратів з метою дезорієнтації засобів радіоелектронної розвідки противника. У межах проєкту проведено аналіз існуючих детекторів дронів, визначено технічні вимоги до пристрою, розроблено структурну та електричну принципову схему, виконано трасування друкованої плати розміром 40×40 мм. Розроблено корпус із герметичним різьбовим з'єднанням, що забезпечує захист за стандартом IP57.

Ключові слова: імітація дрона, радіовипромінювання, електронна протидія, маскування.

ANNOTATION

The diploma project consists of an explanatory report comprising 49 pages, including 35 illustrations, 2 tables, 5 appendices, and 30 bibliographic references.

The objective of this diploma project is to develop a portable, autonomous device for simulating the presence of unmanned aerial vehicles (UAVs) in order to mislead enemy radio reconnaissance systems. The project includes an analysis of existing drone detection systems, the determination of technical requirements, the development of a structural and schematic electrical diagram, and the design of a printed circuit board with dimensions of 40×40 mm. A sealed enclosure with a threaded connection has been developed, providing IP57 protection.

Keywords: drone simulation, radio emission, electronic countermeasures, camouflage.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проєкту

на тему: Пристрій створення радіоперешкод з імітацією сигналів БПЛА

Київ – 2025 року

Зміст

Перелік скорочень.....	4
ВСТУП.....	5
1 Аналіз ринку.....	6
1.1 Аналіз ринку детекторів дронів	6
1.1.1 Пристрій радіоелектронної розвідки “Чуйка 2.0” від BlueBird (1,3 ГГц та 5,8 ГГц).	6
1.1.2 Детектор дронів 0.9, 1.2, 2.4, 4.9 - 6.0 Ghz MDDSR1 «Ксеон-L».....	7
1.1.3 Детектор дронів "Тенета Pro"	8
1.2 Аналіз використання детекторів.	9
1.3 Огляд можливих варіантів корпусу.	11
1.4. Висновки до розділу	13
2 Огляд схемотехнічних рішень	15
2.1 Огляд схемотехнічних рішень для систем передачі сигналів керування в контексті FPV дронів.	15
2.2 Огляд схемотехнічних рішень для систем передачі аналогових відео сигналів в контексті FPV дронів.	18
2.3 Розробка схеми структурної.	20
2.4 Висновки до розділу.	21
3 Синтез схеми пристрою.....	23
3.1 Вибір та обґрунтування елементної бази	23
3.2 Створення схеми електричної принципової	27
3.3 Висновки до розділу	28
4 Розробка конструкції пристрою	29
4.1 Розробка електронного модуля	29

					<i>РЕ12.464441.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

4.1.1	Визначення габаритів друкованої плати	29
4.1.2	Розрахунок мінімальної ширини провідників	30
4.1.3	Трасування друкованої плати	34
4.2	Розробка корпусу пристрою	38
4.3	Висновки до розділу.	44
ВИСНОВКИ		45
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ		47
ДОДАТОК А СХЕМА СТРУКТУРНА.....		50
ДОДАТОК Б СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА		51
ДОДАТОК В ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ.....		52
ДОДАТОК Г ДРУКОВАНА ПЛАТА.....		57
ДОДАТОК Д КОРПУС		59

Перелік скорочень

БПЛА — безпілотний літальний апарат

DC-DC — імпульсний понижуючий перетворювач постійної напруги

EDA — Electronic Design Automation

ELRS — ExpressLRS (система керування для дронів)

FPV — First Person View (політ від першої особи)

IP — Ingress Protection (ступінь захисту корпусу)

LoRa — Long Range Radio (радіозв'язок великої дальності)

PCB — Printed Circuit Board (друкована плата)

ПЗ — програмне забезпечення

RX — приймач

SMD — Surface-Mounted Device (поверхнево-монтований компонент)

SPI — Serial Peripheral Interface (послідовний периферійний інтерфейс)

TX — передавач

					<i>PE12.464441.001 ПЗ</i>	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

З розвитком сучасних технологій, окрім покращення якості цивільного життя, стрімко еволюціонують і засоби ведення війни. Як відомо, нинішня війна вже отримала неофіційну назву першої «війни дронів». Це зумовило появу великої кількості нових розробок та інноваційних пристроїв, одним із яких є детектори дронів.

Вони призначені для використання особовим складом, зазвичай є компактними та легкими, для зручної експлуатації. Проте виникає запитання: чи можна використати ворожі технології проти самого ворога? Чи можливо перенести протистояння з технічного рівня на психологічний, змушуючи противника сумніватися у достовірності власних систем виявлення?

У цьому проекті було прийнято рішення розробити пристрій, який виконує саме таку функцію — створює імітації присутності дронів з метою постійного виснаження ворога, зниження довіри до власних засобів детекції та, зрештою, ігнорування справжньої небезпеки. Таким чином, пристрій має діяти як інструмент психологічного тиску, підвищуючи шанси на успішні наступальні дії.

Метою цього дипломного проекту є розробка компактного та автономного пристрою для імітації присутності дронів у ворожому тилу. Пристрій має бути досить малогабаритним, щоб його можна було доставити за допомогою БПЛА, мати вагу менше одного кілограма та забезпечувати ефективну зону дії радіусом не менше 500 метрів. Запропонований пристрій повинен функціонувати тривалий час у повністю автономному режимі, виконуючи свою місію з введення в оману систем радіо-розвідки та послаблення пильності ворога.

					<i>PE12.464441.001 ПЗ</i>	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Аналіз ринку

1.1 Аналіз ринку детекторів дронів

Аналіз ринку аналогічних пристроїв є неможливим через відсутність у відкритому доступі будь-якої інформації щодо їх використання або навіть існування. У зв'язку з цим було прийнято рішення провести аналіз ринку детекторів дронів — пристроїв, проти яких передбачається робота нашого виробу.

Під час аналізу враховувалося, що найпоширенішою системою зв'язку в дронах є аналогова передача відео в діапазоні частот від 5.3 до 5.8 ГГц, а керування здійснюється на частотах у межах 750–950 МГц. Середній час автономної роботи детекторів становить від 3 до 12 годин.

1.1.1 Пристрій радіоелектронної розвідки “Чуйка 2.0” від BlueBird (1,3 ГГц та 5,8 ГГц).

Цей пристрій [1] сканує радіодіапазон в частотах 900-1680 МГц та 4990-6000 МГц на наявність передачі аналогового відеосигналу. Має компактний дизайн та час автономної роботи від одного заряду близько 6-8 годин. Має досить швидке сканування спектру, близько 2-3 секунд.

Особливістю пристрою є можливість виводити на вбудований екран виявлений відеосигнал для розуміння позиції дрона. Також пристрій може відфільтровувати звичайні завади, і при цьому все ще впізнає сигнал відео після скремблера. Заявлена ефективна дальність виявлення – 4000м. Ціна виробу 18900 грн.

					<i>РЕ12.464441.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

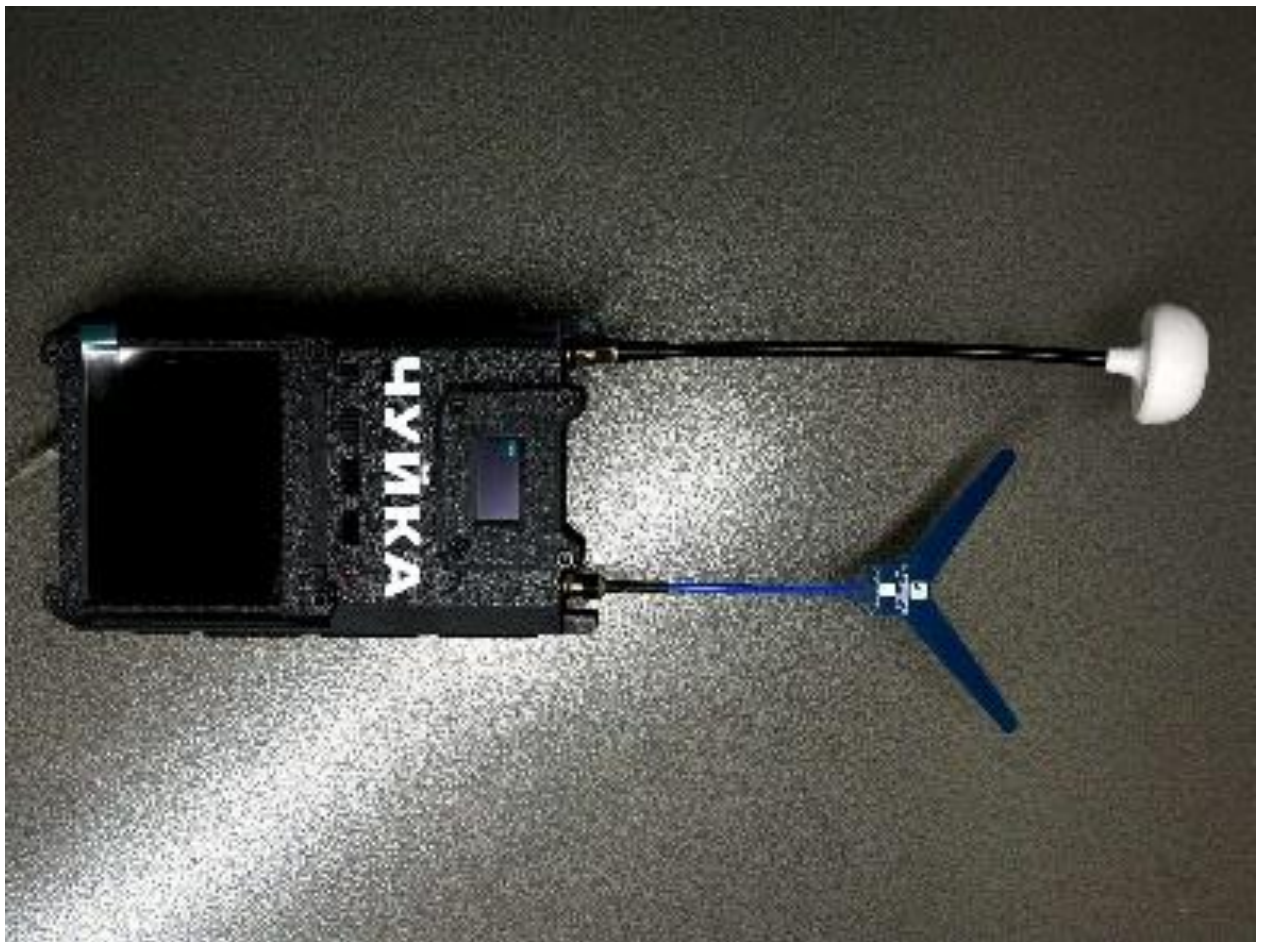


Рисунок 1.1 — Чуйка 2.0

1.1.2 Детектор дронів 0.9, 1.2, 2.4, 4.9 - 6.0 Ghz MDDSR1 «Ксеон-L»

На відміну від попереднього цей пристрій [2] має більший діапазон частот сканування, а саме : 0.9 ГГц (860-930 МГц), 1.2 ГГц (1080-1360 МГц), 2.4 ГГц (2400-2525 МГц), 4.9 - 6.0 ГГц (4900-6000 МГц).

Даний прилад має більш явні і великі засоби керування, та більшу кількість режимів роботи, проте не спроможний виводити відео, також на відміну від попереднього цей не вміє відфільтровувати непотрібні сигнали, тому він буде реагувати на всі сигнали достатньої потужності в зазначених вище діапазонах. Що говорить про можливу недостовірність пристрою. Час автономної роботи – до 8 годин, а радіус ефективного виявлення – до 1000м. Ціна виробу – 12000 грн.

					РЕ12.464441.001 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.2 — MDDSR1 «Ксеон-L».

1.1.3 Детектор дронів "Тенета Pro"

Цей пристрій [3] має компактніші розміри, та більший функціонал, також на відміну від попереднього він виявляє сигнали системи керування дроном, а не його передачу відео, через що даний виріб має абсолютно інший діапазон частот. Пристрій сканує такі діапазони: 433 МГц, 450 МГц (400-500 МГц), 750 МГц, 868 МГц, 915 МГц, 921 МГц (700-1050 МГц) 2.4 ГГц (2400МГц – 2485МГц).

Основним засобом керування пристроєм є сенсорний екран, через що пристрій має розширену функціональність, проте є більш крихким. Є можливість оновлення ПЗ через додаток з платформи Play market. Головною перевагою пристрою є можливість використання мобільного додатку для моніторингу з таких пристроїв як смарт- годинник, телефон, тощо. Час автономної роботи пристрою – до 7 годин. А дальність виявлення дронів від 500 до 2000м.

					РЕ12.464441.001 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.3 — Тенета Pro.

1.2 Аналіз використання детекторів.

Детектори дронів найчастіше використовуються піхотними підрозділами безпосередньо на бойових позиціях та під час переміщення, а також водіями на стратегічно важливих маршрутах. У разі сигналу про виявлення БПЛА, як правило, бойова активність тимчасово припиняється до усунення загрози. Також можливе застосування в парі з засобами радіоелектронної боротьби (РЕБ), що призводить до розкриття власної позиції через випромінювання потужного радіосигналу і працює як гарний маячок – наводка для артилерії.

Серед зазначених способів застосування детекторів слід виділити варіант використання з мобільними пристроями, зокрема — зі смарт-годинниками. Приклад такого використання наведено на рисунку 1.2.1.

					РЕ12.464441.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9



Рисунок 1.4 — Приклад використання смарт-годинника для передачі інформації від детектора дронів [4].

Даний спосіб застосування дозволяє оперативно відображати загрозу з зрозумілою візуальною інтеграцією, при цьому сам детектор може бути закріплений на розвантажувальному жилеті, що звільняє руки військовослужбовця.

З останнього часу поширення також набули стаціонарні детектори у форматі світлофорів, які встановлюються на важливих транспортних розв'язках або перехрестях (рис. 1.5). Така система дає змогу централізовано інформувати водіїв про загрозу, роблячи індивідуальне оснащення кожного автомобіля детектором необов'язковим.

					РЕ12.464441.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10



Рисунок 1.5– Світлофор-детектор БпЛА [5].

Таким чином, при правильному використанні зазначеного типу пристроїв, існує потенціал ефективного блокування ключових транспортних шляхів супротивника, що ускладнює логістику постачання боєприпасів, продовольства та евакуації поранених. Що серйозно впливає на інтенсивність ведення бойових дій.

1.3 Огляд можливих варіантів корпусу.

Цільова аудиторія пристрою — військовослужбовці, через що можна зробити висновок, що з боку користувача прилад має бути максимально простим та захищеним від випадкових поламок. Зі сторони “кінцевого користувача” прилад має бути замаскованим так, щоб не виникало бажання перервати його роботу та/або підняти його тощо.

Пристрій призначений для використання в зоні активних бойових дій, тому одним із найлогічніших (та найгуманніших) варіантів є імітація не здетонованих боєприпасів або безпілотників-камікадзе.

Це обумовлює вимоги до форм-фактору та габаритів пристрою: вони мають бути достатньо великими для розміщення необхідної електроніки, але водночас досить компактними для транспортування за допомогою FPV-дронів. Серед можливих снарядів є такий як шрапнельний заряд для скиду SH-F3-HE [6] (Рис. 1.6).

					<i>РЕ12.464441.001 ПЗ</i>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.6— Снаряд SH-F3-HE.

