

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

**Радіотехнічний факультет
Кафедра радіотехнічних систем**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

 Сергій ЖУК

« 16 » 06 _____ 2025 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньою програмою «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи»

спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

**на тему: «Модуль радіопередачі аналогового відеосигналу з частотною
модуляцією»**

Виконав:

студент IV курсу, групи РС-11

Євтух Владислав Віталійович

Керівник:

ст. викл. каф. РТС, к.т.н,

Неуймін Олександр Станіславович



Рецензент:

Доцент кафедри ПРЕ, к.т.н., доц

Шульга Аліна Вікторівна

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 радіотехнічних систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітня програма «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

СМЧ Сергій ЖУК

« 14 » 04 _____ 2025р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту
Євтуху Владиславу Віталійовичу

1. Тема проєкту «Модуль радіопередачі аналогового відеосигналу з частотною модуляцією»,

керівник проєкту Неуймін Олександр Станіславович, ст. викл. каф. РТС, к.т.н, затверджені наказом по університету від «29» травня 2025 р. № 1840-с

2. Термін подання студентом проєкту 16.06.2025

3. Вихідні дані до проєкту

Розробити модуль радіопередачі аналогового відеосигналу з частотною модуляцією, частота 5,8 ГГц, вихідна потужність – не менше 0,5 Вт, пасивне охолодження.

4. Зміст пояснювальної записки Вступ, аналіз завдання, огляд існуючих рішень, розробка структурної схеми, обґрунтування та вибір елементної бази, проєктування електронного модуля, висновки.

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

Структурна схема пристрою, схема електрична принципова пристрою, друкована плата (деталювання), друкована плата (складальник), кресленик корпусу пристрою, презентація.

6. Консультанти розділів проекту*

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

7. Дата видачі завдання 14.05.2025

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	12.04.2025 - 19.04.2025	Виконано
2	Огляд аналогів	19.04.2025 - 26.04.2025	Виконано
3	Розробка структурної схеми	26.04.2025 - 03.05.2025	Виконано
4	Вибір основних компонентів	03.05.2025 - 10.05.2025	Виконано
5	Розробка схеми принципової	10.05.2025 - 11.05.2025	Виконано
6	Розробка друкованої плати	11.05.2025 - 05.06.2025	Виконано
7	Оформлення креслеників	05.06.2025 - 10.06.2025	Виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	10.06.2025 – 12.06	Виконано

Студент

Владислав ЄВТУХ

Керівник



Олександр НЕУЙМІН

АНОТАЦІЯ

У дипломному проєкті виконано розробку модуля радіопередачі аналогового відеосигналу з частотною модуляцією на частоті 5,8 ГГц для використання у безпілотних літальних апаратах та системах відеоспостереження в реальному часі. Проєкт присвячено аналізу сучасних аналогових відеопередавачів, вибору найбільш доцільної елементної бази та схемотехнічних рішень, а також розробці структурної і принципової схем з урахуванням вимог до стабільності, енергетичної ефективності та радіочастотної сумісності.

У процесі проєктування враховано специфіку застосування в умовах змінного електроживлення, наявності електромагнітних завад та вимог до мінімізації габаритів. Обрано високочастотний ЧМ-модулятор RTC6705, мікроконтролер GD32F130G6U6TR та підсилювач RFPA5542, що дозволило досягти компактності, низького рівня затримки та високої якості передачі відеосигналу. Передбачено захист від перенапруги, стабілізацію живлення та індикацію режимів роботи.

Виконано моделювання, обґрунтування вибору елементів, розробку друкованої плати та підготовку до виготовлення прототипу. Окрему увагу приділено сумісності з сучасними протоколами керування (SmartAudio, IRC Tramp) та узгодженню радіочастотного тракту.

У дипломному проєкті:

Розділів – 4;

Сторінок – 62;

Таблиць – 1;

Рисунків – 27;

Додатків – 1.

ANNOTATION

The bachelor's thesis presents the development of a radio transmission module for analog video signals using frequency modulation at 5.8 GHz, intended for use in unmanned aerial vehicles and real-time video surveillance systems. The project focuses on analyzing modern analog video transmitters, selecting the most suitable component base and circuit solutions, and designing both structural and schematic diagrams while considering stability, energy efficiency, and RF compatibility requirements.

The design process took into account operation under variable power supply conditions, electromagnetic interference, and the need for compactness. A high-frequency FM modulator RTC6705, microcontroller GD32F130G6U6TR, and power amplifier RFPA5542 were selected, enabling compact design, low latency, and high-quality video transmission. Protection against overvoltage, power stabilization, and status indication were implemented.

The project includes simulation, justification of component selection, PCB development, and preparation for prototype manufacturing. Special attention was paid to compatibility with modern control protocols (SmartAudio, IRC Tramp) and RF path matching.

The thesis includes:

Chapters – 4;

Pages – 62;

Tables – 1;

Figures – 27;

Appendices – 1.

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Модуль радіопередачі аналогового
відеосигналу з частотною модуляцією»**

Київ – 2025 рік

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ.....	10
1.1. Аналоговий відеопередавач RushFPV MaxSolo.....	10
1.2. Аналоговий відеопередавач iFlight BLITZ Whoop.....	11
1.3. Аналоговий відеопередавач Skyzone AtomRC TX2500.....	12
1.4 Висновки щодо аналогів.....	13
2. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	15
3. ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР СХЕМОТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ.....	16
3.1. Розробка структурної схеми.....	16
3.2. Вибір та обґрунтування елементної бази.....	18
3.2.1 Вибір ЧМ-передавача.....	19
3.2.2 Вибір мікроконтролера.....	23
3.2.3 Вибір кварцового резонатора.....	25
3.2.4 Вибір понижувального стабілізатора напруги.....	26
3.2.5 Вибір стабілізатора напруги.....	28
3.2.6 Вибір захисту від зворотної напруги на вході.....	30
3.2.7 Вибір радіочастотного коаксіального роз'єму.....	31
3.2.8 Вибір підсилювача потужності.....	32
3.3 Розробка схеми електричної принципової.....	34
3.4 Огляд схемотехнічних рішень.....	36
3.4.1 Блок керування.....	36
3.4.2 Блок перетворювача вхідної напруги.....	37
3.4.3 Блок лінійних стабілізаторів.....	39
3.4.4 Блок підсилювача потужності.....	40
3.4.5 Блок ЧМ-модулятор.....	42
4. ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО МОДУЛЯ.....	45
4.1 Розрахунки розмірів контактних майданчиків та діаметри отворів.....	45
4.2 Розрахунок габаритів друкованої плати.....	46
4.3 Вибір класу точності друкованої плати.....	48
4.4 Розробка друкованої плати в Altium Designer.....	49
4.5 Розробка корпусу пристрою.....	53
ВИСНОВКИ.....	55
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	56
ДОДАТОК А.....	59
ДОДАТОК Б.....	60

					РС11.453663.000ПЗ								
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	Модуль радіопередачі								
Розробив	.Євтух В.В.									Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевірів										7	67		
Н.Контр.	Піддубний В.О.												
Зав. Каф.													

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВЧ – високочастотний

КСВ - коефіцієнт стоячої хвилі

ЧМ - частотна модуляція

CVBS - Composite Video Baseband Signal

EMI - Electromagnetic Interference

FPV - First Person View

I2C - Inter-Integrated Circuit

LC - Inductor–Capacitor

LED - Light Emitting Diode

NTSC - National Television System Committee

PAL - Phase Alternating Line

PLL - Phase-Locked Loop

VCO - Voltage Controlled Oscillator

Voltage - Controlled Oscillator

QFN - Quad Flat No-Leads

RC - Resistor–Capacitor

RoHS - Restriction of Hazardous Substances

SMD - Surface Mount Device

SPI - Serial Peripheral Interface

UART - Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

USART - Universal Synchronous/Asynchronous Receiver-Transmitter

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В сучасному світі бездротова передача відеосигналів є критично необхідною складовою для багатьох галузей, починаючи від житлових систем відеоспостереження і закінчуючи професійними застосуваннями у сфері, наприклад, безпілотних літальних засобів, телеметрії та систем охорони. Особливо велику цінність набувають високочастотні радіомодулі, які можуть здійснювати передачу аналогового відеосигналу зі знищенням мінімальними затримками та забезпечувати високу стабільність зображення.

Частотна модуляція (ЧМ) набула широкого застосування у аналоговій передачі відеосигналу через свою здатність протидіяти завадам та забезпечувати кращу якість відтворення. 5.8 ГГц діапазон частот є загальноприйнятим вибором для систем бездротової передачі даних через те, що він забезпечує оптимальний рівень балансу між дальністю, шириною пропускання та стійкістю до перешкод, тоді як володіє відносно низьким рівнем завантаженості порівняно з іншими діапазонами.

Мета цієї дипломної роботи становить розробку модуля, призначеного для бездротової передачі аналогового відеосигналу з частотною модуляцією в діапазоні 5.8 ГГц.

					РС11.453663.000ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

Розглянемо вже існуючі на ринку аналогові відеопередавачі. Вони відрізняються між собою частотами, на яких вони працюють, набором потужності передачі сигналу, формфактором та якістю матеріалів і компонентів. Розглянемо аналогові відеопередавачі на ринку теж з роботою на частоті 5,8 ГГц [1].