Даний снаряд має зручну та легко масштабовану форму як для перенесення, так і для подальшого моделювання. Проте подібний тип снаряда не набув достатньої популярності, через що його ефективність у відлякуванні людей може бути досить сумнівною. Також цей пристрій не підходить нам з низки причин, зокрема через недостатній об'єм внутрішнього простору, що не дозволяє лаконічно розмістити необхідні компоненти.

Наступним прикладом є усім відома міна МОН-50, (рис. 1.7) яка на цей раз хоч і має достатньо відомий вигляд, проте нажалі її форм-фактор та конструкція не дозволить виконати корпус так щоб він одночасно і витримував скид з необхідної висоти та ефективно виконував функцію відлякування людей через конструкцію пристрою.

					РЕ12.464441.001 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.7 — Дрон камікадзе з міною МОН – 50 [7].

Важливим мінусом корпусу в вигляді МОН – 50 є те що за конструкцією міни, вона має задню сторону яка по факту є відносно безпечною, через що у разі неправильного встановлення та падіння вона не буде достатньо ефективною в відлякуванні від себе людей.

Також досить відомим снарядом для скидів та камікадзе на основі дронів є заряди ПГ-7 які мають схожу до SH-F3-HE витягнуту форму, проте мають більший радіус та дають можливість правильно розмістити необхідні електронні компоненти.



Рисунок 1.8 — Приклад FPV дрона з ПГ7-В [8].

1.4. Висновки до розділу

					РЕ12.464441.001 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У результаті аналізу було розглянуті рішення існуючих детекторів дронів та визначено їх режими роботи, частотні діапазони та рівні чутливості. Проаналізовано варіанти використання пристроїв в реаліях бойових дій та сформовано технічні вимоги до розроблюваного пристрою:

- а. Частотні діапазони: 800 — 1000 МГц, 5.5 — 5.8 ГГц.
- б. Потужність випромінювання: від 100 мВт до 1.5 Вт, в залежності від діапазону.
- с. Час автономної роботи: до 8 годин.

Також було проаналізовано та обрано форм – фактор корпусу спираючись на аналіз форм типових боєприпасів, та з урахуванням потреби маскуванню приладу.

					<i>РЕ12.464441.001 ПЗ</i>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Огляд схемотехнічних рішень

Сфера військового застосування БПЛА є порівняно новою, недостатньо дослідженою та, з огляду на специфіку, обмежено доступною для широкого вивчення на технічному рівні. Через це наразі відсутні відкриті джерела, які б містили детальні схемотехнічні рішення, що використовуються у подібних пристроях військового призначення.

Водночас, враховуючи, що основна функція розроблюваного пристрою полягає в імітації сигналів, характерних для відомих моделей БПЛА, було прийнято доцільне рішення провести аналіз загальнодоступних схем зв'язку, які застосовуються у цивільних FPV дронах. Цей підхід дозволяє врахувати найбільш поширені принципи побудови передавальних систем, частотні діапазони, типи модуляції та інші технічні параметри, що можуть бути використані як база для моделювання сигнальних характеристик пристрою.

2.1 Огляд схемотехнічних рішень для систем передачі сигналів керування в контексті FPV дронів.

На даний момент найчисленнішою системою керування є ExpressLRS [9]. Це система, з відкритим для публіки кодом, яка працює на протоколах LoRa [10] та FLRC в діапазоні від 450 до 1000 МГц та 2.4 ГГц відповідно.

Незважаючи на те, що на безпілотні літальні апарати зазвичай встановлюються приймачі (RX), вони також досить часто здійснюють зворотну передачу телеметрії про стан БПЛА, що дає змогу їх виявити за радіосигналом. Проте приймачі, як правило, передають телеметрію лише у відповідь на запит або відповідно до поточного стану апарата. Саме через цю особливість більш доцільним є моделювання роботи передавача (TX) у складі розроблюваного пристрою. Таким чином, у подальшому розглядатимуться саме передавачі як основа для імітації сигналу.

Завдяки тому, що ExpressLRS є відкритою системою, а галузь FPV-дронів підтримується активною спільнотою інженерів-ентузіастів, які часто

					<i>РЕ12.464441.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

створюють компоненти власноруч, ми маємо змогу сформулювати уявлення про принципи побудови та можливості реалізації власного передавача.

З таких відкритих джерел як Git Hub [11] можна зрозуміти що для створення передавача ELRS необхідні такі вузли:

- a. Контролер : зазвичай ESP32 або ESP8285
- b. Трансивер працюючий на протоколі LoRa: найчастіше це SX1276
- c. Вузол узгодження вихідного сигналу з антенами пристрою
- d. Підсилювач потужності вихідного сигналу
- e. Фільтри та узгоджувальні лінії
- f. Антенна
- g. Елементи живлення

Схема даного пристрою наведена на рисунку нижче.

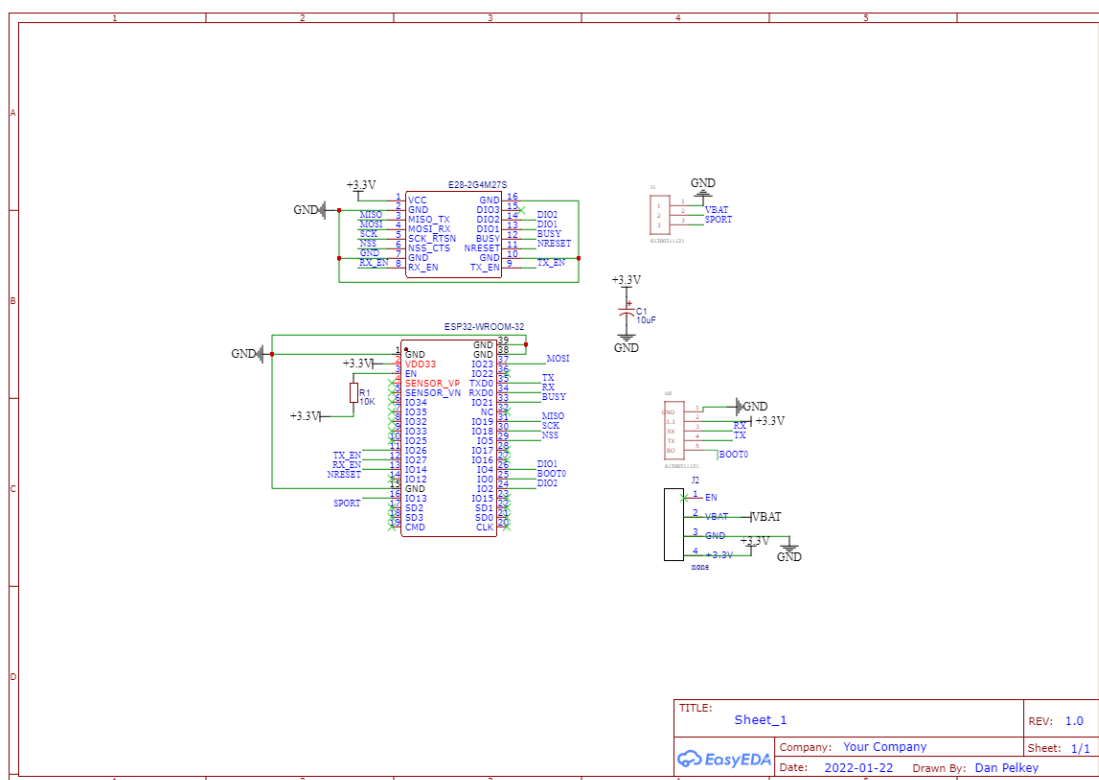


Рисунок 2.1 — Схема передавача ELRS.

Беручи до уваги описаний вище проект [12], можна зробити низку висновків щодо вимог до апаратної реалізації пристрою, який імітує роботу передавача системи ELRS. Для коректного функціонування такого пристрою необхідно забезпечити на друкованій платі належне розміщення

мікроконтролера, радіо трансивера та відповідних узгоджувальних компонентів.

Зокрема, як трансивер використовується мікросхема SX1276, яка в процесі роботи здатна суттєво нагріватися. Згідно з технічною документацією на цей компонент [13], обов'язковою умовою є якісне паяне з'єднання між тепловідвідним контактом на корпусі мікросхеми та відповідним металізованим майданчиком на платі. Невиконання цієї умови може призвести до перегріву і виходу мікросхеми з ладу. Відповідно, рекомендується передбачити достатню кількість металізації довкола тепловідвідного майданчика.

Згідно зі схемою, наведеною вище, для реалізації проєкту було обрано модуль розробки на основі мікроконтролера ESP32-S2 [13], а саме — ESP32-S2 Mini U2 [14]. Зазначений модуль має усі необхідні виводи та виконаний у форматі, що забезпечує поверхневе монтажне з'єднання з основною платою. Завдяки компактним розмірам він не створює перешкод для виконання основного функціонального призначення пристрою та забезпечує ефективніше відведення тепла від мікроконтролера. Крім того, використання цього модуля частково спрощує процес проєктування, оскільки усуває потребу у встановленні узгоджувальних кіл на виходах мікроконтролера.

Оскільки обмін даними між контролером та трансивером здійснюється за протоколом SPI [15], необхідно мінімізувати довжину відповідних сигнальних ліній для зменшення паразитних ємностей та індуктивностей. Тому доцільно розміщувати ці компоненти максимально близько один до одного на платі, дотримуючись правил трасування високошвидкісних сигналів.

Для досягнення необхідної дальності дії (щонайменше 500 метрів) стандартної вихідної потужності SX1276 (близько 13–15 dBm, що відповідає 20–32 мВт) є недостатньо. Згідно з характеристиками систем зв'язку, що використовуються в ELRS, оптимальним значенням вихідної потужності є

					<i>PE12.464441.001 ПЗ</i>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

близько 250 мВт, що відповідає приблизно 24 dBm. Для досягнення такого рівня сигналу необхідно використати зовнішній підсилювач потужності.

На основі аналізу типових рішень у модулях ELRS, а також з урахуванням доступності та стабільності роботи, доцільно обрати підсилювач QPL9095SR [16]. Дана мікросхема характеризується низьким порогом вхідного сигналу, високим коефіцієнтом підсилення, а також компактними розмірами, що робить її зручною для інтеграції у малогабаритні рішення.

На рисунку 2.2 наведений ланцюг застосування даної мікросхеми.

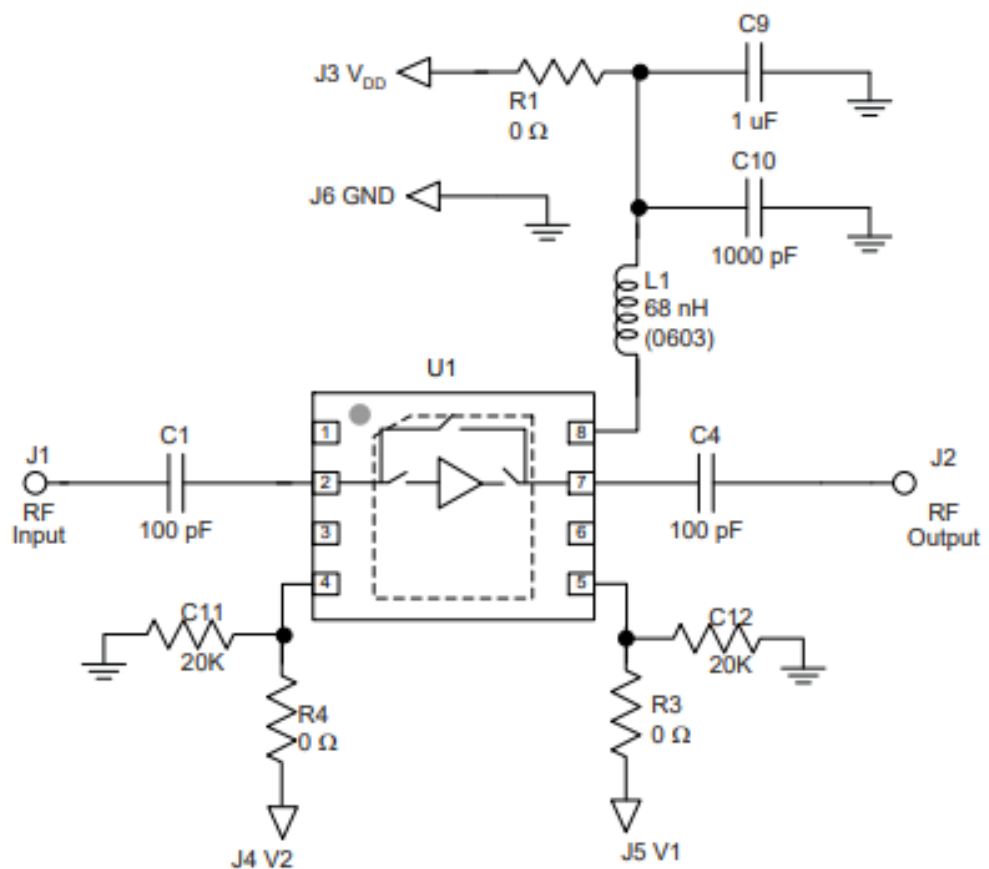


Рисунок 2.2 — Застосування підсилювача згідно з даташитом [16].

2.2 Огляд схемотехнічних рішень для систем передачі аналогових відео сигналів в контексті FPV дронів.

Оскільки на даний момент аналогове відео залишається найпоширенішим стандартом у системах передачі FPV-дронів, ринок таких пристроїв є досить розвиненим, що дозволяє сформуванню уявлення про базову структуру подібних систем. Проте більшість виробників дотримуються

політики комерційної таємниці, зокрема шляхом навмисного видалення лазером маркування мікросхем у складі відео передавачів.

Незважаючи на ці труднощі, базову структуру формування та передачі радіосигналу можна розглянути на прикладі відео передавача виробництва Aocoda-RC (рис. 2.2). Після розбирання пристрою встановлено, що для передачі сигналу використовується високочастотний модуль RTC6705 [17], який працює в діапазоні 5.8 ГГц.

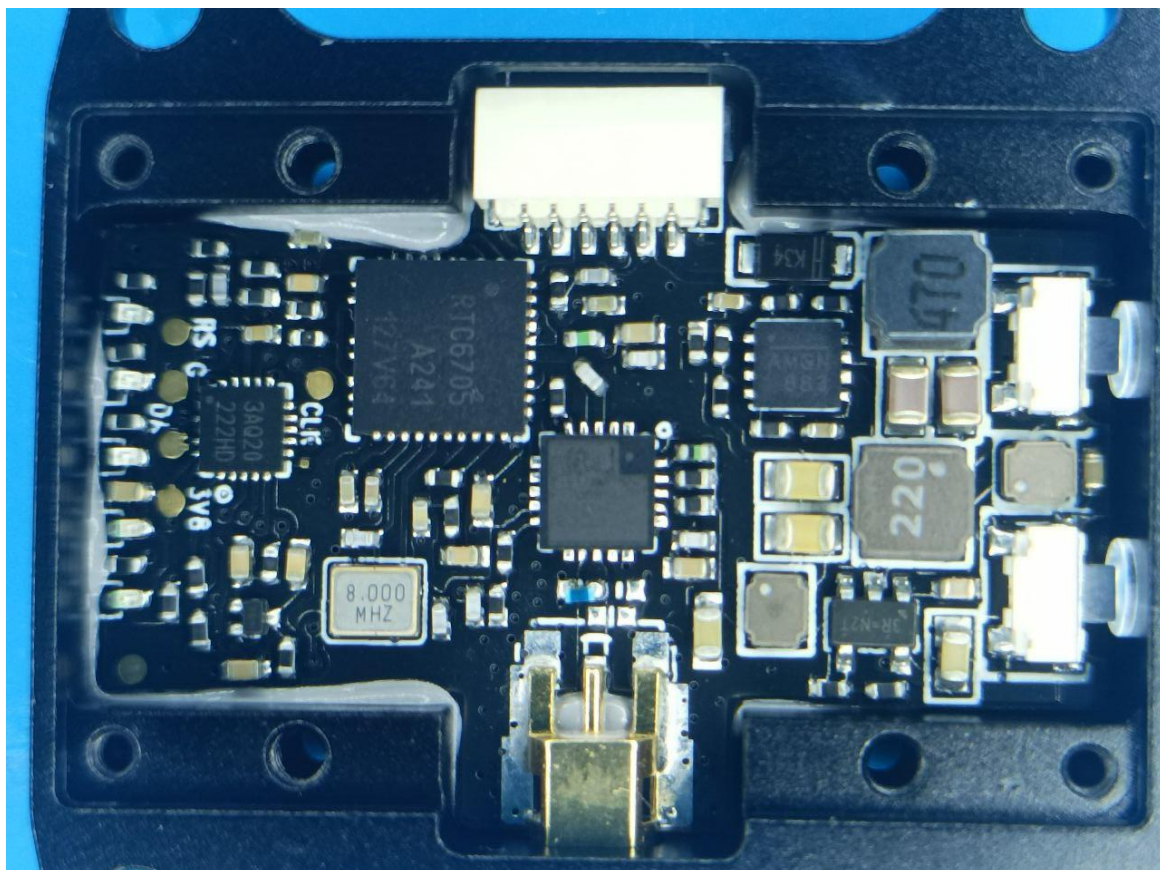


Рисунок 2.2 — Плата в стандартному відео передавачі 5.8 ГГц.

Аналіз друкованої плати передавача дозволяє прослідкувати побудову передавального контуру. Водночас, ідентифікацію мікросхеми підсилювача ускладнено через відсутність маркування. З огляду на типові характеристики та вимоги до вихідної потужності, для реалізації аналогічної функціональності доцільно застосувати підсилювач HMC717ALP3E [18], технічні параметри якого відповідають поставленим задачам. Приклад підключення даного підсилювача наведено на рис. 2.3.

application Circuit

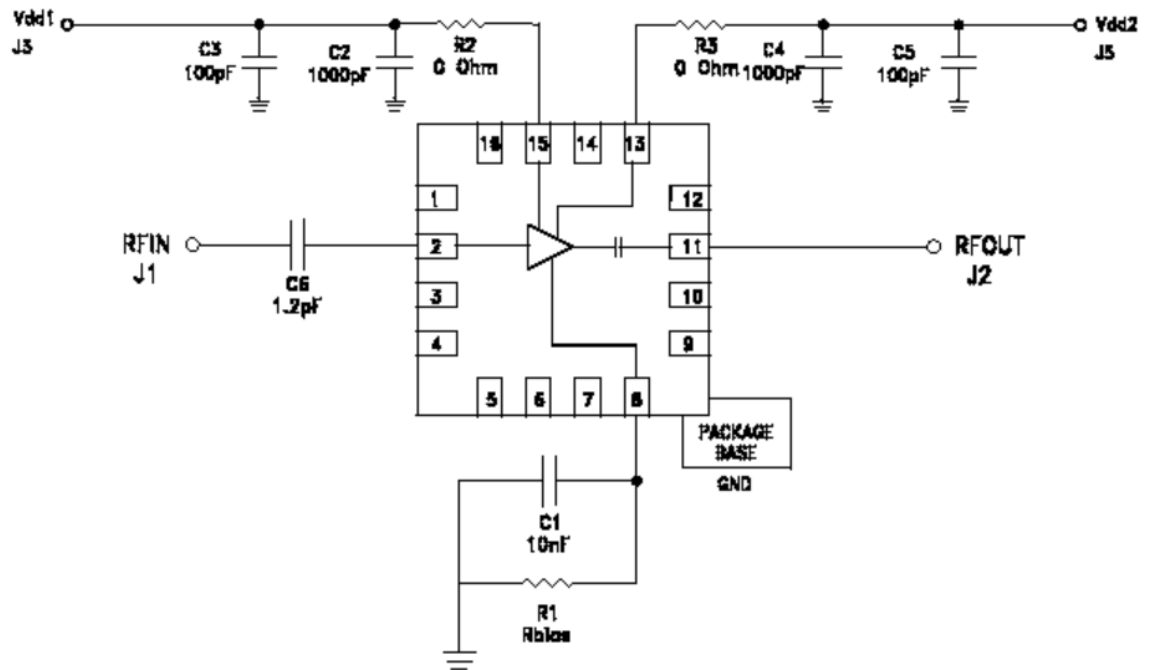


Рисунок 2.3 — Узгодження підсилювача згідно з даташитом [18].

Таким чином, на основі проведеного аналізу сформовано розуміння базової архітектури передавача, що включає модулятор, підсилювач та комунікаційні елементи. Управління передавачем та подача відеосигналу можуть бути реалізовані за допомогою того самого контролера, який відповідає за генерацію телеметричного сигналу. Такий підхід дозволяє оптимізувати використання простору плати, а також підвищити енергоефективність системи.

Для підключення антени доцільно застосувати роз'єм типу IPX, а для виведення відеосигналу – роз'єм типу MMCX, що забезпечує компактність та надійність з'єднання.

2.3 Розробка схеми структурної.

Беручи за основу матеріал наведений вище можемо створити таку наглядну структурну схему(рис. 2.4).

					PE12.464441.001 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

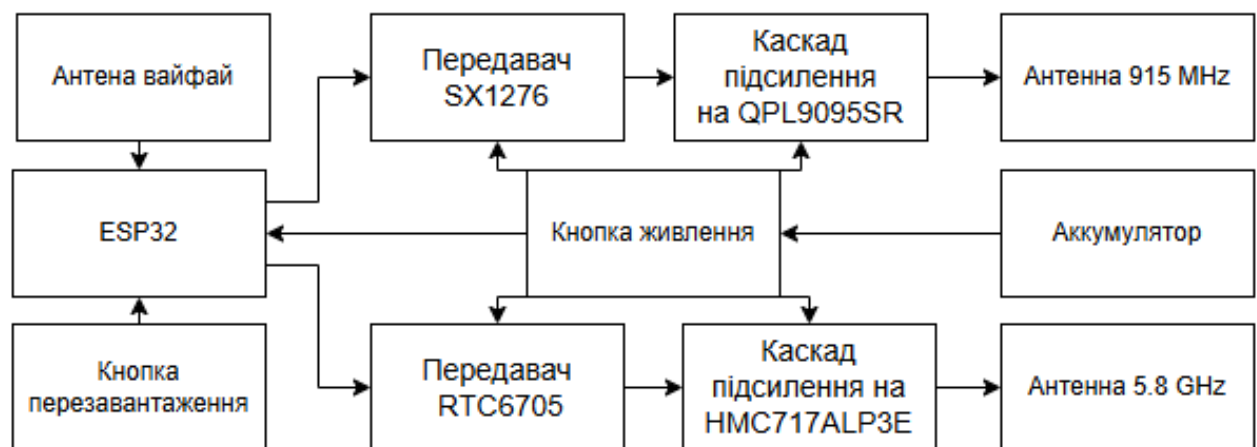


Рисунок 2.4 — Схема структурна.

Згідно з представленою схемою, центральним елементом системи керування та обчислень пристрою є мікроконтролер ESP32. Він забезпечує керування передавачами, що працюють у двох спектрах частот. Управління функціональністю пристрою здійснюється за допомогою кнопок, які дозволяють змінювати частоту роботи передавачів, регулювати потужність випромінювання, задавати таймер затримки активації сигналу, а також налаштовувати періоди між імпульсами.

Увімкнення живлення всіх компонентів відбувається за допомогою окремої кнопки. Для забезпечення стабільної роботи електроніки необхідне впровадження DC-DC перетворювача, що дозволить стабілізувати напругу живлення незалежно від коливань вхідного джерела. Живлення пристрою здійснюється від зовнішнього акумулятора, який підключається безпосередньо перед використанням. Конструкцією не передбачено інтеграцію вбудованого роз'єму заряджання.

З метою забезпечення пило-вологозахисту та надійної роботи в умовах підвищеної вологості або забруднення, будь-які зовнішні роз'єми, включаючи програмувальні інтерфейси, не передбачені. Програмування контролера відбувається через Wi-Fi веб сервер який ESP 32 запускає при ввімкненні.

2.4 Висновки до розділу.

					РЕ12.464441.001 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проведено детальний огляд технічних рішень систем передачі даних що використовуються в FPV дронах. Визначено архітектуру типових передавачів керуючих сигналів та передавачів відеосигналу. Обрано логічні елементи схеми та сформовано структурну схему пристрою. Виконано основу для подальшої розробки пристрою.

					<i>PE12.464441.001 ПЗ</i>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 Синтез схеми пристрою

3.1 Вибір та обґрунтування елементної бази

Згідно з наведеними вище даними, на початковому етапі розробки доцільно визначити та задокументувати всі основні компоненти пристрою. Як зазначалося раніше, структура пристрою включає головний процесор, два трансивери, що працюють на різних частотах, а також два підсилювачі відповідного діапазону. На підставі вищенаведеного, основні апаратні складові системи подані нижче:

- а. Головним процесором пристрою обрано мікроконтролер ESP32-S2-MINI-2U, представлений на рис. 3.1.



Рисунок 3.1 — ESP32-S2-MINI-2U

- б. Передавач SX1276 діапазон 900 – 1000 МГц. Наведений на рис. 3.2.

					PE12.464441.001 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

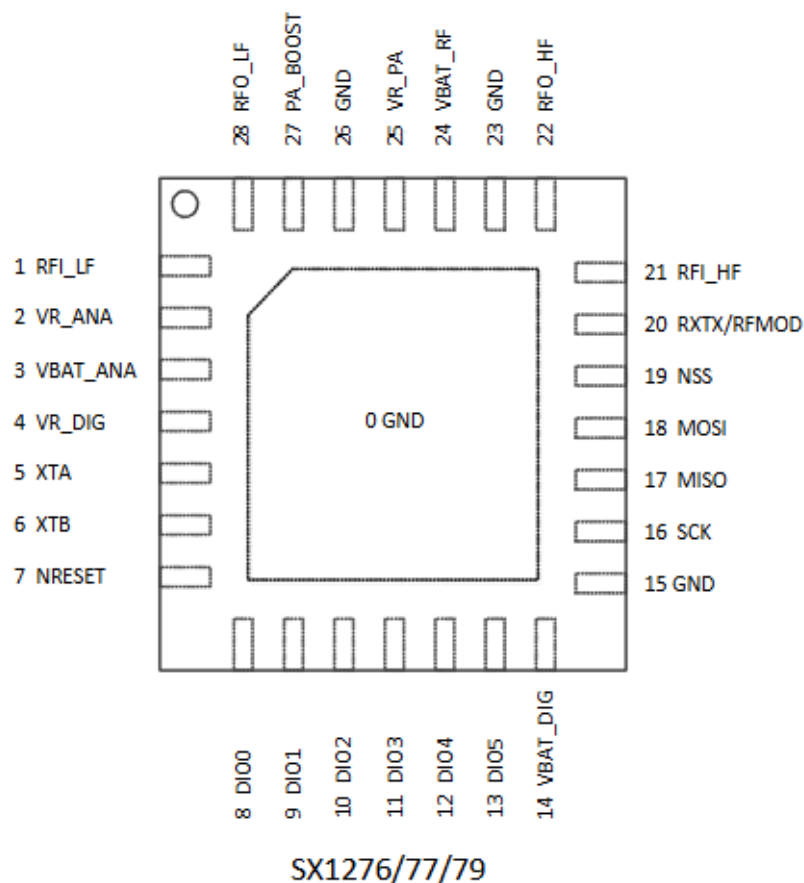


Рисунок 3.2 — SX1276

с. Передавач на діапазон 5.8 ГГц Наведений на рис. 3.3.

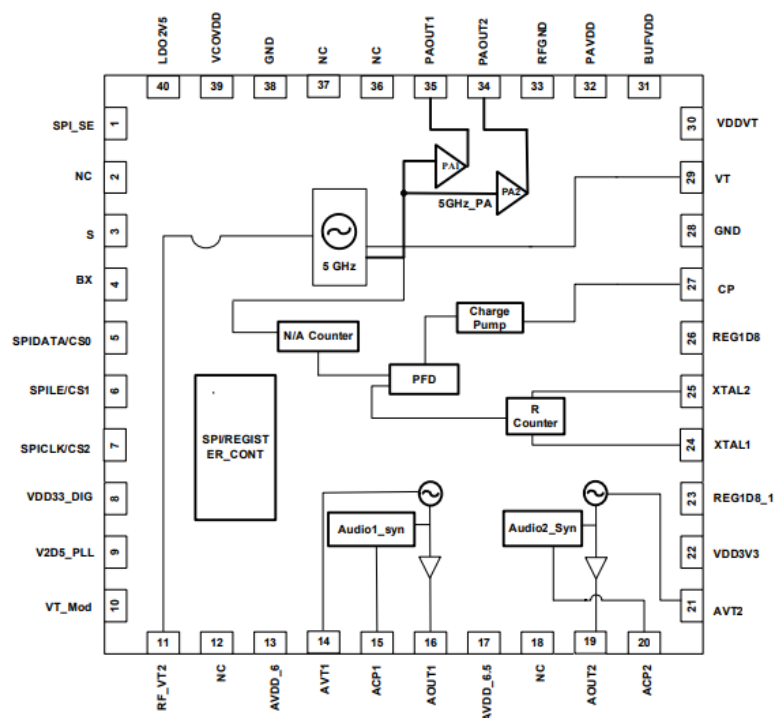


Рисунок 3.2 — RTC6705.

d. Підсилювач на діапазон 900 – 1000 МГц Наведений на рис. 3.4.

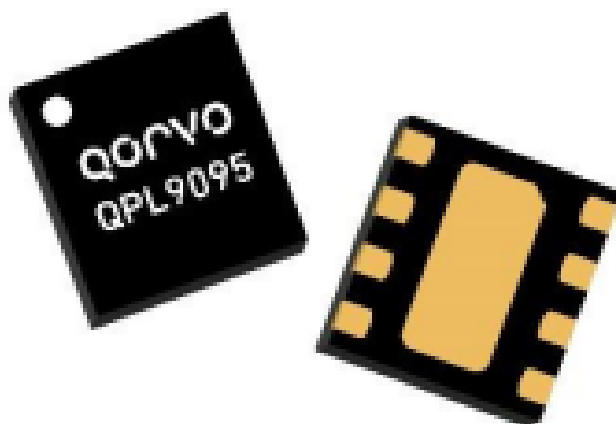


Рисунок 3.4 — QPL9095

е. Підсилювач на діапазон 5.8 ГГц. Наведений на рис. 3.5.