1.1 Аналоговий відеопередавач RushFPV MaxSolo

Аналоговий відеопередавач від компанії RushFPV модель MaxSolo, зображено на рисунку 1.1 [1].



Рисунок 1.1 – Аналоговий відеопередавач RushFPV MaxSolo.

Технічні характеристики:

- Напруга живлення 7 – 36 В;
- Вихідна напруга 5В (макс. 500 мА);
- Діапазон частот FM від 5631 до 5945 МГц;
- Рівні потужності: 25 мВт – 500 мВт – 1000 мВт – 2500 мВт;
- Відео: CVBS PAL/NTSC;
- Роз'єм антени: MMCX 50 Ом;
- Зовнішнє керування: SmartAudio
- Ціна: 84.99\$ (заявлена безпосередньо виробником);

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проаналізуємо даний відеопередавач. Живлення передавача реалізується в межах від 7 до 36 В, що забезпечує його універсальність для роботи з акумуляторами типу 2S–6S. Цей аналоговий відеопередавач позиціонується в середньому ціновому сегменті і демонструє адекватне співвідношення між вартістю та функціональністю. Пристрій має компактний пластиковий корпус, характеризується невеликими розмірами та низькою вагою, що дозволяє йому бути встановленим навіть у дронах із обмеженим простором. Пристрій підтримує 48 каналів передачі, включаючи основні частотні діапазони, що використовуються у відеопередачі. Це дозволяє забезпечити високу сумісність із різними приймачами та зменшити ймовірність взаємних завад при використанні кількох систем одночасно. Має вбудований охолоджувач, що є дуже важливим, оскільки тривала експлуатація на високих рівнях потужності може привести до перегріву.

1.2 Аналоговий відеопередавач iFlight BLITZ Whoop

Аналоговий відеопередавач від компанії iFlight модель BLITZ Whoop, зображено на рисунку 1.2 [2].



Рисунок 1.2 – Аналоговий відеопередавач iFlight BLITZ Whoop.

Технічні характеристики:

- Напруга живлення 7 – 34 В;
- Вихідна напруга 5В (макс. 500 мА);
- Діапазон частот FM від 5631 до 5945 МГц;
- Рівні потужності: 25 мВт – 400 мВт – 1000 мВт – 2500 мВт;
- Відео: CVBS PAL/NTSC;

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

- Роз'єм антени: MMCX 50 Ом;
- Зовнішнє керування: IRC Tramp
- Ціна: 62.99\$ (заявлена безпосередньо виробником);

Проаналізуємо даний відеопередавач. Живлення передавача реалізується в межах від 7 до 34 В, що забезпечує його універсальність для роботи з акумуляторами типу 2S–6S. Цей аналоговий відеопередавач нижче по ціні ніж попередній і демонструє адекватне співвідношення між вартістю та функціональністю. Пристрій має більший пластиковий корпус ніж попередній екземпляр, має більші розміри та вагу. Пристрій підтримує 40 каналів передачі. Це дозволяє забезпечити високу сумісність із різними приймачами та зменшити ймовірність взаємних завад при використанні кількох систем одночасно. Має також вбудований охолоджувач.

1.3 Аналоговий відеопередавач Skyzone AtomRC TX2500

Аналоговий відеопередавач від компанії Skyzone модель AtomRC TX2500, зображено на рисунку 1.3 [3].



Рисунок 1.3 – Аналоговий відеопередавач Skyzone AtomRC TX2500.

Технічні характеристики:

- Напруга живлення 7 – 26 В;
- Вихідна напруга 5В (макс. 500 мА);
- Діапазон частот FM від 5362 до 5945 МГц, 4990 до 5200 МГц;
- Рівні потужності: 25 мВт – 800 мВт – 1600 мВт – 2500 мВт;

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

- Відео: CVBS PAL/NTSC;
- Роз'єм антени: SMA;
- Зовнішнє керування: IRC Tramp
- Ціна:

Проаналізуємо даний відеопередавач. Живлення передавача реалізується в межах від 7 до 26 В, що забезпечує його універсальність для роботи з акумуляторами типу 2S–6S. Пристрій має компактний пластиковий корпус, характеризується невеликими розмірами та низькою вагою, що дозволяє йому бути встановленим навіть у дронах із обмеженим простором. Пристрій підтримує 56 каналів передачі. Це дозволяє забезпечити високу сумісність із різними приймачами та зменшити ймовірність взаємних завад при використанні кількох систем одночасно. Має охолоджувач, який входить в комплектацію з відеопередавачем, але не вбудований в нього безпосередньо.

1.4 Висновки щодо аналогів

У висновку після вивчення доступних на ринку аналогових відеопередавачів в діапазоні 5,8 ГГц були виявлені деякі популярні технічні рішення, а також стандартні характеристики кожної моделі.

Сильні сторони існуючих рішень можна виділити такі як:

Широкий діапазон живлення (7–36 В), що забезпечує сумісність з різними акумуляторними системами (2S–6S). Висока вихідна потужність (до 2500 мВт), що забезпечує широкий робочий діапазон. Підтримка сучасних протоколів управління (SmartAudio, IRC Tramp) для віддаленого налаштування параметрів передачі. Наявність бортових кулерів, що підвищує надійність при інтенсивному використанні. Компактність і невелика вага, що особливо важливо для використання в FPV дронах. Підтримка десятків каналів, що зменшує взаємні перешкоди.

З недоліків можна виділити високу вартість деяких рішень, наприклад,

					РС11.453663.000ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

RushFPV MaxSolo (~85 USD), яка не завжди виправдана при епізодичному використанні. Великі розміри в деяких моделях (наприклад, iFlight BLITZ Whoop), що створює проблеми з їх використанням у невеликих конструкціях. Обмежена ефективність бортової фільтрації гармонік і необхідність використання зовнішнього узгодження. Використання тільки звичайних типів антенних роз'ємів, що не завжди зручно при складанні.

Таким чином, аналіз аналогів дозволив виявити відповідні інженерні рішення, виявити їх недоліки та зробити висновок про вимоги до створення власного модуля передачі аналогового відеосигналу. Він послужив основою для подальшого обґрунтування елементної бази, структурної схеми та методики розробки.

					РС11.453663.000ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Технічне завдання, що належить до дипломного проєкту, нараховує розробку радіопередавального модуля для передачі аналогового відеосигналу за допомогою частотної модуляції (ЧМ) в діапазоні 5.8 ГГц. Дана задача належить до надзвичайно актуальної в умовах дистанційного відеоспостереження, безпілотних літальних апаратів (FPV-дронів), а також у багатьох різноманітних системах реального часу, де критично необхідно здійснювати відеопередачу з найменшою можливою затримкою.

Головною вимогою є реалізація передавача, здатного проводити передачу аналогового композитного відеосигналу (CVBS) на відстані до декількох кілометрів. Використання частотної модуляції забезпечує більший імунітет до шуму та знижує вплив перешкод у порівнянні з амплітудною модуляцією. Частотний спектр 5.8 ГГц був обраний з урахуванням його широкого використання в бездротових відеосистемах, а також відносної доступності бази компонентів.

В технічному завданні вказується, що апарат повинен працювати стабільно під умовами змінного навантаження та різними рівнем вхідної напруги, що говорить про необхідність організації ефективного блока живлення. Вихідна потужність передавача повинна бути не менше 0,5 Вт для безперебійної передачі відеосигналу зберігаючи його якість.

Серед функціональних вимог слід зазначити забезпечення сумісності з аналоговими камерами, що відповідають стандартам PAL/NTSC, а також включення можливості зовнішнього регулювання основних параметрів, таких як канал або потужність передачі.

					РС11.453663.000ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР СХЕМОТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

3.1 Розробка структурної схеми

Для того щоб відповідати умовам, висунутим у технічному завданні, пристрій повинен мати наступні складові частини:

1. ЧМ(FM)-модулятор;
2. Мікроконтролер;
3. Генератор тактової частоти;
4. Перетворювач напруги;
5. Підсилювач потужності;
6. Периферію у вигляді індикації та керування кнопками ззовні.

На рис. 2.1 зображено схему електричну структурну модуля радіопередачі аналогового відеосигналу з частотною модуляцією на частоті 5.8 ГГц, що розробляється.

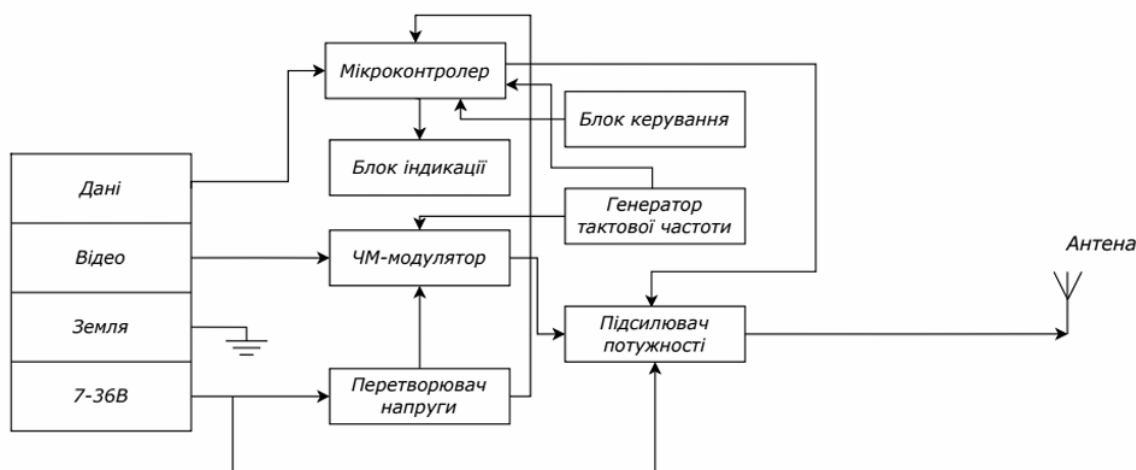


Рисунок 2.1 – Електрична структурна схема

Модуль радіопередачі побудовано на основі кількох функціональних вузлів, що забезпечують прийом, модуляцію та передачу аналогового відеосигналу з використанням частотної модуляції в діапазоні 5.8 ГГц.