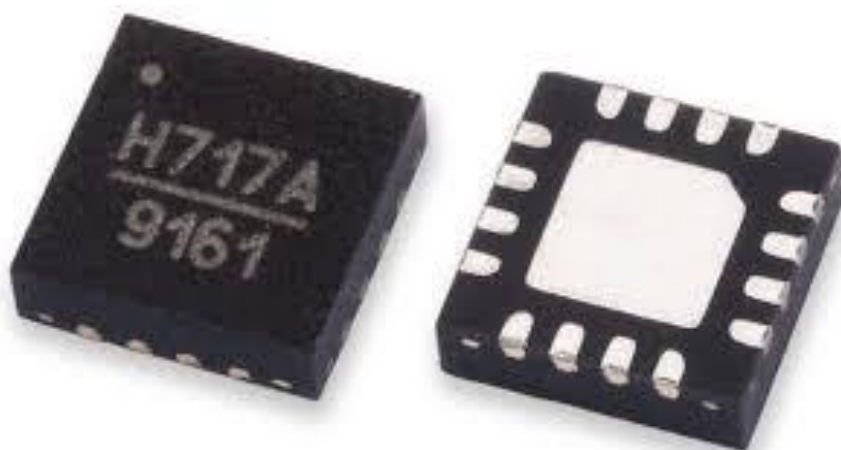


Рисунок 3.5 — HMC717ALP3E

Для забезпечення стабільної роботи пристрою передбачено використання імпульсного понижувального перетворювача напруги типу DC-DC, який здійснює перетворення з 12 В до 3,3 В, що відповідає вимогам живлення основних функціональних елементів пристрою. Перетворювач реалізовано на основі мікросхеми AP1509-33 [19], яка забезпечує вихідну напругу 3,3 В при максимальному струмі до 2 А, що є достатнім для стабільного енергоживлення системи. Для реалізації схеми живлення також використовуються пасивні елементи: неполярні конденсатори, індуктивності

					PE12.464441.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

та резистори. Усі компоненти виконано у поверхневому монтажі [20] із типорозміром 0603 (рис. 3.6), що забезпечує компактність конструкції та зручність автоматизованого складання.

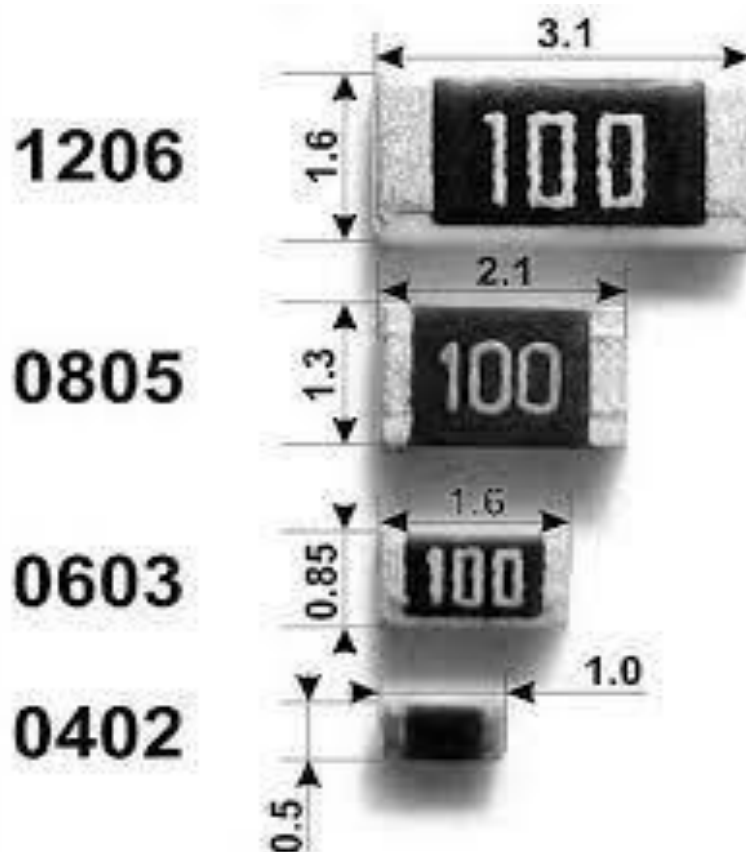


Рисунок 3.6 — Стандартні розміри SMD компонентів.

Такий малий розмір був обраний для зменшення мінімальної площі плати, оскільки через призначення та специфіку застосування пристрою ми маємо серйозне обмеження в розмірах плати та корпусу.

В процесі вибору компонентної бази було приділено увагу відповідності елементів умовам експлуатації згідно з вимогами ГОСТ 16019-2001. Обрані мікросхеми, зокрема ESP32-S2, SX1276, RTC6705, QPL9095 та AP1509-33, забезпечують стабільну роботу в температурному діапазоні від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$, що дозволяє експлуатувати пристрій у складних кліматичних умовах (категорія УХЛ1). Пасивні елементи виконані у SMD-корпусах стандарту 0603, що сприяє підвищенню вібростійкості.

3.2 Створення схеми електричної принципової

На основі обраної елементної бази, з урахуванням рекомендованих схем із технічної документації та відкритих проєктів [21, 22], була розроблена електрична принципова схема пристрою.

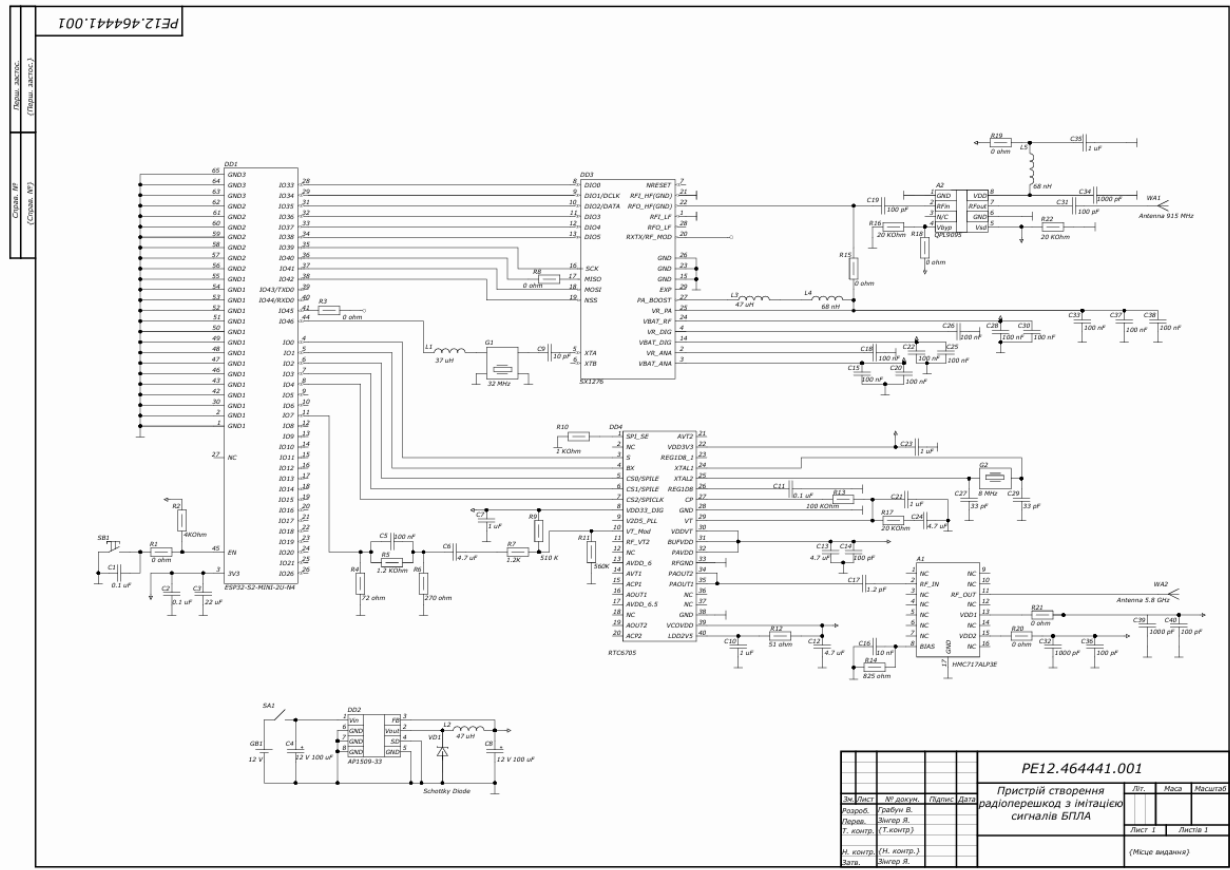


Рисунок 3.7 — Схема електрична принципова.

Згідно з принциповою схемою, основне управління двома трансиверами здійснюється за допомогою мікроконтролера ESP32-S2-MINI-2U. Завдяки наявності значної кількості цифрових виходів, а також вбудованих цифро - аналогових перетворювачів, забезпечується можливість імітації подачі відеосигналу на передавач RTC6705 [23]. Проте, враховуючи специфіку передбачуваних умов експлуатації пристрою, було прийнято рішення не реалізовувати функціональність передавання аудіо сигналу, оскільки вона не є актуальною в більшості практичних сценаріїв використання.

Крім того, оскільки перший вивід модуля RTC6705 було переведено у стан, що активує спрощений протокол вибору каналів, за допомогою виводів GPIO 0–4 реалізовано можливість вибору робочої частоти та відповідного каналу передавання сигналу.

Подібна схема використовується для обміну даними між мікроконтролером ESP та трансивером SX1276. Основна передача інформації та конфігураційних параметрів здійснюється через шину SPI. З функціональних можливостей трансивера було виключено режим прийому пакетів, оскільки в контексті розроблюваного пристрою ця функція є надлишковою та не передбачена сценарієм його експлуатації.

Після генерації радіосигналу він надходить до каскаду підсилювачів, які інтегрують у собі необхідні фільтрувальні елементи. Опісля узгоджений сигнал передається на антену для випромінювання в ефір.

У зв'язку з використанням у проєкті відкритих мікросхем трансиверів та підсилювачів, на принциповій електричній схемі детально відображено реалізацію необхідних обв'язувальних компонентів. Зокрема, передбачено встановлення фільтруючих конденсаторів на лініях живлення, а також кварцових резонаторів відповідних номіналів для забезпечення стабільної генерації опорних частот.

3.3 Висновки до розділу

У ході виконання розділу було здійснено вибір елементної бази та проведено синтез електричної принципової схеми пристрою. Підбір компонентів здійснювався з урахуванням вимог стандарту ГОСТ 16019-2001 щодо умов експлуатації електронної апаратури в зовнішньому середовищі (категорія УХЛ1). Обрані активні та пасивні елементи забезпечують необхідну температурну, вологісну та механічну стійкість пристрою. При створенні схеми було враховано рекомендації виробників, наведені в технічній документації для кожного мікроконтролера, підсилювача та допоміжних вузлів.

					<i>РЕ12.464441.001 ПЗ</i>	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 Розробка конструкції пристрою

4.1 Розробка електронного модуля

4.1.1 Визначення габаритів друкованої плати

На основі попередньо обраної елементної бази та принципової електричної схеми здійснюється розрахунок мінімально необхідної площі друкованої плати.

Для цього формується список компонентів, після чого визначається орієнтовна площа, яку займають всі електричні елементи на поверхні плати. Для створення футпрінтів та 3д моделей компонентів був використаний електронний ресурс Snap – EDA^[24].

Розрахунок мінімальної площі здійснюється за аналітичним методом, з урахуванням загальної площі елементів, відстаней між елементами, технологічних зазорів та можливості розміщення багатошарової трасування.

Оцінка виконується за формулою:

$$S_{\text{мін}} = \sum S_{\text{мг}} + \sum S_{\text{сг}} + \sum S_{\text{вг}} + \sum S_{\text{кріп}}$$

де, $S_{\text{мг}}$ – це площа малогабаритного компонента;

$S_{\text{сг}}$ – це площа середньо габаритного компонента;

$S_{\text{вг}}$ – це площа великогабаритного компонента;

$S_{\text{кріп}}$ – це площа відведена під кріплення.

Також оскільки у нас двостороння плата то ділимо мінімальну площу на 1.5

Результати розрахунків наведені в рис 4.1.

					РЕ12.464441.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Назва	Кількість	Площа 1 компоненту	Коефіцієнт	Сумарна площа	Мінімальна площа плати
QPL9095	1	8,22	1,5	12,336	1374
HMC717ALP3E	1	19,79	1,5	29,685	
C_const	38	3,64	1	138,32	
C_polar	2	44,59	1	89,178	
AP1509-33	1	47,09	1,5	70,6395	
ESP32-S2-MINI-2U-N4	1	252,40	2	504,79	
RTC6705	1	53,05	1,5	79,575	
SX1276	1	53,01	1,5	79,512	
crystal osc	1	5,88	1	5,883	
crystal osc_1	1	44,62	1	44,621	
HU2032-LF	1	55,01	1,5	82,518	
L	5	3,64	1	18,2	
R	23	3,64	1	83,72	
ON button	1	151,75	2	303,502	
button with autoback	1	73,85	1,5	110,769	
Schottky Diode	1	10,21	1	10,207	
Antenna 5.8 GHz	1	20,20	1,5	30,297	
Antenna 915 MHz	1	18,59	1	18,593	
Кріплення шурупами M2	4	43,56	2	348,48	

Рисунок 4.1 — Таблиця розрахунків площі

Виходячи з цього мінімальна площа плати є 1374 мм².

4.1.2 Розрахунок мінімальної ширини провідників

Для розрахунку мінімальної ширини провідників необхідно визначити основні ланцюги схеми та їх піковий струм.

Таблиця 4.1 — Основні ланцюги схеми та їх струм.

Назва	Струм
12V	0.55 A
3.3V	2 A
Signal	0.150 A

Згідно з даними наведеними в таблиці розрахунок буде виконано за допомогою онлайн калькулятора [25].

Current (I) 0.55 A	Ambient Temperature 25 °C ▾
Thickness (t) 0.075 mm ▾	Trace Length 40 mm ▾
Temperature Rise (T_{Rise}) 10 °C ▾	

Minimum Trace Width 	Minimum Trace Width
--------------------------------	--------------------------------

*Internal Layers: Required Trace Width (W) 6.294291673 mil ▾	*External Layers in Air: Required Trace Width (W) 0.06145635429 mm ▾
Resistance 0.05892269689 Ω	Resistance 0.1532838512 Ω
Voltage Drop 0.03240748329 V	Voltage Drop 0.08430611817 V
Power Loss 0.01782411581 W	Power Loss 0.04636836499 W

Рисунок 4.2 — Розрахунок мінімальної ширини провідника для ланцюга 12V.

Current (I)		Ambient Temperature	
2	A	25	°C v
Thickness (t)		Trace Length	
0.075	mm v	40	mm v
Temperature Rise (T _{Rise})			
20		°C v	

Minimum Trace Width

0.6229034405 mm

Minimum Trace Width

0.2394456450 mm

*Internal Layers:		*External Layers in Air:	
Required Trace Width (W)		Required Trace Width (W)	
0.6229034405	mm v	0.2394456450	mm v
Resistance		Resistance	
0.01569082145	Ω v	0.04081872806	Ω v
Voltage Drop		Voltage Drop	
0.03138164290	V v	0.08163745611	V v
Power Loss		Power Loss	
0.06276328580	W v	0.1632749122	W v

Рисунок 4.3 — Розрахунок мінімальної ширини провідника для ланцюга 3.3V.

Current (I) 0.150 A	Ambient Temperature 25 °C
Thickness (t) 0.075 mm	Trace Length 40 mm
Temperature Rise (T_{Rise}) 20 °C	
Minimum Trace Width	Minimum Trace Width
<i>*Internal Layers:</i> Required Trace Width (W) 0.6885688571 mil	<i>*External Layers in Air:</i> Required Trace Width (W) 0.006723064934 mm
Resistance 0.5588372119 Ω	Resistance 1.453781387 Ω
Voltage Drop 0.08382558178 V	Voltage Drop 0.2180672081 V
Power Loss 0.01257383727 W	Power Loss 0.03271008122 W

Рисунок 4.4 — Розрахунок мінімальної ширини провідника для ланцюга Signal.

На основі цих даних створимо таблицю з шириною провідників для

мереж.

					PE12.464441.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Таблиця 2 — Мінімальна ширина провідників в різних ланцюгах.

Назва	Ширина провідників
12V	0.07 мм
3.3V	0.24 мм
Signal	0.007 мм

4.1.3 Трасування друкованої плати

Маючи необхідні данні та реалізований проект схеми електричної принципової можна приступати до розміщення компонентів на платі та проведення трасування. Розробка електронного модулю відбувається у середовищі Altium Designer^[26].

Відповідно до технічних вимог обрано матеріал: FR-4 75/1 2, що означає — плату буде виготовлено з склотекстоліту FR-4 з товщиною металізації 75 нм та товщиною плати 1 мм. Отже плата буде двостороння монтаж елементів буде здійснюватися з двох сторін ДП. ДП відповідатиме 1 класу згідно IPC 6011.

Перший крок — внесення змін в Layer Stack Manager (рис. 4.4)

#	Name	Material	Type	Weight	Thickness	Dk	Df
	Top Overlay		Overlay				
	Top Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.01mm	3.5	
1	Top Layer		Signal	1oz	0.075mm		
	Dielectric 1	FR-4	Dielectric		1mm	4.8	
2	Bottom Layer		Signal	1oz	0.075mm		
	Bottom Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.01mm	3.5	
	Bottom Overlay		Overlay				

Рисунок 4.5 — Задані параметри товщини плати та матеріалів в Layer Stack Manager.

Після цього створюється плата згідно з розрахунками наведеними вище, виділивши трошки місця для трасування та перехідних отворів створюється плата розмірами 40x40 мм. Розводка землі з обох сторін плати буде реалізована заливкою полігонів.

					PE12.464441.001 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результати трасування наведені на рис. 4.6 – 4.7.

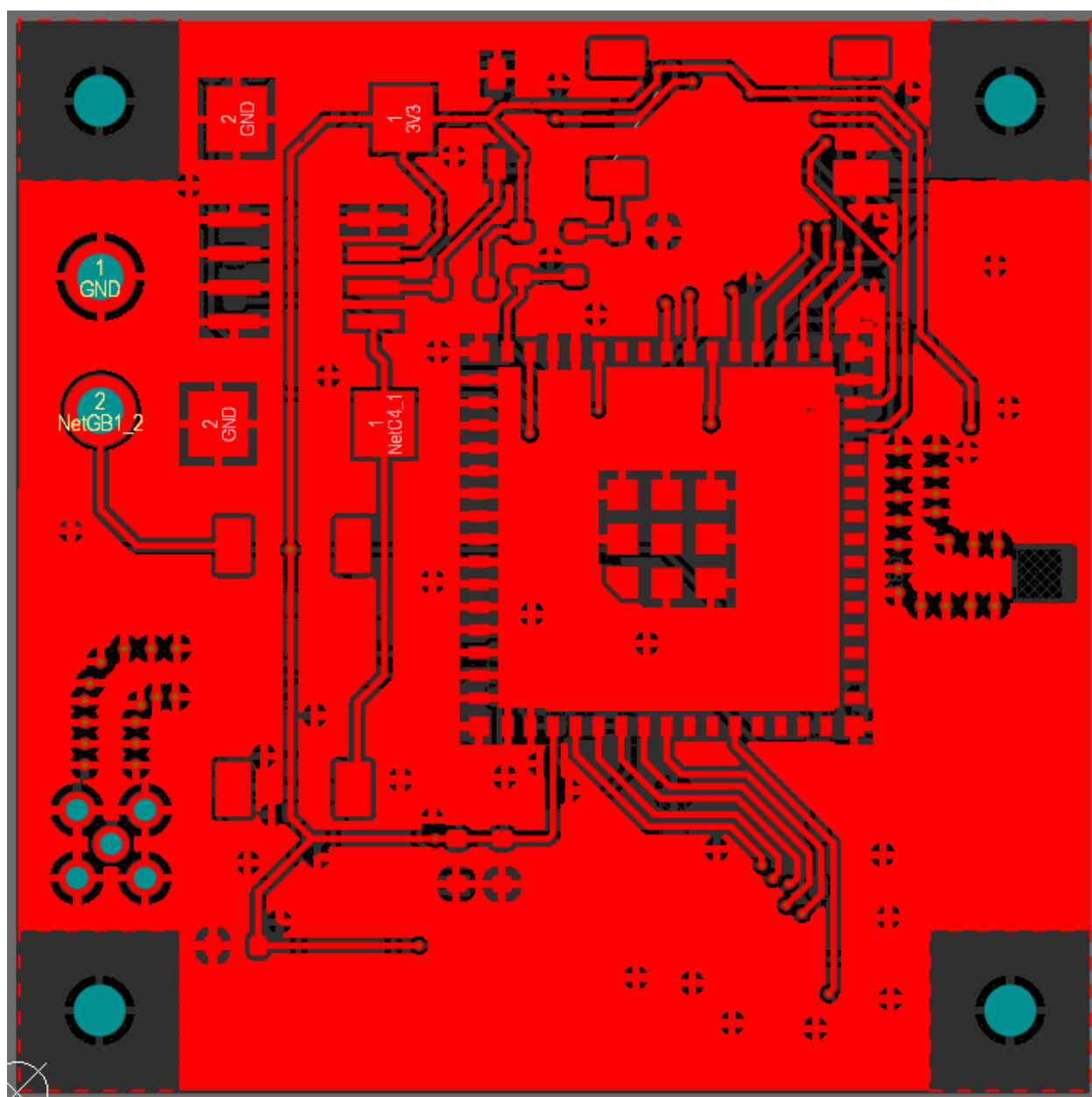


Рисунок 4.6 — Трасування ДП у верхньому шарі.

					РЕ12.464441.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

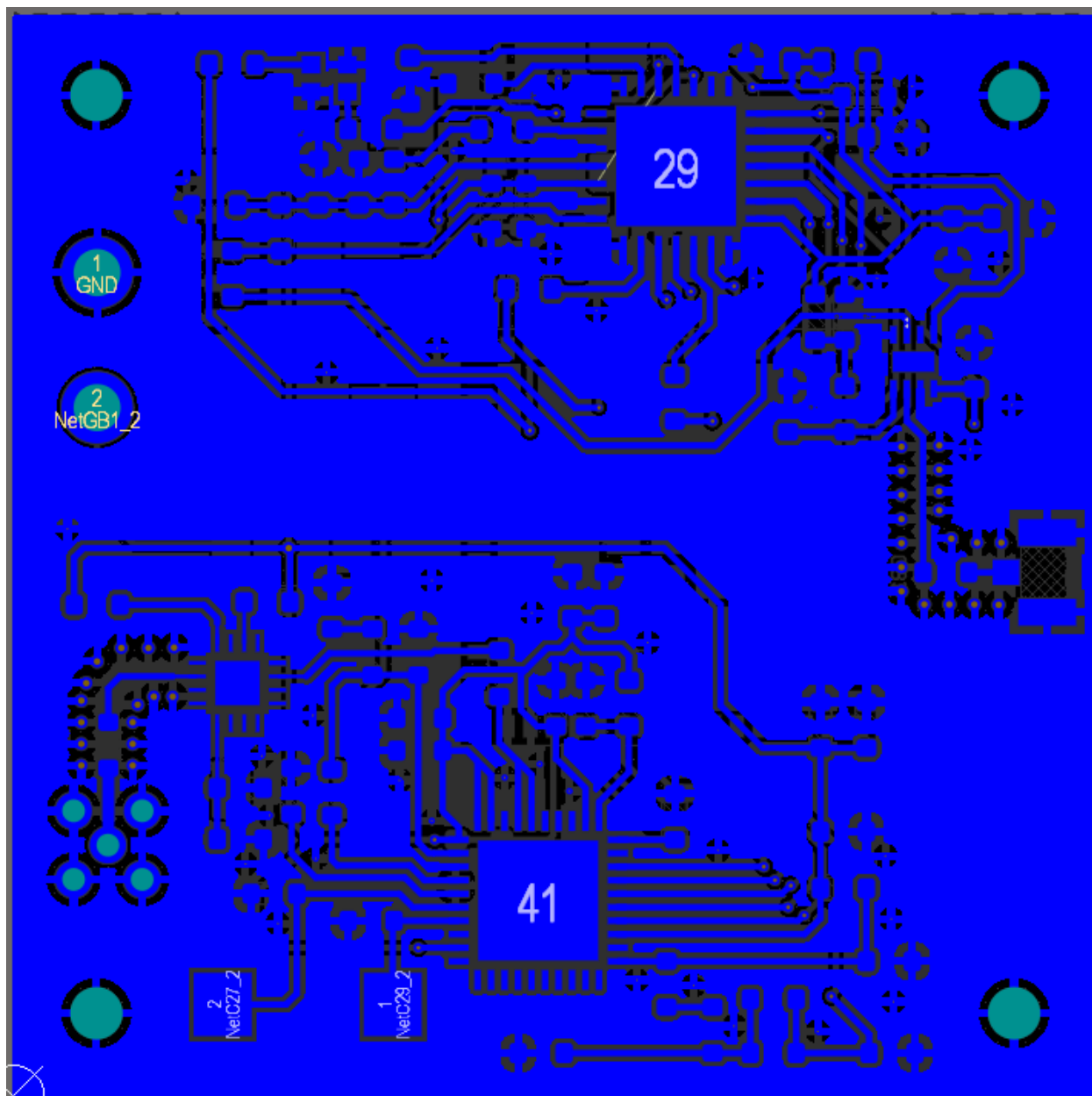


Рисунок 4.7 — Трасування ДП у нижньому шарі.

За допомогою функції огляду в 3D ми можемо побачити як буде виглядати фінальний електронний модуль. Це наведено на рис. 4.8 – 4.9.

					РЕ12.464441.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

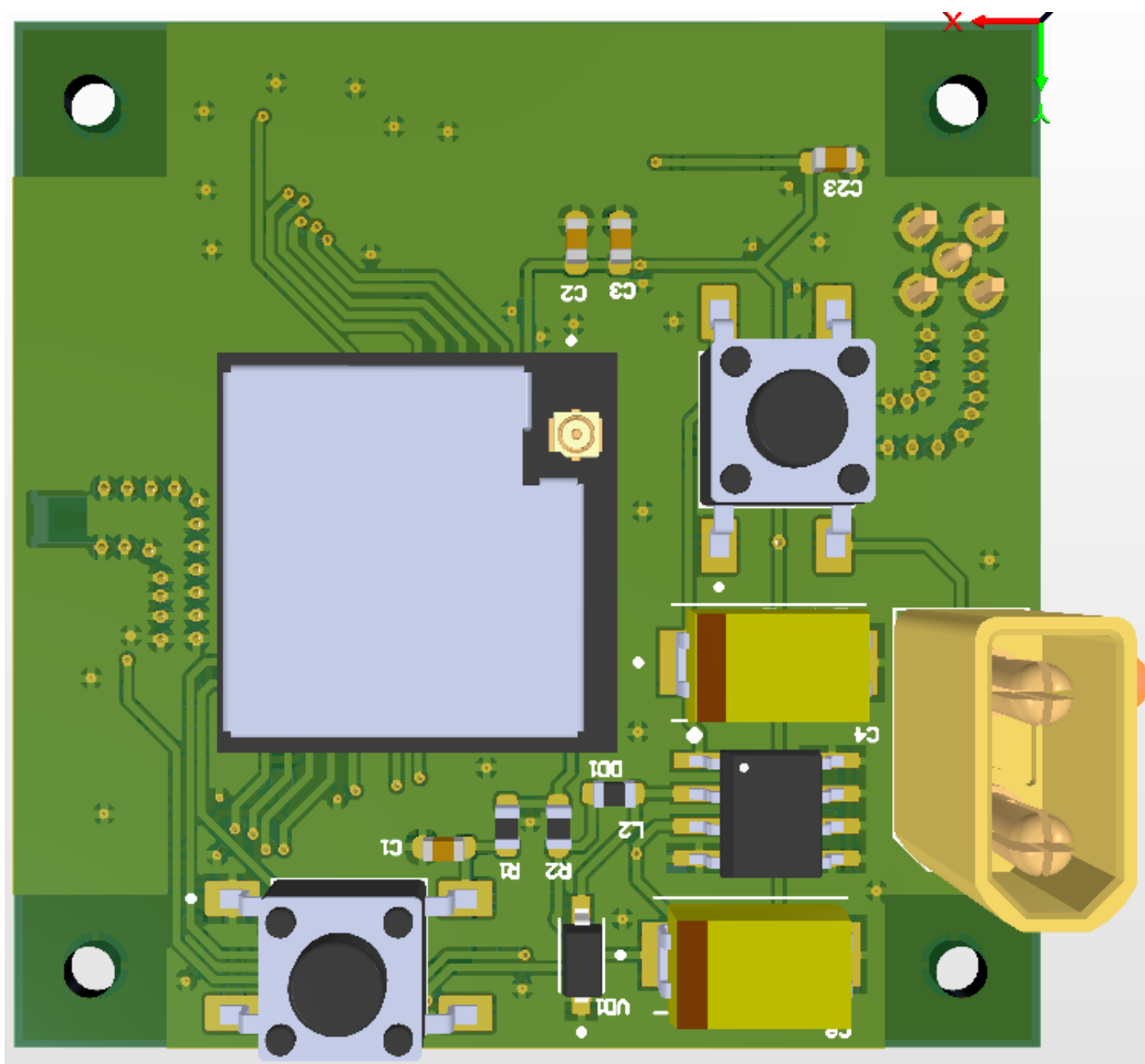


Рисунок 4.8 — Фінальний вигляд ЕМ згори.