На вхід пристрою подаються наступні сигнали:

- Аналоговий відеосигнал (CVBS);

- Дані для керування;
- Живлення 7-36 В;
- Земля.

Канал "Дані" використовується для цифрового керування параметрами відеопередавача (наприклад, частотою, потужністю, режимом передачі) за допомогою спеціалізованих протоколів, таких як SmartAudio або IRC Tramp. Обидва протоколи реалізовані поверх інтерфейсу UART у режимі напівдуплексного зв'язку через один сигнальний провід. Вони дозволяють передавати конфігураційні команди з польотного контролера до ЧМ-модулятора, забезпечуючи гнучке налаштування передавача без потреби у фізичному доступі до пристрою. Протоколи несумісні між собою і мають бути обрані згідно із підтримкою в мікроконтролері та прошивці польотного контролера.

Живлення 7-36 В йде на перетворювач напруги, який забезпечує стабільне живлення інших вузлів модуля, зокрема мікроконтролера, ЧМ-модулятора, тактового генератора та підсилювача потужності.

ЧМ-модулятор є основним вузлом, що здійснює частотну модуляцію несучої частоти відеосигналом. На вхід модулятора подається відеосигнал, а також стабілізована напруга живлення. Модулятор генерує ЧМ-сигнал, частота якого визначається тактовим генератором, синхронізованим з мікроконтролером.

Мікроконтролер виконує функції налаштування та керування — він конфігурує ЧМ-модулятор, контролює частоту генератора, а також обробляє вхідні дані з керуючого інтерфейсу. Крім того, він забезпечує індикацію стану пристрою (наприклад, передача активна, стан помилки, потужність сигналу тощо).

Сигнал з виходу ЧМ-модулятора надходить на підсилювач потужності, який забезпечує достатній рівень сигналу для радіопередачі. Потім сигнал проходить через фільтр, який пригнічує паразитні гармоніки та забезпечує відповідність спектру вимогам стандартів радіочастотної передачі.

					РС11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

3.2 Вибір та обґрунтування елементної бази

При проектуванні технологічного модуля радіопередачі аналогового відеосигналу з частотою модуляції 5,8 ГГц було обрано застосування електронних компонентів, які використовуються в пристроях поверхневого монтажу (SMD). Цей вибір заснований на ряді технічних, конструктивних і виробничих переваг, які особливо підходять для високочастотних і малих пристроїв.

Основні причини вибору SMD:

Деталі SMD значно менші за розміром, ніж деталі з наскрізним отвором (ТНТ), і це дозволяє зменшити загальний розмір друкованої плати та щільніше упакувати елементи. Це особливо важливо для радіочастотних пристроїв, де дія хвилі та довжина лінії визначаються фізичним розміром провідника.

Мінамальні виводи і відсутність отворів зменшують паразитну індуктивність і ємність, які є критичними для стабільної роботи на частотах вище 1 ГГц.

Покращує узгодження імпедансу та мінімізує втрати сигналу, що дуже важливо для передавача 5,8 ГГц.

Технологія SMD повністю сумісна з процесами автоматизованого складання (пайка в печі, розміщення компонентів машини), забезпечуючи продуктивність і якість складання.

Оскільки в пристроях SMD відсутні великі виводи та дроти, ви можете зменшити вагу кінцевого пристрою, що є перевагою в авіамоделюванні, безпілотних системах та носимій електроніці.

Верхні секції можна прикріпити з обох боків друкованої плати, що також розширює можливості оптимізації конструкції в обмеженому просторі.

Більшість сучасних мікросхем, зокрема високочастотні модулятори, стабілізатори, мікроконтролери та підсилювачі, випускаються в корпусах SMD.

					РС11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Враховуючи високу частоту експлуатації, необхідність компактності, енергоефективності та технологічності, використання пристроїв поверхневого монтажу (SMD) є цілком виправданим і найкращим підходом до інтеграції функціональних елементів модуля. Це забезпечує відповідність сучасним стандартам електронного виробництва, покращує електричні характеристики пристрою та надійність успішної роботи в умовах частоти.

3.2.1 Вибір ЧМ- передавача

У рамках конструкції модуля радіопередачі аналогового відеосигналу проаналізовано кілька можливих рішень високочастотних мікросхем, які можуть бути застосовані в діапазоні частот 5,8 ГГц з частотною модуляцією. Основною мікросхемою, використаною для реалізації, була RTC6705, оскільки одна з найбільш функціональних / економічно ефективних / доступних. Щоб полегшити вибір, було проведено порівняння з такими ж продуктивними, хоча й менш енергоефективними аналогами, наприклад, RTC6703 і SKY65050.

RTC6705 - це високочастотна мікросхема нового покоління, призначена для передачі аналогових відеосигналів діапазону 5,8 ГГц. Він підтримує вбудовану модуляцію PLL, VCO та FM, а також керування частотою та потужністю через UART або SPI, що полегшує реалізацію протоколів SmartAudio та IRC Tramp.

Для довідки, його попередником є RTC6703, який зображений на рис.3.1[4].

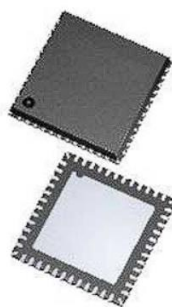


Рисунок 3.1 – Мікросхема RTC6703

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Технічні характеристики мікросхеми RTC6703:

RTC6703 — це інтегрована мікросхема широкосмугового FM-передавача, яка працює в діапазоні

900 МГц. Це досягається за допомогою однокристальної технології інтеграції CMOS і містить FM-модулятор, VCO як вбудований генератор, синтезатор частоти у формі PLL, підсилювач потужності з вихідним сигналом до +15 дБм і два незалежних модулятора аудіопіднесучої, що працюють на частотах 6 МГц і 6,5 МГц, і за допомогою цього можна передавати стереозвук разом із відеосигналом.

Частота передачі налаштовується через інтерфейс SPI, що дозволяє гнучко конфігурувати пристрої відповідно до системних вимог. Завдяки належній конструкції відповідної мережі та застосуванню екранування модуль, реалізований на RTC6703.

Основні характеристики RTC6703:

- Живлення: 3.3 В;
- Інтегрований підсилювач потужності: максимальна вихідна потужність +15 дБм;
- Діапазон робочих частот: 900 МГц;
- Інтегровані два модулятора звукових піднесучих (6 МГц / 6,5 МГц);
- Повна інтеграція з одним чіпом: FM-модулятор, VCO, PLL;
- Частота, керована програмним забезпеченням через SPI;
- Маленький безконтактний пакет: QFN, 40 контактів.

RTC6703 також є гідним варіантом для створення недорогих аналогових передавачів, особливо там, де максимальна пропускну здатність або діапазон високих частот не є пріоритетними. Незважаючи на те, що він має обмежений діапазон порівняно з останніми випусками, такими як RTC6705, він залишається корисним для простих або навчальних програм.

SKY65050, зображений на рис. 3.2 [5], не є повноцінним передавачем, а лише радіочастотним підсилювачем потужності, і його слід використовувати як частину еквівалентної системи, але з іншою реалізацією модулятора, VCO

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

та PLL. Це ще більше ускладнює його створення та налаштування та створює можливості для нестабільної роботи системи. Ця техніка типова для саморобних або недорогих передавачів.



Рисунок 3.2 – Мікросхема SKY65050

Це лише окремий широкосмуговий підсилювач потужності, який не має вбудованого модулятора або генератора частоти. Тобто, для реалізації аналогічної функціональності з SKY65050 потрібно використовувати окремі зовнішні компоненти: модулятор, PLL/VCO, контролер, що суттєво ускладнює схему.

Отже, проаналізувавши ринок мікросхем ЧМ-модуляторів, було обрано RTC6705, зовнішній вигляд якого зображено на рис. 3.3[6].

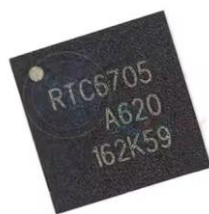


Рисунок 3.3 – Мікросхема RTC6705

RTC6705 — це широкосмуговий ЧМ-передавач, призначений для застосування в FM-передачах діапазону 5,8 ГГц. Ця мікросхема включає радіочастотний модулятор діапазону 5,8 ГГц, два канали аудіомодулятора та внутрішній підсилювач потужності з вихідною потужністю +13 дБм, що відноситься до зовнішньої узгоджувальної мережі. Блок радіочастотного модулятора діапазону 5,8 ГГц, який базується на синтезаторі частот із вбудованим VCO, генерує ЧМ-сигнал діапазону 5,8 ГГц, модульований

					РС11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

відеосигналом і двома модульованими аудіопіднесучими на частотах 6 МГц і 6,5 МГц відповідно. На чіпі доступні програми як стерео, так і моно. Частота передачі може бути встановлена внутрішнім регістром за допомогою програмування SPI або вибором шести виділених контактів.