					РЕ12.464441.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

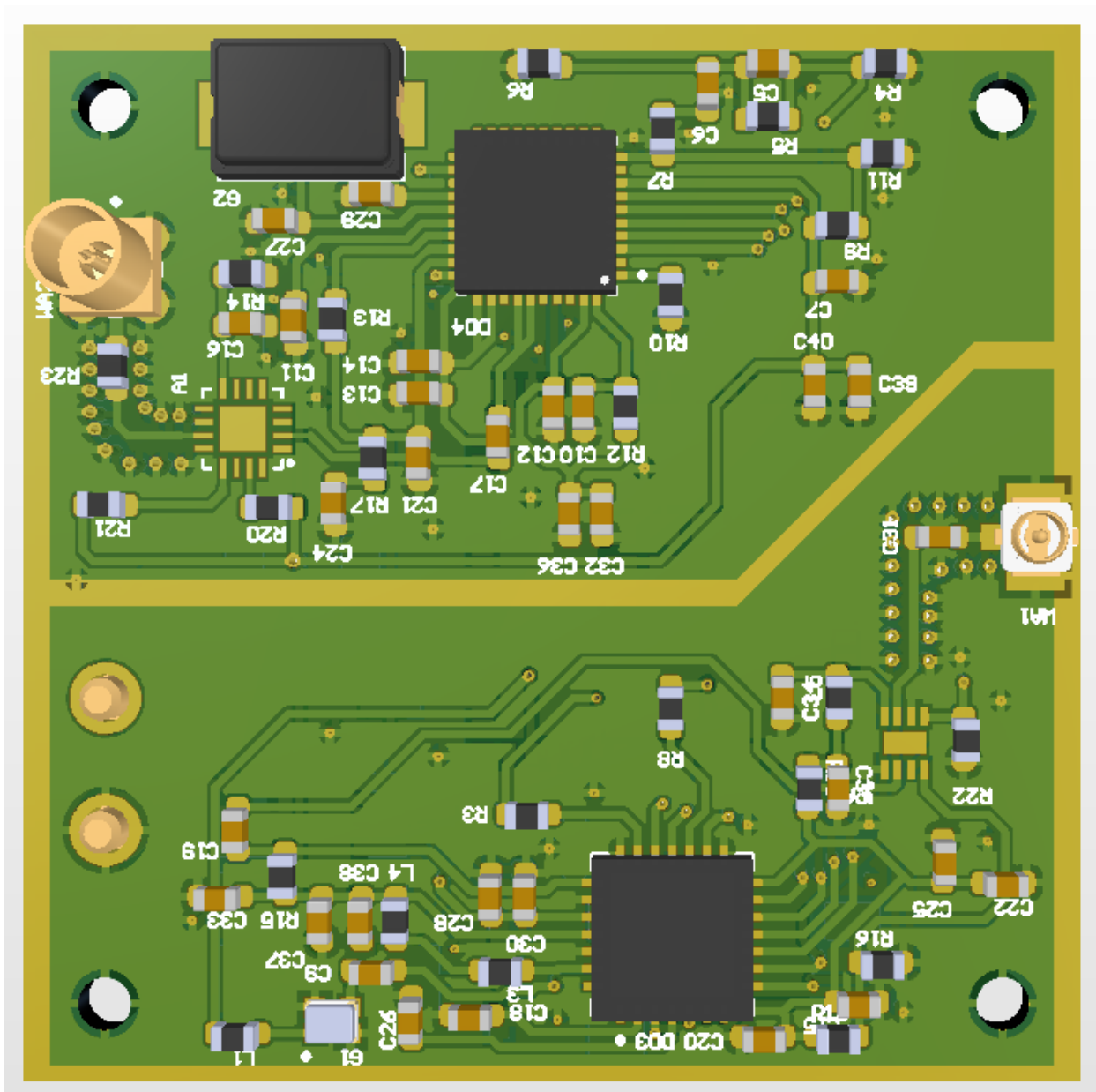


Рисунок 4.9 — Фінальний вигляд ЕМ знизу.

4.2 Розробка корпусу пристрою

Оскільки пристрій має специфічну сферу застосування, під час його розроблення виникла необхідність створення корпусу, що, окрім забезпечення захисту електронного модуля, виконує функцію маскування, відповідно до положень, викладених у підрозділі 1.2 «Розгляд можливих варіантів корпусу».

З урахуванням аналізу можливих конструктивних рішень було прийнято рішення щодо імітації корпусом форми кумулятивного боєприпасу типу ПГ-7В. Орієнтовні габаритні розміри взято з відкритого джерела [27]. Зазначені в

					РЕ12.464441.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

джерелі розміри враховують наявність реактивного двигуна, однак з огляду на особливості транспортування за допомогою БПЛА, цей елемент у конструкції корпусу не передбачено.

Проектування корпусу здійснюється з урахуванням вимог до ступеня захисту щонайменше IP57, що забезпечить працездатність пристрою в польових умовах незалежно від погодних впливів.

Для виготовлення прототипу корпусу рекомендовано використовувати технології 3D друку. У випадку виготовлення серійного продукту найкращім варіантом буде метод лиття під тиском. Для забезпечення оптимального виконання функціонального призначення пристрою, а також з метою виготовлення дослідного зразка корпусу, рекомендовано застосування матеріалу ABS+ [28].

Вибір зазначеного матеріалу обґрунтований його високими показниками міцності, жорсткості та ударостійкості, що дозволяє забезпечити захист внутрішніх електронних компонентів під час експлуатації в умовах підвищених механічних навантажень.

Корпус, виготовлений із ABS+, має витримувати вертикальне падіння з висоти до 30 м без критичних пошкоджень функціональних елементів, зберігаючи цілісність електронного модуля, а також забезпечуючи його герметичність відповідно до ступеня захисту не нижче IP57, що гарантує стійкість до проникнення пилу та води в умовах польового застосування.

Для надійного механічного кріплення електронного модуля в конструкції корпусу передбачено застосування жорсткої фіксації за допомогою чотирьох гвинтів типу M2, розташованих по периметру друкованої плати.

Незважаючи на жорсткий характер кріплення, під час падіння модуля ризик виникнення критичних пошкоджень мінімальний, оскільки на друковану плату не передається суттєвих механічних навантажень. Розробка корпусу буде відбуватись у середовищі SOLID – Works [29].

Результати розробку корпуси наведені на зображеннях нижче.

					<i>PE12.464441.001 ПЗ</i>	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

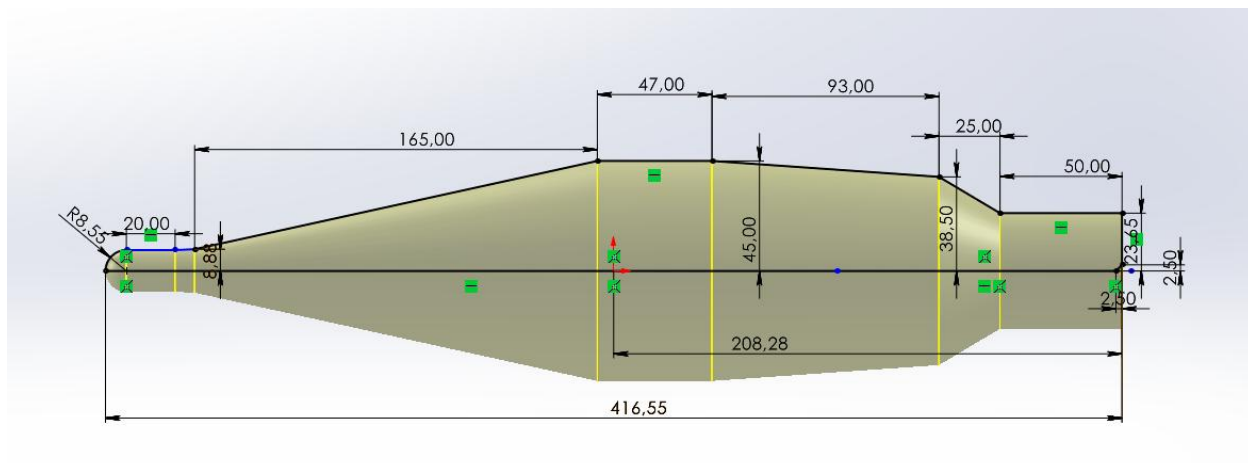


Рисунок 4.8 — Габаритні розміри корпусу.

Як видно з рис. 4.8 корпус має довжину в 416.55 мм та діаметр 90 мм.

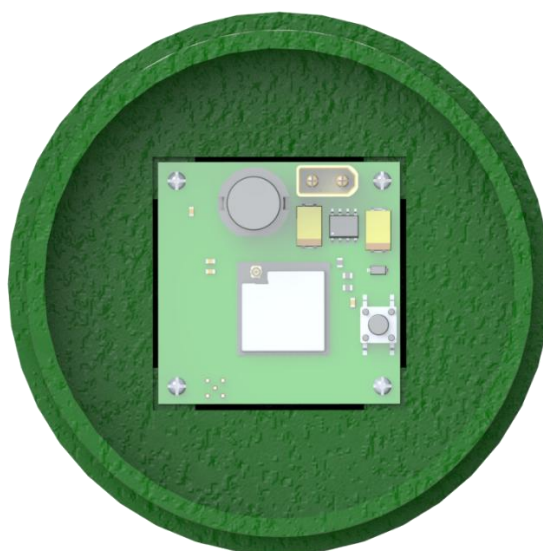


Рисунок 4.9 — Кріплення електронного модулю до корпусу.

					РЕ12.464441.001 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

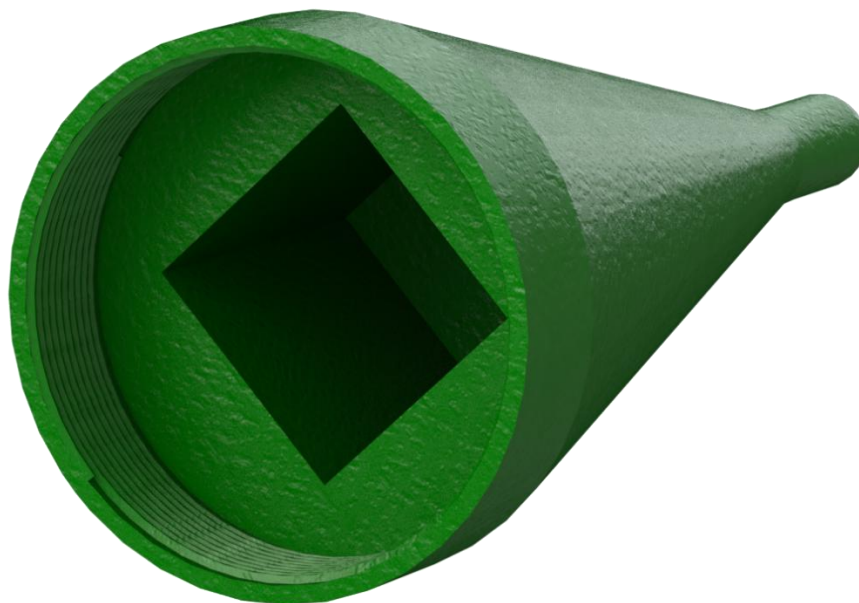


Рисунок 4.10 — Відсік для акумулятора.

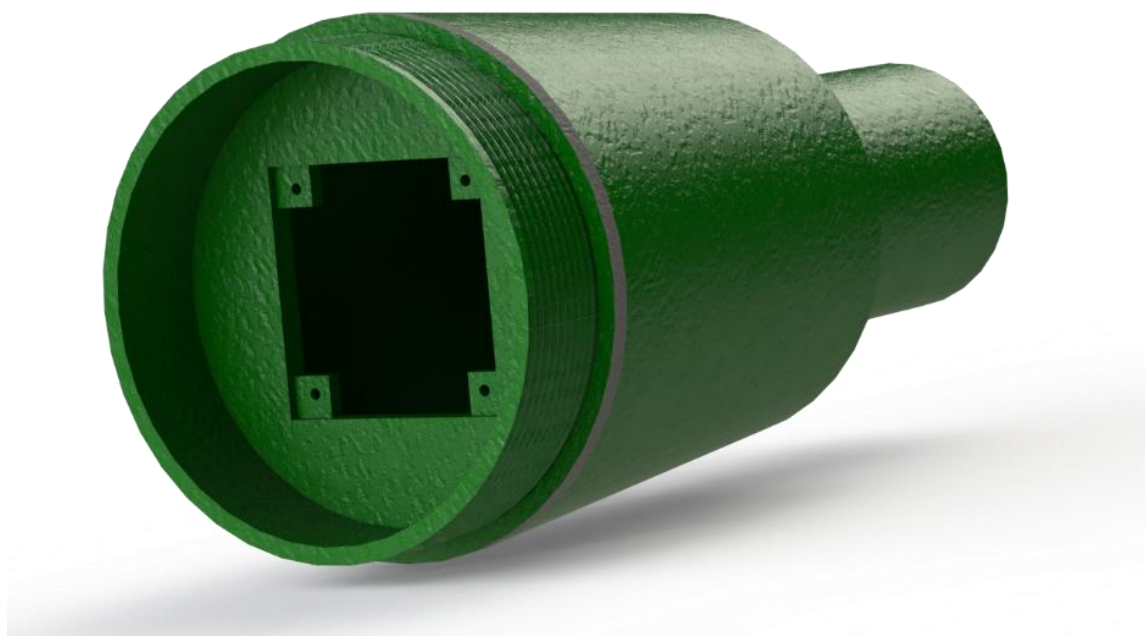


Рисунок 4.11 — Відсік відведений для виводу і кріплення антен.

					РЕ12.464441.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41



Рисунок 4.12 — Розібраний корпус.

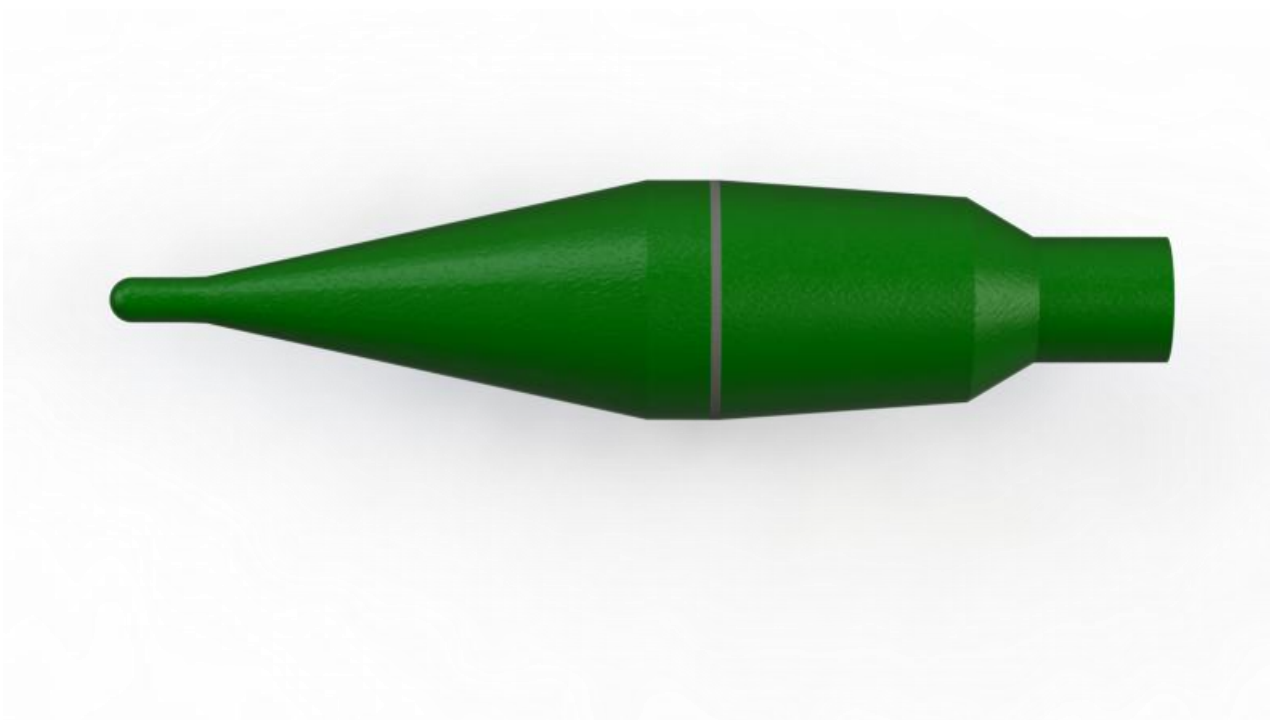


Рисунок 4.13 — Загальний вигляд корпусу в зібраному стані.

					РЕ12.464441.001 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як показано на рисунку 4.12, конструкція корпусу складається з двох частин, що з'єднуються за допомогою різьбового з'єднання. Для забезпечення герметизації на кінці з'єднання розташований гумова прокладка. Застосування такого конструктивного рішення забезпечує герметичність корпусу та надійність фіксації його складових. Окрім того, внутрішній об'єм конструкції розділено на окремі функціональні відсіки: для встановлення акумуляторної батареї та для монтажу антен. Відсіки виконано з урахуванням можливості використання різних типів антен і акумуляторів. Розрахункова конфігурація елемента живлення — акумуляторна батарея типу 3S1P ємністю 3500 мА·год. Згідно з розрахунками цієї батареї вистачить для забезпечення автономної роботи пристрою протягом до 9 повних годин за середнього споживання потужності 1.6 Вт.