Основні характеристики:

- Живлення 3,3 В;
- Вбудований підсилювач потужності з вихідною потужністю +13 дБм;
- FM-модулятор і передавач діапазону 5,8 ГГц;
- Прості цифрові контакти, які встановлюють 24 фіксовані канали для усунення зовнішнього мікроконтролера;
- Два модулятора звукових піднесучих на 6 МГц/6,5 МГц;
- Однокристальна CMOS-технологія з інтегрованим VCO та можливістю програмування частоти передавача PLL через SPI;
- 40-контактний безвивідний пакет QFN відповідає RoHS;
- Тип корпусу QFN-40-EP(6x6).

Застосування RTC6705 дозволяє реалізувати більшу частину радіочастотного тракту на одному кристалі, що значно зменшує: кількість елементів на платі, розміри друкованої плати, рівень взаємних завад та спрощує трасування високочастотних ліній.

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

характеристики точно вписуються в вимоги до реалізації радіопередавального модуля аналогових відеосигналів з частотною модуляцією на частоті 5,8 ГГц.

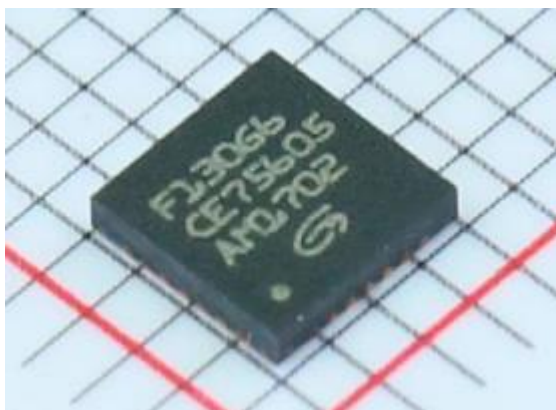


Рисунок 3.5 – Мікроконтролер GD32F130G6U6TR

Основні характеристики GD32F130G6U6TR:

- Ядро: ARM® Cortex®-M3 з максимальною тактовою частотою до 72 МГц.
- Пам'ять: 32 КБ Flash і 4 КБ SRAM.
- Комплектація: QFN-28 (4x4 мм), що сприяє компактності пристрою.
- Інтерфейси: 2 × USART, 1 × I2C, 1 × SPI.
- Таймери: 4 × 16-біт, 1 × 32-біт, 1 × базовий таймер.
- Аналогові модулі: 1 × 12-розрядний АЦП з 10 каналами.
- Напруга живлення: 2,6–3,6 В.

ARM Cortex-M3 — це енергоефективний, але потужний процесор, що дуже важливо для автономних пристроїв.

Корпус QFN-28 дозволяє зменшити розмір друкованої плати, що важливо для кишенькових рішень. Легка інтеграція з іншими компонентами системи гарантується наявністю ряду інтерфейсів і таймерів.

Підтримка діапазону температур і функцій захисту в межах забезпечує стабільну роботу в різних умовах.

Широка доступність на ринку та підтримка від виробника спрощують розробку та закупівлю.

GD32F130G6U6TR є найкращим варіантом для реалізації модуля

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

радіопередачі відеосигналу з точки зору продуктивності, енергоефективності, компактних розмірів і багатої функціональності. Його використання забезпечить безпомилкову та ефективну роботу пристрою в середовищі дипломного проекту.

3.2.3 Вибір кварцового резонатора

Для забезпечення стабільної тактової генерації в модулях радіопередачі аналогових відеосигналів з частотною модуляцією на частоті 5,8 ГГц був обраний кварцовий резонатор Murata CSTNE8M00G520000R0, зображений на рис 3.6[8]. Цей резонатор відповідає вимогам точності, розміру та надійності, визначеним для цього проекту.



Рисунок 3.6 – Кварцевий резонатор Murata CSTNE8M00G520000R0

Основні технічні характеристики CSTNE8M00G520000R0:

- Тип: П'єзоелектричний керамічний резонатор;
- Номінальна частота: 8 МГц;
- Вбудована ємність навантаження: 10 пФ;
- Допуск по частоті: $\pm 0,5\%$;
- Стабільність частоти: $\pm 0,2\%$;
- Імпеданс: 40 Ом;
- Діапазон робочих температур: від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$;
- Корпус: SMD3213-3P ($3,2 \times 1,3 \times 0,7$ мм);

					РС11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

- Кількість штифтів: 3;
- Монтаж: поверхневий (SMD).

Компактний корпус SMD3213-3P забезпечує ефективне використання площі друкованої плати, що має вирішальне значення для компактних вбудованих систем.

Здатність підтримувати внутрішню ємність навантаження 10 пФ спрощує схему генератора з подальшим зменшенням кількості зовнішніх компонентів і підвищенням надійності системи.

Похибка частоти $\pm 0,5\%$ і стабільність $\pm 0,2\%$ забезпечують точну генерацію тактового імпульсу, який використовується в синхронній роботі мікроконтролера та інших цифрових компонентів.

Діапазон робочих температур від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$ дає можливість використовувати резонатор в різних умовах, включаючи зовнішнє середовище та внутрішній нагрів відеопередавача від його роботи.

Для наведених вище характеристик CSTNE8M00G520000R0 найбільше підходить для стабільної та точної генерації тактової частоти в модулях радіопередачі аналогового відеосигналу. Його застосування підвищує надійність і ефективність роботи всього пристрою.

3.2.4 Вибір понижувального стабілізатора напруги

В якості джерела живлення компонентів модуля, що працюють на нижчих напругах (зокрема, 5 В і нижче), обрано понижуючий імпульсний стабілізатор напруги TPS5430DDAR від Texas Instruments, що зображений на рис.3.7[9]. Це понижуючий регулятор, який забезпечує ефективне перетворення високої вхідної напруги постійного струму в стабільну низьку напругу.

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26



Рисунок 3.7 – Понижувальний стабілізатор напруги TPS5430DDAR

Технічні характеристики:

- Діапазон вхідної напруги: 5.5 - 36 В;
- Діапазон вихідної напруги: регулюється від 1.22 В до 32 В;
- Максимальний безперервний вихідний струм: 3 А;
- Піковий вихідний струм: до 4 А;

- Типова частота перемикачання: 500 кГц;
- Вбудований перемикач (MOSFET): з опором 100 мОм;
- Ефективність перетворення: до 95% в залежності від режиму роботи;
- Захисні функції: обмеження струму, захист від перегріву, внутрішнє відключення при ненормальних умовах;
- Корпус: 8-вивідний SOIC PowerPAD;
- Діапазон робочих температур: -40°C ... $+125^{\circ}\text{C}$.

Діапазон робочої напруги TPS5430DDAR становить до 36 В, що дозволяє використовувати його в системах з різними джерелами живлення, наприклад, акумуляторні батареї (2S–6S LiPo), автомобільні джерела живлення (12 В / 24 В) і лабораторні системи.

Низькоомний характер імпульсу перетворення та застосування в інтегрованому MOSFET забезпечують високу ефективність. Це зменшує втрати тепла при стабілізації і дозволяє виключити розміри радіаторів або

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

взагалі не використовувати їх при помірних навантаженнях.

Здатність стабілізатора витримувати струм навантаження 3 А дозволяє живити не тільки мікроконтролер, але й інші компоненти схеми, а саме FM-модулятор, підсилювач потужності та інші навантаження, які потребують стабільного живлення з високим споживанням струму.

Параметр 500 кГц дозволяє використовувати невеликі котушки індуктивності та фільтруючі конденсатори з легкістю розташувати частини на платі та створювати менше електромагнітних перешкод (ЕМІ) порівняно з нижчими частотами.

Додавання захисту від перегріву, короткого замикання та перевантаження по струму робить схему більш надійною та меншою ймовірністю її руйнування за ненормальних умов експлуатації або неправильних з'єднань.

Корпус PowerPAD забезпечує чудовий розподіл тепла при великій силі струму, а пакет SOIC простий у використанні та автоматичному встановленні плати.

Вимоги мікросхеми TPS5430DDAR відповідають вимогам джерела керування модулем радіопередачі, тобто діапазону вхідної напруги, здатності доставляти навантаження, енергоефективності та наявності інтегрованих функцій захисту безпеки. Виходячи з наведених вище міркувань, використання цього чіпа є технічно обґрунтованим підходом у цьому проекті.

3.2.5 Вибір стабілізатора напруги

При розробці радіопередавального модуля аналогового відеосигналу частотної модуляції діапазону частот 5,8 ГГц виникла потреба використання стабільного джерела живлення рівня 3,3 В для живлення мікроконтролера та інших чутливих елементів схеми. У зв'язку з цим був обраний лінійний стабілізатор напруги LR6207-T33 від LR, зображений на рис. 3.8[\[10\]](#).

					РС11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28



Рисунок 3.8 – Лінійний стабілізатор напруги LP3992-33B5F

Основні технічні параметри LR6207-T33:

- Вихідна напруга: 3,3 В;
- Максимальний вихідний струм: 300 мА;
- Максимальна вхідна напруга: 6,5 В;
- Коефіцієнт подавлення пульсацій: 55 дБ на 1 кГц;
- Корпус: SOT-23-5;
- Тип монтажу: поверхневий (SMD);

Для мікроконтролера та інших компонентів модуля потрібне стабільне джерело живлення 3,3 В. LR6207-T33 забезпечує фіксовану вихідну напругу 3,3 В, яка відповідає цим вимогам.

Придушення вихідної пульсації 55 дБ на 1 кГц забезпечує ефективну фільтрацію високочастотних перешкод, що особливо важливо для радіочастотних пристроїв, де стабільність напруги живлення безпосередньо визначатиме якість вихідного сигналу.

Комплектація SOT-23-5 гарантує компактність пристрою, пропонуючи зменшену друковану плату та спрощене розміщення інших елементів схеми.

З наведених вище характеристик і переваг регулятор напруги LR6207-T33 є найбільш придатним для забезпечення стабільного живлення мікроконтролера та інших чутливих частин модуля радіопередачі аналогового відеосигналу. Його технічні параметри відповідають специфікації конструкції, а його компактність і зручність інтеграції економлять площу друкованої плати.

					РС11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

3.2.6 Вибір захисту від зворотної напруги на вході

При розробці довелося використовувати стабільний і ефективний діод для випрямлення і захисту силового кола. З цієї причини було обрано діод Шотткі SS14L компанії Taiwan Semiconductor, зображений на рис. 3.9[11].

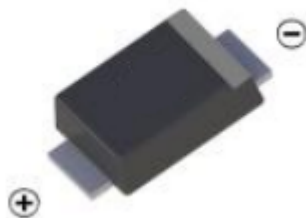


Рисунок 3.9 - діод Шотткі SS14L

- Ключові характеристики SS14L:
- Максимальна зворотна напруга: 40 В;
- Середній випрямлений струм: 1 А;
- Максимальна пряма напруга при 1 А: 0,55 В;
- Піковий імпульсний струм: 30 А;
- Зворотний струм витоку при 40 В: 400 мкА;
- Діапазон робочих температур: від $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Корпус: SOD-123FL.

SS14L має низьку максимальну пряму напругу, що зменшує втрати потужності, що особливо важливо для енергоефективності пристрою та розсіювання тепла.

Високе відновлення та низький зворотний струм витоку роблять SS14L ідеальним для використання у високочастотних додатках, таких як імпульсні джерела живлення та радіочастотні фільтри.

Корпус пропонує компактні пристрої та можливість монтажу на поверхні, що економить місце на друкованій платі та спрощує збірку.

SS14L можна ефективно використовувати в схемах випрямлення, а також для захисту від зворотної полярності, і, таким чином, це універсальне рішення

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для всіх компонентів електронної схеми.

З огляду на технічні аспекти та переваги, діод Шотткі SS14L є найкращим вибором для використання в модулях радіопередачі аналогового відеосигналу. Його використання забезпечує ефективне випрямлення, захист силових ланцюгів, збереження загальної надійності та енергоефективності пристрою.

3.2.7 Вибір радіочастотного коаксіального роз'єму

При розробці модуля радіочастотної передачі аналогового відеосигналу з частотною модуляцією, що працює на частоті 5,8 ГГц, виникла необхідність використання надійного та компактного роз'єму для інтерфейсу антени. Для цих цілей був обраний радіочастотний коаксіальний роз'єм BWIPX-1-001E фірми BAT WIRELESS, зображений на рис. 3.10[12].



Рисунок 3.10 - Радіочастотний коаксіальний роз'єм BWIPX-1-001E

Основні характеристики BWIPX-1-001E:

- Роз'єм: внутрішній контакт IPЕХ, кріплення на плату;
- Діапазон робочих частот: до 6 ГГц;
- Імпеданс: 50 Ом;
- Тип монтажу: поверхневий монтаж (SMD);
- Розміри: 3,00 × 2,60 мм, висота 1,25 мм;
- Діапазон робочих температур: від -40 °С до +90 °С;

					РС11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

- Опір ізоляції: ≥ 500 мОм;
- Опір контакту: ≤ 10 мОм;

Здатність підтримувати частоти до 6 ГГц робить роз'єм цінним у високочастотних додатках, таких як передача відео на частоті 5,8 ГГц.

Імпеданс 50 Ом забезпечує найкраще узгодження антени з найменшими втратами сигналу.

Низькопрофільний роз'єм і компактний розмір забезпечують мінімальний розмір друкованої плати та близьке розташування компонентів.

Високий контактний опір і високий опір ізоляції.

3.2.8 Вибір підсилювача потужності

У структурі модуля радіопередачі відеосигналу з частотною модуляцією на частоті 5,8 ГГц підсилювач потужності відіграє ключову роль, оскільки саме він формує вихідний радіочастотний сигнал необхідної амплітуди для ефективної передачі через антену. Для цього завдання було обрано високочастотний мікросхемний підсилювач RFPA5542TR13, зображений на рис. 3.11 [13], який спеціалізовано розроблений для роботи у діапазоні 5,15–5,875 ГГц, що повністю перекриває діапазон 5,8 ГГц



Рисунок 3.11 – Підсилювач потужності RFPA5542TR13

RFPA5542 має вбудовану 3-ступеневу схему підсилювача з високим рівнем вихідного сигналу до 33 дБ і може забезпечити вихідну потужність до +30 дБм (≈ 1 Вт) при напрузі 5 В. Це дозволяє отримати необхідну відстань зв'язку навіть за наявності зовнішніх перешкод. Мікросхема також оснащена вбудованим детектором потужності, вихідний сигнал якого (PA_DET)

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

передається на мікроконтролер і забезпечує зворотний зв'язок по потужності в режимі реального часу, що є критичним у системах із змінним навантаженням або регулюванням вихідної потужності.

Форм-фактор мікросхеми виготовлений у корпусі QFN (5 × 5 мм) з безвивідною структурою, що дозволяє збільшити розміщення друкованої плати та мінімізувати довжину високочастотної лінії, зберігаючи втрати сигналу. Чохол також має велику термопрокладку (EP), яка дозволяє ефективно відводити тепло під час великих навантажень. Для забезпечення повнофункціонального джерела живлення VCC1–VCC4 живляться окремо, кожен з яких може бути локально відфільтрований, що забезпечує підвищену стабільність під час роботи в імпульсному режимі.

Підсилювач підтримує ширший діапазон температур (до +85°C) і витримує складні радіочастотні умови без шкоди для властивостей посилення. Завдяки оптимальному узгодженню входу та виходу (зазвичай <2:1 VSWR), чіп не потребує складного зовнішнього узгодження та дозволяє розробляти простішу топологію радіочастотного тракту.

					РС11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

3.3 Розробка схеми електричної принципової

Після вибору електронних компонентів та обґрунтування їх вибору, було розроблено схему електричну принципову, що зображено на рис. 3.12.

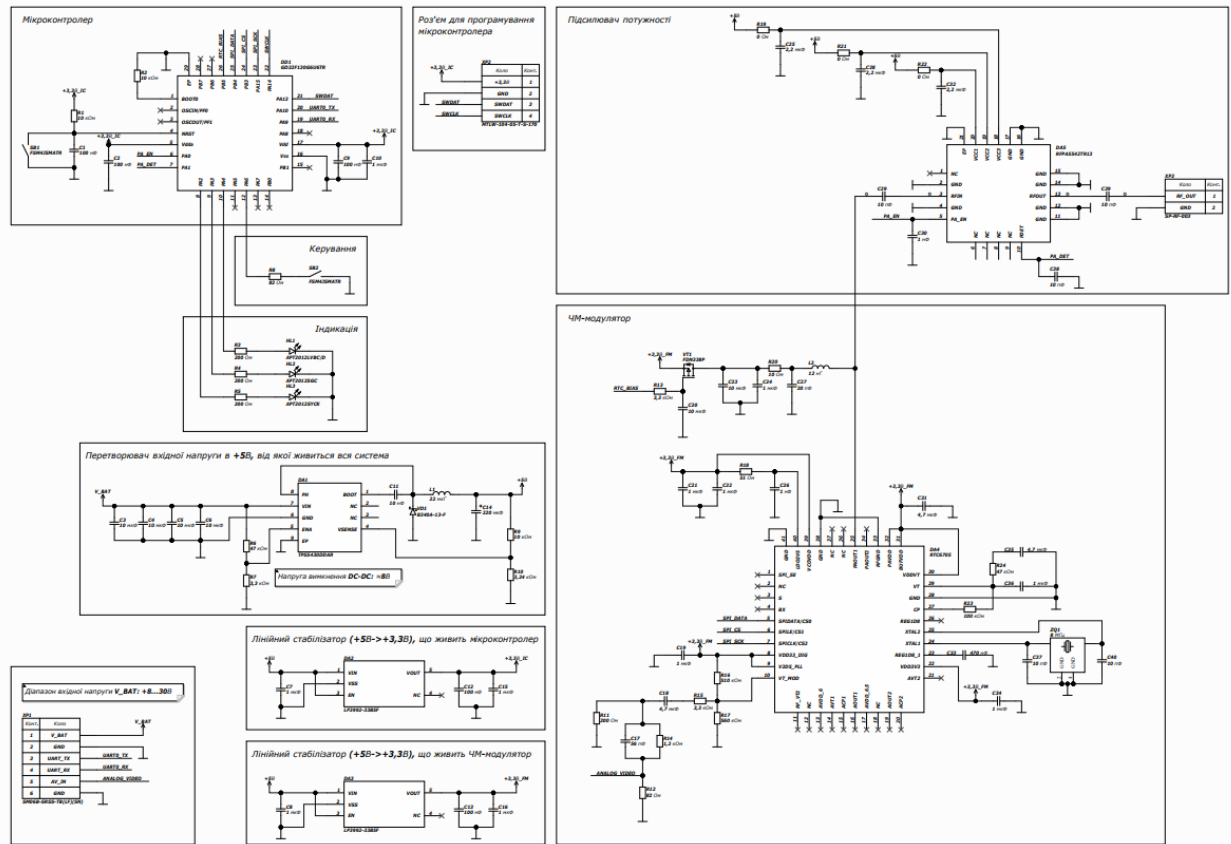


Рисунок 3.12 – Схема електрична принципова

Повна принципова схема реалізує передачу аналогового відеосигналу за допомогою частотної модуляції в діапазоні 5,8 ГГц. Система має модульну конструкцію і має такі основні функціональні вузли:

1. Система електропостачання

Напруга живлення V_BAT (8...30В) регулюється імпульсним понижуючим регулятором TPS5430DDAR, що забезпечує стабільне +5В.