Згідно з даними з даташитів споживання компонентів схеми:

- a) ESP32-S2-MINI: 200 мВт
- b) SX1276: 120 мВт
- c) RTC6705: 800 мВт
- d) QPL9095: 200 мВт
- e) HMC717ALP3E: 150 мВт
- f) Інша логіка, стабілізатори, шини даних, тощо: 130 мВт

Виходячи з цього сумарне споживання: $P_{\text{сум}} = 200 + 120 + 800 + 200 + 150 + 130 = 1.6 \text{ Вт}$.

Ємність акумулятора $= 3.5 \cdot 11.5 = 38.85 \text{ Вт} \cdot \text{год}$.

Зважаючи на не ідеальне ККД пристрою, та згідно з даташитами контролерів середнє ККД $= 40\%$, тому врахуємо це в загальній ємності батареї.

Ємність враховуючи ККД $= 38.85 \cdot 0.4 = 15.5 \text{ Вт} \cdot \text{год}$.

З цього виходить що час автономної роботи пристрою при постійному навантаженні $= 15.5 \div 1.6 = 9.7 \text{ год}$.

Відсік для антен дозволяє змінювати їхнє розташування та конфігурацію відповідно до поставлених завдань.

					<i>РЕ12.464441.001 ПЗ</i>	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Активация пристрою здійснюється вручну шляхом розгвинчування корпусу, після чого користувач отримує доступ до елементів керування, розміщених усередині. Основним елементом активації є кнопка увімкнення, яка запускає послідовність ініціалізації електронного модуля та підготовки пристрою до виконання заданого алгоритму роботи. Окрім цього, поряд із кнопкою увімкнення розташовано кнопку скидання (Reset), яка виконує функцію переведення пристрою в режим конфігурації.

4.3 Висновки до розділу.

Було створення друковану плату та корпус під неї. При розробці плати було розраховано мінімальну площу плати, та обрано розміри згідно з розрахунками, 40x40 мм. Для оптимального використання площі плати було розраховано мінімальну допустиму ширину провідника, трасування було виконано в узгодженні з розрахунком. Корпус розроблено на основі геометрії снаряда до ПГ-7В з урахуванням вимог до міцності, герметичності та маскування. Внутрішній простір розділено на відсіки для акумулятора та антен. Передбачено доступ до елементів керування пристроєм.

					<i>РЕ12.464441.001 ПЗ</i>	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломного проекту проведено огляд існуючих систем детекції безпілотних літальних апаратів, проти яких має функціонувати розроблюваний пристрій. На основі результатів аналізу сформульовано загальні технічні вимоги до пристрою, зокрема:

- а) робочі діапазони частот: 800 — 1000 МГц та 5,5 — 5,8 ГГц;
- б) рівні потужності випромінювання: 10 — 250 мВт для діапазону 800 — 1000 МГц, 25 — 1500 мВт для діапазону 5,5 — 5,8 ГГц;
- с) тривалість автономної роботи — до 9 год;
- д) ступінь захисту корпусу згідно з класифікацією IP — не нижче IP57;
- е) конструкція корпусу повинна забезпечувати маскування пристрою від візуального виявлення.

У процесі аналізу схемотехнічних рішень та розробки структурної й принципової електричної схем визначено перелік необхідних логічних компонентів для забезпечення функціональної та енергетичної ефективності пристрою.

Розраховано мінімальну площу друкованої плати та оптимізовано ширину провідників, що дозволило досягти компактних розмірів — 40×40 мм.

Після завершення проектування електронного модуля розроблено конструкцію корпусу, яка задовольняє встановлені вимоги.

Корпус виконано на основі геометрії корпусу снаряду типу ПГ-7В; габаритні розміри — 416,55×90 мм.

Дві частини корпусу з'єднуються за допомогою різьбового з'єднання, що забезпечує герметичність та механічну надійність.

Конструктивні та ергономічні рішення передбачають наявність простору для монтажу антен різного типу відповідно до конкретного сценарію застосування.

Розробка пристрою виконувалась в узгоджені зі стандартами ГОСТ 16019-2001 (УХЛ 1). Використані компоненти, розміри плати,

					<i>РЕ12.464441.001 ПЗ</i>	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матеріали виконання плати, та корпусу, а також метод кріплення електронного модулю задовольняють вимоги умов експлуатації УХЛ 1.

					<i>РЕ12.464441.001 ПЗ</i>	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Пристрій радіоелектронної розвідки "Чуйка 2.0" від BlueBird (1,3 ГГц та 5,8 ГГц). URL: <https://www.blue-bird.tech/produkcziya/chujka-2-0/>.
2. Детектор дронів 0.9, 1.2, 2.4, 4.9 - 6.0 Ghz MDDSR1 «Ксеон-L». URL: <https://bezpeka-veritas.in.ua/ua/p2456104986-detektor-dronov-ghz.html>.
3. Детектор дронів "Тенета Pro". URL: <https://bezpeka-veritas.com.ua/detektor-droniv-teneta-pro-tsukorok-400mhts-1050mhts-2.4hhts/>.
4. Telegram-канал «Потужний інформатор». URL: https://t.me/ukr_informant/12150.
5. Тарас С. Окупанти почали ставити світлофори-детектори FPV. *Militarnyi*. 09.12.2024. URL: <https://militarnyi.com/uk/news/okupanty-pochaly-stavyty-svitlofory-detektory-fpv/>.
6. Шрапнельний скид для FPV-дрону SH-F3-HE. URL: <https://saper.in.ua/ua/p2114391842-shrapnelnyj-sbros-dlya.html>.
7. Росіяни лякають FPV-дронами з потужними протипіхотними мінами: чим вони загрожують ЗСУ. *Фокус*. URL: <https://focus.ua/uk/digital/556415-rossiyane-pugayut-fpv-dronami-s-moshchnymi-protivopehotnymi-minami-chem-oni-grozyat-vsu-video>.
8. FPV-дрон (зброя). *Вікіпедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/FPV-%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%BD_%28%D0%B7%D0%B1%D1%80%D0%BE%D1%8F%29.
9. *ExpressLRS*. URL: <https://www.expresslrs.org/faq/>.
10. LoRa. *Вікіпедія*. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/LoRa>.
11. Git Hub. URL: <https://github.com/>.
12. PCB/2400MHz/TX_SX1280_Tiny/img/Schematic.png. *GitHub*. URL: https://github.com/ExpressLRS/ExpressLRSHardware/blob/master/PCB/2400MHz/TX_SX1280_Tiny/img/Schematic.png.

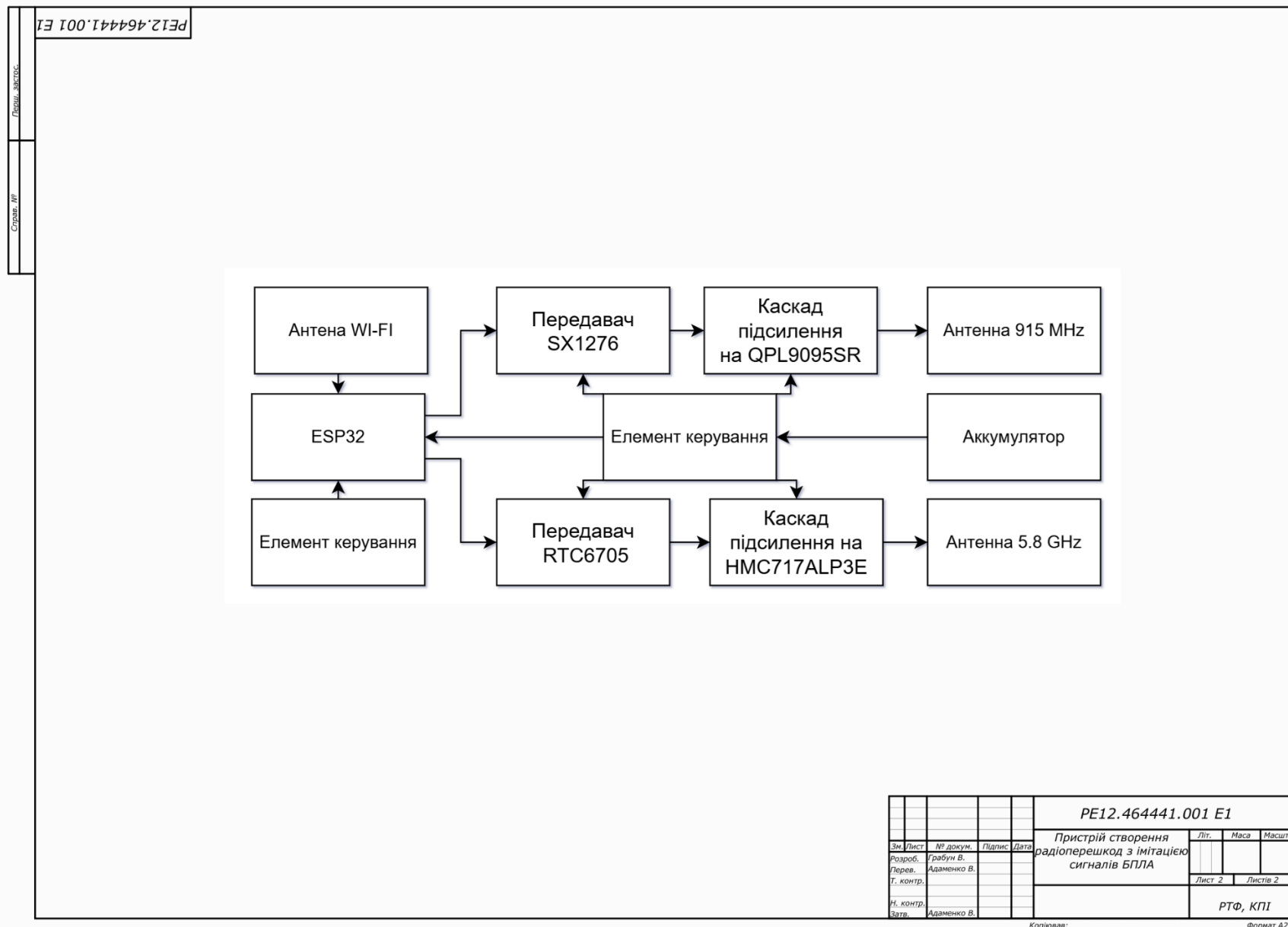
					РЕ12.464441.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

13. SX1276 Datasheet (PDF) - Semtech Corporation. *Alldatasheet.com*. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/800239/SEMTECH/SX1276.html>.
14. Datasheet. Espressif.com. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s2_datasheet_en.pdf.
15. Datasheet. ESP32. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s2-mini-2_esp32-s2-mini-2u_datasheet_en.pdf.
16. Serial Peripheral Interface. *Bikinedia*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface.
17. Datasheet. Eu.mouser.com. URL: https://eu.mouser.com/datasheet/2/412/QPL9095_Data_Sheet-1505518.pdf.
18. RTC6705 CMOS 5.8GHz Band FM Transmitter. URL: <https://wildlab.org/wp-content/uploads/2015/07/RTC6705-DST-001.pdf>.
19. Datasheet. Alldatasheet.com. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/900016/AD/HMC717ALP3E.html>.
20. Datasheet. Diodes incorporated. URL: <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/AP1509.pdf>.
21. Поверхневий монтаж. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D0%BD%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D0%B9_%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%B6.
22. FPV Modules 5.8GHz. FM-ATV Projects. URL: <https://fm-atv.nl/2025/04/19/2500mw-5-8ghz-transmitter-mods/>.
23. Custom LoRa SX1276 schematic design considerations for 868MHz. Stackexchange. URL: <https://electronics.stackexchange.com/questions/729904/custom-lora-sx1276-schematic-design-considerations-for-868mhz>.

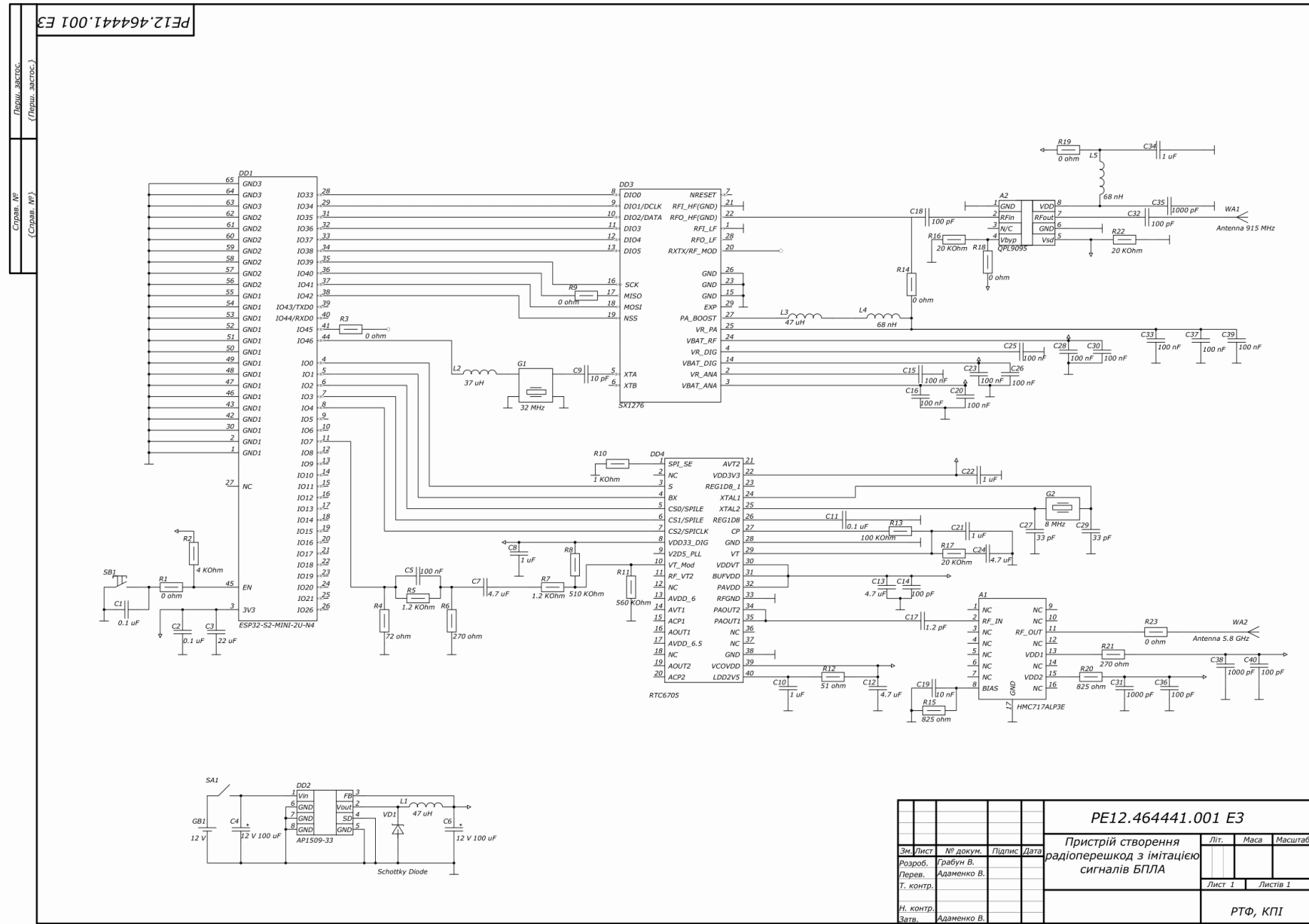
24. Yes, Your ESP32 Can Output Composite Video, and Bitluni Will Show You How. Hackster.io. URL: <https://www.hackster.io/news/yes-your-esp32-can-output-composite-video-and-bitluni-will-show-you-how-dac05e1f6e94>.
25. SNAP EDA. URL: <https://www.snapeda.com/home/>.
26. PCB Trace Width Calculator. PCBway. URL: https://www.pcbway.com/pcb_prototype/trace-width-calculator.html.
27. PCB Designer. Altium. URL: https://www.altium.com/altium-designer?srsltid=AfmBOopyyUtuymnsZT4jUNBH79fkLFLjeSQh1OxjFny9CVv5pH1_E9j_.
28. 40 mm PG-7VL Round with High-Explosive Anti-tank Grenade PG-7L (HEAT) For 40 mm Hand Grenade Launcher RPG-7V. Arkon Partners LTD. URL: <https://arconpartners.net/products/ammunition/grenade-launchers/40-mm-pg-7vl-round-with-high-explosive-anti-tank-grenade-pg-7l-heat-for-40-mm-hand-grenade-launcher-rpg-7v/>.
29. What is ABS plastic ? Is ABS material good, safe to use ?. Hoang Phat Plastic. URL: <https://hoangphatplastic.com/en/what-is-abs-plastic/>.
30. SOLIDWorks. URL: <https://www.solidworks.com/>.