Крім того, два лінійних стабілізатора LP3992-33B5F перетворюють напругу +5 В на два окремих джерела +3,3 В: для мікроконтролера та для модулятора RTC6705 FM.

2. Мікроконтролер

GD32F130G6U6TR - мозок системи. Мікроконтролер забезпечує:

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Налаштування FM модулятора на SPI (лінії SPI_SCK, SPI_CS, SPI_DATA);

- управління підсилювачем потужності (рядок PA_EN);
- зчитування сигналу детектора потужності (рядок PA_DET);
- взаємодія з користувачем за світлодіодною індикацією (HL1–HL3);
- прошивання через інтерфейс SWD (XP2).

3. FM модулятор RTC6705 (DA4)

Основна передавальна мікросхема, яка приймає композитний відеосигнал (ANALOG_VIDEO). Модулює сигнал на несучу 5,8 ГГц за допомогою вбудованих VCO та PLL. Налаштовується через інтерфейс SPI мікроконтролером. Живлення від спеціальної розетки +3,3 В (LC-фільтр для шумоізоляції).

4. Підсилювач потужності (DA5 — RFPA5542)

Він приймає модульований сигнал від RTC6705 і підсилює його до рівня радіопередачі. Увімкненням і живленням керує мікроконтролер через сигнал PA_EN. Сигнал зворотного зв'язку детектора PA_DET дозволяє відстежувати рівень вихідної потужності.

5. Смуговий фільтр (радіочастотний тракт)

Налаштовує спектр вихідного сигналу, пригнічуючи побічні гармоніки. Пропонує узгодження вихідного каскаду з антеною через роз'єм XP3 (SP-RF - 003).

6. Інтерфейси

XP1 — основний вхід живлення, відеовходи (CVBS) і входи сигналу UART. XP2 — інтерфейс програмування SWD. XP3 — радіочастотний вихід на антену. Загальний принцип роботи Після подачі живлення схема стабілізує напруги живлення на +3,3В і +5В. Мікроконтролер керує модулятором RTC6705 через SPI, встановлюючи частоту, режим передачі, аудіо параметри і т.д. Аналоговий відеосигнал подається на вхід модулятора, FM модулюється і подається на підсилювач потужності. Сигнал фільтрується і після посилення передається через антену. Підсвічування індикації на основі HL1–HL3 показує режим роботи.

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

вхід або використовує переривання. Конструктивно кнопка встановлюється на друкованій платі і не вимагає додаткових логічних елементів або фільтрації, що дозволяє зменшити кількість компонентів і площу плати. Такий тип рішення забезпечує простоту реалізації, зручність налаштування логіки взаємодії і дозволяє легко змінювати поведінку пристрою при необхідності без зміни апаратної частини.

Блок індикації складається з трьох світлодіодів HL1, HL2 і HL3 типу АРТ2012 різних кольорів: зеленого, синього і жовтого відповідно. Кожен світлодіод підключений через резистори R3, R4 і R5 з номінальним значенням 200 Ом до відповідних виводів PB0, PB1 і PB2 мікроконтролера. Така конфігурація дозволяє реалізувати візуальну індикацію станів пристрою: наприклад, увімкнення живлення, активність передачі або сигналізація про помилки. Світлодіоди розташовані безпосередньо на платі і активуються шляхом подачі логічного «нуля» на відповідний вивід, при цьому струм протікає від +3,3 В через анод світлодіода, обмежувальний резистор і мікроконтролер до землі. Наявність трьох індикаторів дозволяє реалізувати багаторівневу індикацію або бітову сигналізацію режимів, включаючи миготіння, комбінації або поступове світіння. Вибрана схема проста, надійна і не вимагає додаткових драйверів або активних елементів.

Загалом, блоки управління та індикації виконують функцію інтерфейсу між користувачем і логікою пристрою, що дозволяє легко налаштовувати та контролювати стан модуля під час роботи. Обидва блоки мають мінімальну кількість елементів, що дозволяє зменшити загальні розміри та зручно інтегрувати їх у компактну конструкцію.

3.4.2 Блок перетворювача вхідної напруги

На рис. 3.14 зображено схему електричну принципову блоку перетворювача напруги.

					РС11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

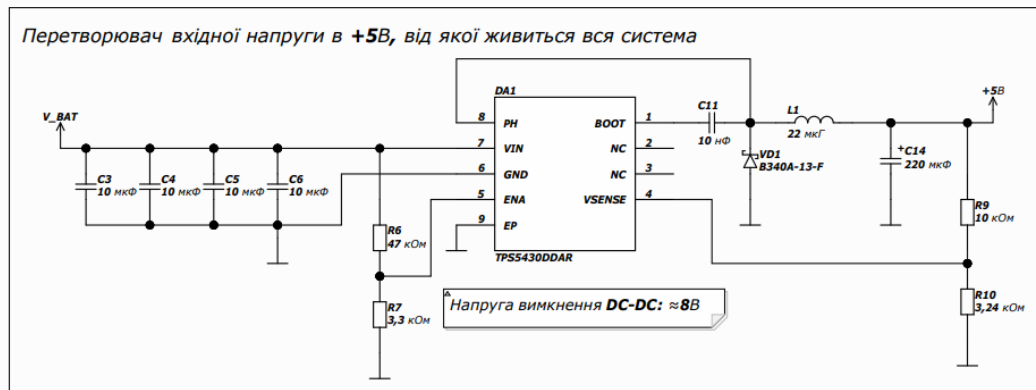


Рисунок 3.14 – Схема електрична принципова блоку перетворювача вхідної напруги.

На схемі показаний блок живлення, який відповідає за зниження вхідної напруги від джерела живлення до стабільного рівня +5 В, необхідного для роботи всіх компонентів системи. Цей блок реалізований на базі імпульсного понижуючого перетворювача TPS5430DDAR виробництва Texas Instruments. Вибрана мікросхема є високоефективним перетворювачем постійного струму, здатним працювати в широкому діапазоні вхідних напруг (від 8 до 30 В) і забезпечувати вихідний струм до 3 А, що повністю покриває енергоспоживання як мікроконтролера, так і модулятора з підсилювачем потужності.

Вхід схеми живиться по лінії V_BAT. Для захисту і фільтрації вхідної напруги використовуються послідовно з'єднані керамічні конденсатори C3, C4, C5, C6 і електролітичний конденсатор C7. Вони зменшують пульсації і імпульсні перешкоди, які можуть надходити від джерела живлення. Резистор R7 у поєднанні з конденсатором C12 утворює RC-ланцюг, який встановлює параметри плавного пуску, запобігаючи раптовим струмовим навантаженням у момент увімкнення. Вивід EN (enable) підключений безпосередньо до VIN, що забезпечує автоматичне увімкнення перетворювача після подачі живлення.

На виході мікросхеми до конфігурації підключений резистивний дільник напруги R5–R6, який встановлює опорний рівень для зворотного зв'язку. Це дозволяє стабілізувати вихідну напругу на рівні +5 В. Індуктор L1 у поєднанні з вихідними конденсаторами C13 і C14 утворює LC-фільтр, який

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

згладжує імпульсні коливання і забезпечує низький рівень пульсацій на виході. Додаткові керамічні конденсатори C15 і C16 також покращують фільтрацію і забезпечують стабільність регулятора при динамічних змінах навантаження.

В результаті цей блок є основним джерелом живлення для всієї системи і забезпечує стабільну напругу +5 В для живлення як аналогових, так і цифрових вузлів. Завдяки використанню ефективного імпульсного перетворювача вдалося зменшити втрати потужності і забезпечити теплову стабільність при живленні від джерел з широким діапазоном напруги. Вибрана схема також дозволяє легко адаптувати систему до інших рівнів вихідної напруги в майбутніх модифікаціях.

3.4.3 Блок лінійних стабілізаторів

На рис. 3.15 зображено схему електричну принципову блоку лінійних стабілізаторів для ЧМ-модулятора та мікроконтролера.

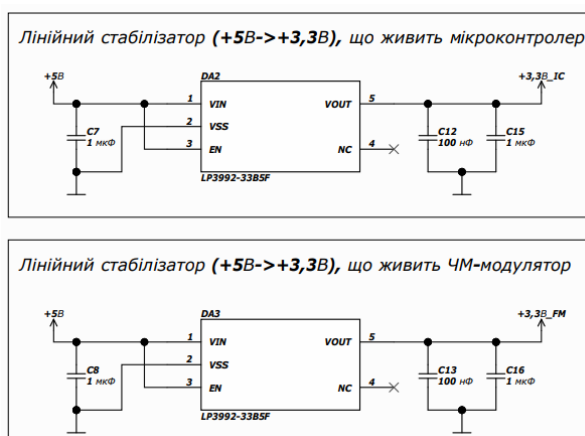


Рисунок 3.15 – Схема електрична принципова блоку лінійних стабілізаторів.

Схема живлення цифрової та аналогової частин пристрою використовує два незалежні лінійні стабілізатори LP3992-33B5F, які виконують перетворення напруги з +5 В до +3,3 В. Така реалізація забезпечує стабільне живлення обох критичних компонентів — мікроконтролера та FM-модулятора — з мінімальним рівнем пульсацій та електромагнітних перешкод. Розділення джерел живлення між цифровою та радіочастотно-аналоговою частинами дозволяє уникнути взаємних перешкод і поліпшити якість передачі сигналу

Перший стабілізатор (DA2) відповідає за живлення мікроконтролера. Напруга +5 В подається на вхід VIN мікросхеми, а додатковий конденсатор C7 (1 мкФ) виконує функцію первинної фільтрації. Вихід EN (enable) підключений безпосередньо до джерела живлення, що забезпечує автоматичний запуск стабілізатора відразу після подачі вхідної напруги. На виході VOUT встановлено два конденсатори — C12 (100 нФ) і C15 (1 мкФ), які стабілізують напругу +3,3 В і згладжують залишкову пульсацію, підвищуючи загальну стабільність живлення цифрової логіки. Вся лінія живлення позначена як +3,3V_IC і веде до мікроконтролера та інших пов'язаних цифрових компонентів.

Другий стабілізатор (DA3) безпосередньо живить радіочастотний модулятор частотної модуляції. Структура схеми повністю ідентична першому випадку: на вході використовується конденсатор C8 (1μF) для придушення шуму, а вихідна напруга +3,3 В стабілізується за допомогою вихідних конденсаторів C13 (100нF) і C16 (1μF). Ця гілка живлення позначена як +3,3 В_FM і фізично відокремлена від цифрової, щоб уникнути проникнення цифрових імпульсних перешкод у високочастотну аналогову частину.

Обидва стабілізатори LP3992-33B5F є лінійними стабілізаторами з низьким рівнем шуму і низьким падінням напруги, що робить їх особливо придатними для використання в схемах, де важлива електрична стабільність і низькі коливання напруги живлення. Це рішення забезпечує високу якість як цифрової логіки управління, так і аналогової модуляції, що є надзвичайно важливим для стабільної роботи всього модуля радіопередачі.

3.4.4 Блок підсилювача потужності

На рис. 3.16 зображено схему електричну принципову блоку підсилювача потужності.

					РС11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

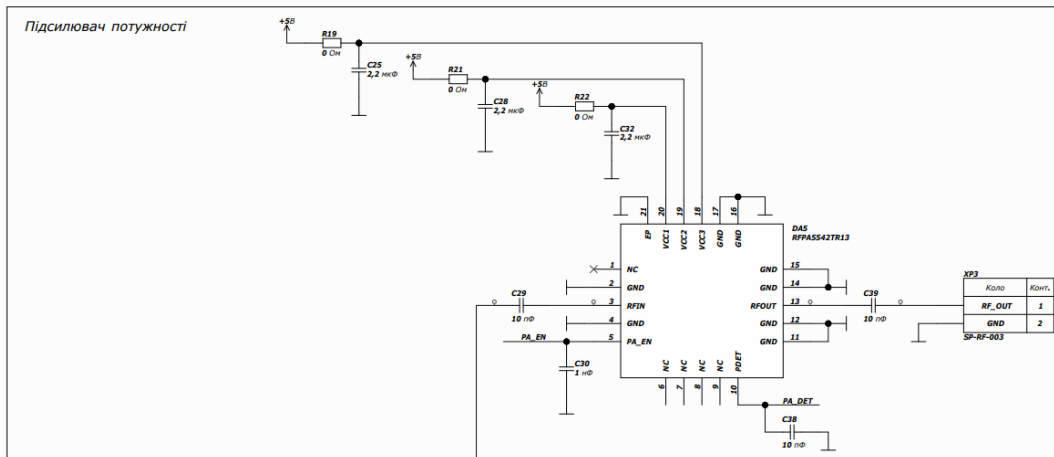


Рисунок 3.16 – Схема електрична принципова блоку підсилювача потужності

У схемі передавача особливе місце займає блок підсилювача потужності, який відповідає за підвищення рівня високочастотного (ВЧ) сигналу до значення, достатнього для ефективної передачі через антену. У цій реалізації для цієї мети використовується спеціалізована мікросхема RFP5542TR13 (DA5) — широкопasmовий підсилювач, оптимізований для роботи в діапазоні 5,8 ГГц.

Мікросхема живиться через чотири незалежні виводи живлення (VCC1–VCC4), кожен з яких окремо фільтрується і стабілізується відповідним LC-фільтром. Перед кожним входом встановлено керамічний конденсатор 2,2 мкФ (C25, C28, C32) для локального згладжування пульсацій, а також встановлено нульові резистори (R19, R21, R22), які можуть служити перемичками або струмовими шунтами для контролю під час налагодження. Така структура живлення дозволяє ізолювати живлення кожного каскаду підсилювача і зменшити ймовірність самозбудження або перехресних перешкод.

Високочастотний сигнал подається на вхід RFIN (контакт 3) підсилювача. Вхідна лінія фільтрується конденсатором C29 (10 пФ), який виконує роль блокування радіочастот і додаткової стабілізації. Вихід підсилювача (контакт 13, RFOUT) підключається до антени через вихідний роз'єм XP3 типу U.FL або MMCX. Для забезпечення видалення

високочастотних залишків і узгодження використовуються два послідовно з'єднаних конденсатори по 10 пФ кожен (С38, С39), які також виконують роль радіочастотних фільтрів.

Управління підсилювачем здійснюється за допомогою сигналу PA_EN, який подається від мікроконтролера. Цей сигнал через роз'єднувальний конденсатор С30 активує логіку включення всередині мікросхеми, що дозволяє дистанційно вмикати або вимикати каскад. Додатково підсилювач має вивід PA_DET, який дозволяє зчитувати сигнал детектора потужності. Він підключений до аналогового входу мікроконтролера і дозволяє програмно керувати вихідною потужністю або виявляти несправності (наприклад, розімкнуту антену).

Мікросхема встановлена на тепловій підкладці (EP) і має кілька виводів GND, які забезпечують надійне заземлення для високочастотних сигналів і ефективно відведення тепла. Теплові та радіочастотні властивості реалізовані відповідно до рекомендацій виробника - з мінімальною довжиною ліній і широкими провідними доріжками.

Загалом, цей етап є критичним для забезпечення дальності передачі та стабільності роботи передавача. Він виконаний з урахуванням високочастотних особливостей та вимог електромагнітної сумісності, що дозволяє забезпечити надійну та потужну передачу відеосигналу в аналоговому форматі в діапазоні 5,8 ГГц.

3.4.5 Блок ЧМ-модулятор

На рис. 3.17 зображена схема електрична принципова блоку ЧМ-модулятор.

					РС11.453663.000ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

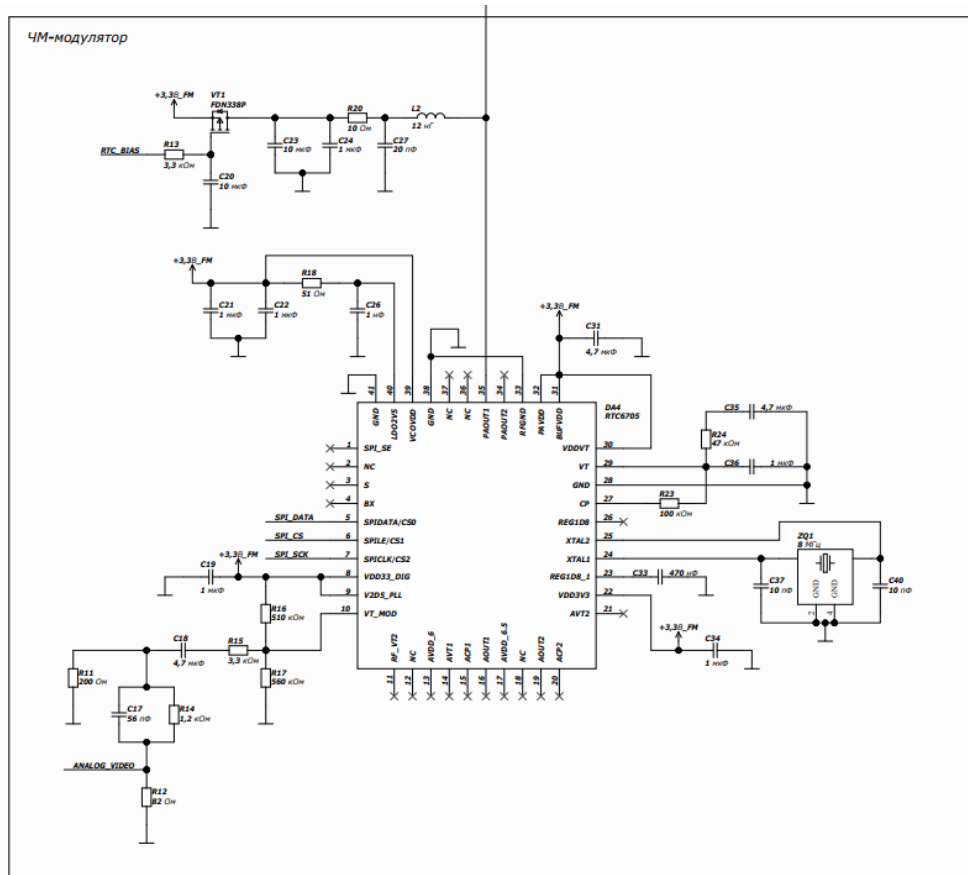


Рисунок 3.17 – Схема електрична принципова блоку ЧМ-модулятор.