					<i>PE12.464441.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

ДОДАТОК А СХЕМА СТРУКТУРНА



ДОДАТОК Б СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА



ДОДАТОК В ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ

Позн.		Найменування			Кіл.	Примітки			
		Підсилювачі							
A2		QPL9095			1				
A1		HMC717ALP3E			1				
		Конденсатори							
C1, C2		100nF 50V X7R 10% 0603 4k/reel (C0603B104K500NT-Hitano)			2				
C3		22uF 6,3V X5R 20% 0603 (CL10A226MQ8NRNC – Samsung)			1				
C4		100uF 16V size-D 10% (TAJD107K016RNJ-AVX)			1				
C5		100nF 50V X7R 10% 0603 4k/reel (C0603B104K500NT-Hitano)			1				
C6		100uF 16V size-D 10% (TAJD107K016RNJ-AVX)			1				
C7		4,7uF 6,3V X5R 10% 0603 (CL10A475KQ8NNNC-Samsung)			1				
C8		1uF 25V X7R 10% 0603 (CL10B105KA8NNNC – Samsung)			1				
C9		10pF 50V NP0 5% 0603 4k/reel (C0603N100J500NT-Hitano)			1				
C10		1uF 25V X7R 10% 0603 (CL10B105KA8NNNC – Samsung)			1				
C11		100uF 16V size-D 10% (TAJD107K016RNJ-AVX)			1				
C12, C13		4,7uF 6,3V X5R 10% 0603 (CL10A475KQ8NNNC-Samsung)			2				
C14		100pF 50V NP0 5% 0603 4k/reel (CC0603JRNPO9BN101 – Yageo)			1				
					PE12.464442.001ПЕ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Грабун			Перелік елементів		Лім.	Арк.	Аркушів
Перевір.								1	5
Реценз.							КПІ ім. Ігоря Сікорського, РТФ		
Н.Контр									
Затверд.									

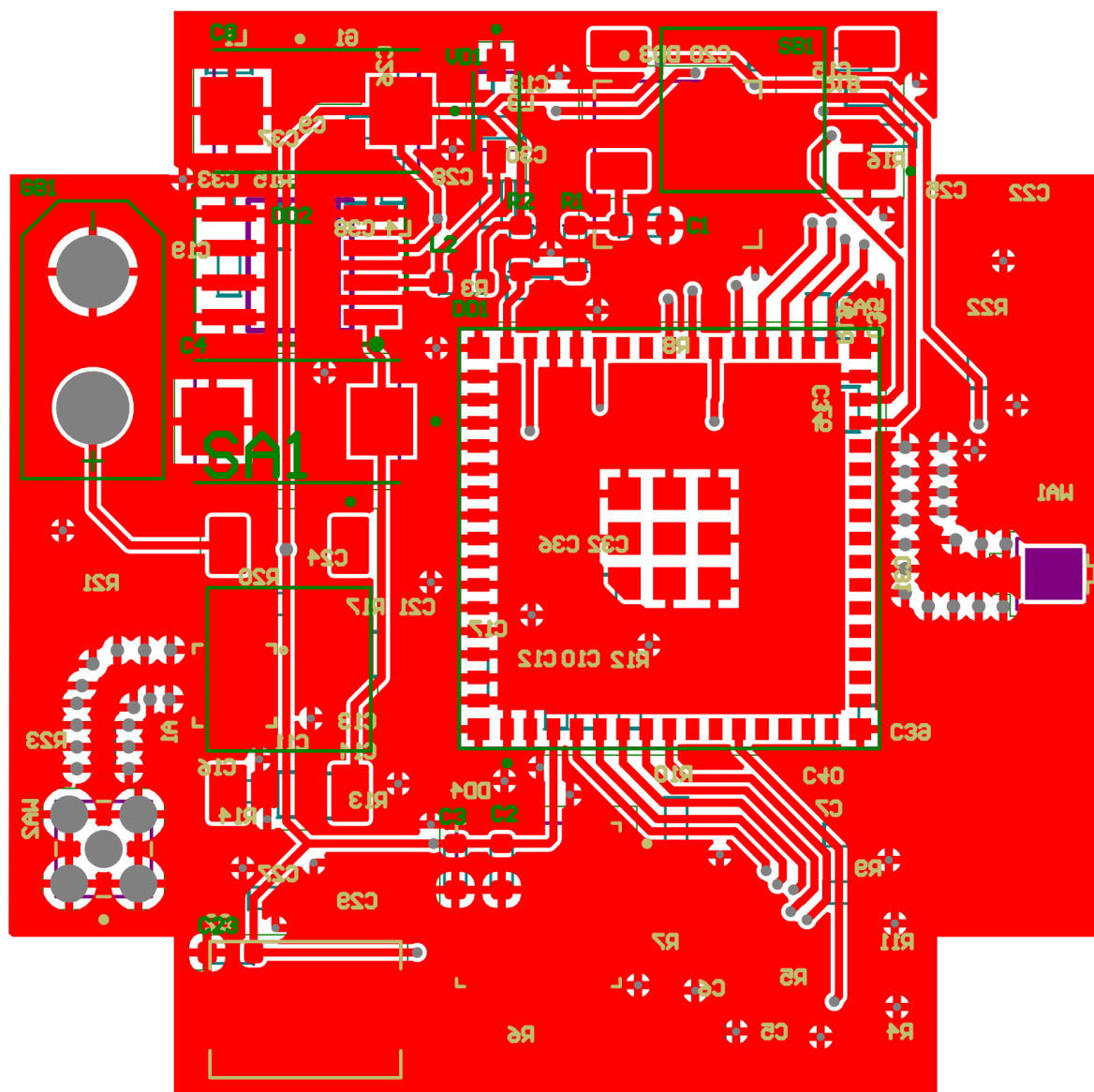
Позн.	Найменування	Кіл.	Примітки			
C15, C16	100nF 50V X7R 10% 0603 4k/reel (C0603B104K500NT-Hitano)	2				
C17	1,2pF 50V NP0 0,25pF 0603 4k/reel (C0603N1R2C500NT-Hitano)	1				
C18	100pF 50V NP0 5% 0603 4k/reel (CC0603JRNPO9BN101 – Yageo)	1				
C19	10nF 50V X7R 10% 0603 4k/reel (C0603B103K500NT-Hitano)	1				
C20	100nF 50V X7R 10% 0603 4k/reel (C0603B104K500NT-Hitano)	1				
C21, C22	1uF 25V X7R 10% 0603 (CL10B105KA8NNNC – Samsung)	2				
C23	100nF 50V X7R 10% 0603 4k/reel (C0603B104K500NT-Hitano)	1				
C24	4,7uF 6,3V X5R 10% 0603 (CL10A475KQ8NNNC-Samsung)	1				
C25, C26	100nF 50V X7R 10% 0603 4k/reel (C0603B104K500NT-Hitano)	2				
C27	33nF 50V X7R 10% 0603 4k/reel (C0603B333K500NT-Hitano)	1				
C28	100nF 50V X7R 10% 0603 4k/reel (C0603B104K500NT-Hitano)					
C29	33nF 50V X7R 10% 0603 4k/reel (C0603B333K500NT-Hitano)	1				
C30	100nF 50V X7R 10% 0603 4k/reel (C0603B104K500NT-Hitano)	1				
C31	1nF 50V NP0 5% 0603 (CL10C102JB8NNNC – Samsung)	1				
C32	100pF 50V NP0 5% 0603 4k/reel (CC0603JRNPO9BN101 – Yageo)	1				
C33	100nF 50V X7R 10% 0603 4k/reel (C0603B104K500NT-Hitano)	1				
C34	1uF 25V X7R 10% 0603 (CL10B105KA8NNNC – Samsung)	1				
C35	1nF 50V NP0 5% 0603 (CL10C102JB8NNNC – Samsung)	1				
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата	PE12.464442.001ПЕ	Арк.
						2

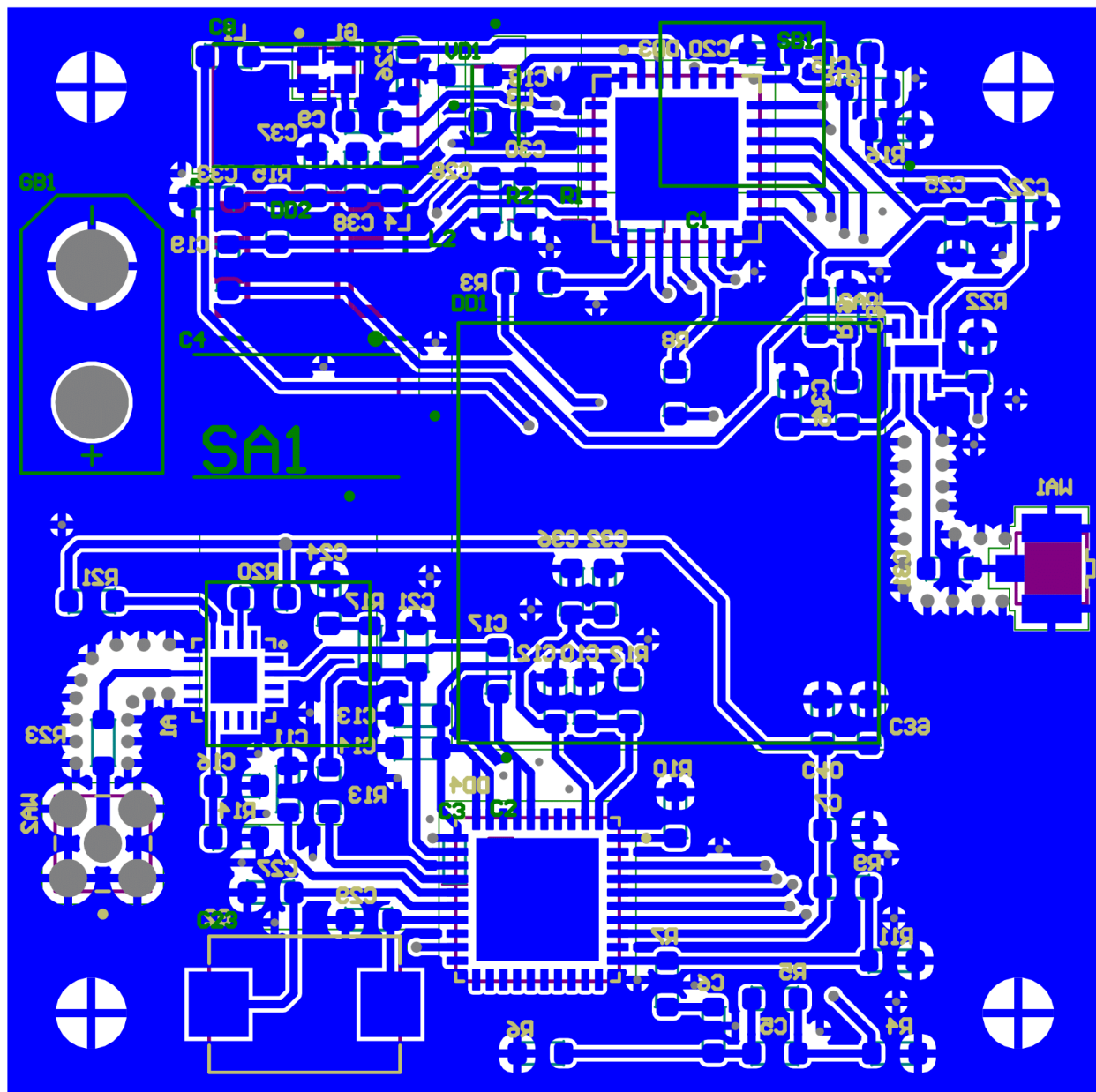
[illegible]

Позн.	Найменування	Кіл.	Примітки					
	Резистори							
R1	0 Ohm 5% 0,1W 50V 0603 (RC0603JR-0R-Hitano)	1						
R2	4,02 kOhm 1% 0,1W 50V 0603 (RC0603FR-4K02-Hitano)	1						
R3	0 Ohm 5% 0,1W 50V 0603 (RC0603JR-0R-Hitano)	1						
R4	71,5 Ohm 1% 0,1W 50V 0603	1						
R5	1,2 kOhm 5% 0,1W 50V 0603 (RC0603JR-1K2-Hitano)	1						
R6	270 Ohm 5% 0,1W 50V 0603 (RC0603JR-270R-Hitano)	1						
R7	1,2 kOhm 5% 0,1W 50V 0603 (RC0603JR-1K2-Hitano)	1						
R8	510 kOhm 5% 0,1W 50V 0603 (RC0603JR-510K0-Hitano)	1						
R9	0 Ohm 5% 0,1W 50V 0603 (RC0603JR-0R-Hitano)	1						
R10	1 kOhm 5% 0,1W 50V 0603 (RC0603JR-1KR-Hitano)	1						
R11	560 kOhm 5% 0,1W 50V 0603 (RC0603JR-560K0-Hitano)	1						
R12	51 Ohm 5% 0,1W 50V 0603 (RC0603JR-51R-Hitano)	1						
R13	100 kOhm 5% 0,1W 50V 0603 (RC0603JR-100KR-Hitano)	1						
R14	0 Ohm 5% 0,1W 50V 0603 (RC0603JR-0R-Hitano)	1						
R15	825 Ohm 1% 0,1W 50V 0603 (RC0603FR-825R-Hitano)	1						
R16, R17	20 kOhm 5% 0,1W 50V 0603 (RC0603JR-20K0-Hitano)	2						
R18,R19	0 Ohm 5% 0,1W 50V 0603 (RC0603JR-0R-Hitano)	2						
R20	825 Ohm 1% 0,1W 50V 0603 (RC0603FR-825R-Hitano)	1						
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата	РЕ12.464442.001ПЕ			Арк.
								4

[illegible]

ДОДАТОК Г ДРУКОВАНА ПЛАТА





ДОДАТОК Д КОРПУС