На цій схемі показано блок частотної модуляції відеосигналу на базі мікросхеми RTC6705 (DA4), яка є спеціалізованим широкосмуговим FM-модулятором для роботи в діапазоні 5,8 ГГц. Основна функція цього блоку полягає в перетворенні композитного аналогового відеосигналу в високочастотний частотно-модульований сигнал, який потім передається через підсилювач потужності на антену. Схема побудована з урахуванням вимог до високочастотних трактів: використовується окрема гілка живлення, лінії з фільтрацією та розділенням, а також генерація точної опорної частоти.

Мікросхема живиться від стабілізованого джерела +3,3 В_FM. Для зменшення шуму і стабілізації напруги поблизу самої мікросхеми використовується децентралізоване фільтрування: кілька керамічних конденсаторів (C21, C22, C25, C26, C31, C34, C35, C36) розташовані на джерелах живлення різних внутрішніх блоків RTC6705. Це дозволяє уникнути провалів напруги і забезпечує стабільну роботу в режимі передачі. Додатково напруга VREG подається через резистори і конденсатори, які забезпечують

правильний запуск і живлення аналогової частини радіочастотного блоку.

Для генерації несучої частоти модуляції використовується зовнішній кварцовий резонатор ZQ1 на 8 МГц, який підключається до виводів XTAL1 і XTAL2 мікросхеми. Його робота стабілізується за допомогою керамічних конденсаторів C37, C38, а також вбудованого генератора PLL, який формує радіочастотну несучу для подальшої модуляції. За допомогою внутрішнього керованого VCO сигнал піднімається до діапазону 5,8 ГГц.

Модулятор керується через інтерфейс SPI, підключений до мікроконтролера. Відповідні сигнали SPI_SCK, SPI_DATA і SPI_CS проходять через підтягуючі резистори (R15, R16, R17) і фільтруючі конденсатори, які забезпечують надійне з'єднання і стабільність цифрового обміну. За допомогою SPI можна налаштувати частоту передачі, потужність, ввімкнення/вимкнення пристрою, конфігурацію піднесучої та інші режими.

Композитний аналоговий відеосигнал (CVBS) подається на вхід VT_MOD, який проходить через ланцюг узгодження імпедансу: послідовні резистори R11, R12, конденсатори C17 і C18 та фільтр нижніх частот. Цей каскад виконує функцію усереднення рівня, захисту та усунення постійної складової перед подачею сигналу на внутрішній шлях модуляції мікросхеми.

Окремо вихід RF підсилюється за допомогою дискретного транзистора VT1 (FDN338P), що працює в ланцюзі з індуктивністю L2. Його основною функцією є формування та підтримка правильного режиму роботи RF-шляху. Базове зміщення транзистора подається через резистор R13, а стабілізація здійснюється за допомогою фільтруючих конденсаторів C19, C20, C23, C24.

В результаті цей блок генерує частотно-модульований сигнал з частотою 5,8 ГГц, який несе переданий аналоговий відеосигнал. Завдяки використанню окремої гілки живлення, фільтрації, кварцового резонатора та розділення цифрової та аналогової частин мікросхеми забезпечується стабільна та надійна робота пристрою навіть в умовах перешкод або недосконалого джерела живлення. Цей блок є центральним елементом в структурі аналогового відеопередавача.

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО МОДУЛЯ

4.1 Розрахунки розмірів контактних майданчиків та діаметри отворів

Розрахуємо розміри контактних майданчиків для елементів поверхневого монтажу за формулою:

$$Dk = Dv + 0.3,$$

де Dk – розміри контактних майданчиків;

Dv – розміри виводів;

Отримані значення наведені в табл. 4.1

Таблиця 4.1 — Розміри елементів поверхневого монтажу

Назва елемента	Dv , мм	Dk , мм
C1, C2, C9, C12, C13	1.0 × 0.5	1.3 × 0.8
C3, C4, C5, C6	3.2 × 1.6	3.5 × 1.9
C7, C8, C10, C15, C16, C19, C21, C22, C24, C34,	1.0 × 0.5	1.3 × 0.8
C11	1.0 × 0.5	1.3 × 0.8
C14	7.3 × 4.3	7.6 × 4.6
C17	1.0 × 0.5	1.3 × 0.8
C18, C31, C35	1.0 × 0.5	1.3 × 0.8
C20, C23	1.0 × 0.5	1.3 × 0.8
C25, C28, C32	1.0 × 0.5	1.3 × 0.8
C26, C30	1.0 × 0.5	1.3 × 0.8
C27	0.6 × 0.3	0.9 × 0.6
C29, C39	0.6 × 0.3	0.9 × 0.6
C33	1.0 × 0.5	1.3 × 0.8
C37, C38, C40	1.0 × 0.5	1.3 × 0.8
DA1	4.89 × 3.90	5.19 × 4.20
DA2, DA3	2.90 × 1.60	3.20 × 1.90
DA4	6.0 × 6.0	6.3 × 6.3
DA5	4.0 × 4.0	4.3 × 4.3
DD1	4.0 × 4.0	4.3 × 4.3
HL1, HL2, HL3	2.0 × 1.25	2.3 × 1.55
L1	6.86 × 6.47	7.16 × 6.77
L2	0.6 × 0.3	0.9 × 0.6
R1, R2, R9	1.0 × 0.5	1.3 × 0.8
R3, R4, R5, R11	1.0 × 0.5	1.3 × 0.8
R6, R24	1.0 × 0.5	1.3 × 0.8
R7, R13, R15	1.0 × 0.5	1.3 × 0.8
R8, R12	1.0 × 0.5	1.3 × 0.8
R10	1.0 × 0.5	1.3 × 0.8
R14	1.0 × 0.5	1.3 × 0.8

R16	1.0 × 0.5	1.3 × 0.8
R17	1.0 × 0.5	1.3 × 0.8
R18	1.0 × 0.5	1.3 × 0.8
R19, R21, R22	1.0 × 0.5	1.3 × 0.8
R20	0.6 × 0.3	0.9 × 0.6
R23	1.0 × 0.5	1.3 × 0.8
SB1, SB2	6.0 × 6.0	6.3 × 6.3
VD1	5.20 × 2.60	5.50 × 2.90
VT1	2.9 × 1.3	3.2 × 1.6
XP1	6.25 × 4.0	6.55 × 4.3
XP2	8.6 × 2.3	8.9 × 2.6
XP3	2.0 × 2.0	2.3 × 2.3
ZQ1	3.2 × 2.5	3.5 × 2.8

Розрахуємо діаметри отворів вивідних елементів за формуло:

$$D_o = D_b + 0.2,$$

де D_o — розміри отворів вивідних елементів;

D_b — розміри виводів.

Отримані значення наведені в табл. 4.2

Таблиця 4.2 — Розміри вивідних елементів

Назва елемента	D_b , мм	D_o , мм
XP2	0,64	0,84

4.2 Розрахунок габаритів друкованої плати

Для розрахунку площі ДП, потрібно розрахувати площу елементів з урахування коефіцієнта габаритності k , для розрахунку скористаємся формулою:

$$S_{\text{ДП}} = 1 \sum S_{\text{МГ}} + 1.5 \sum S_{\text{СГ}} + 2 \sum S_{\text{ВГ}},$$

де $S_{\text{ДП}}$ — площа ДП;

$S_{\text{МГ}}$ — площа малогабаритних елементів;

$S_{\text{СГ}}$ — площа середньогабаритних елементів;

$S_{\text{ВГ}}$ — площа великогабаритних елементів;

1, 1,5, 3 — коефіцієнти габаритності k .

Площу елементів було пораховано в при початку проектуванні плати в редакторі Altium Designer та отриману площу заносимо до табл. 4.3.

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.3 – Розрахунок мінімальної ДП.

Назва елементу	S, мм ²	n	k	S, заг мм ²
C1, C2, C9, C12, C13	1,04	5	1	5,2
C3, C4, C5, C6	6,65	4	1,5	26,6
C7, C8, C10, C15, C16, C19, C21, C22, C24, C34, C36	1,04	10	1	10,4
C11	1,04	1	1	1,04
C14	34,96	1	3	34,96
C17	1,04	1	1	1,04
C18, C31, C35	1,04	3	1	3,12
C20, C23	1,04	2	1	2,08
C25, C28, C32	1,04	3	1	3,12
C26, C30	1,04	2	1	2,08
C27	0,54	1	1	0,54
C29, C39	0,54	2	1	1,08
C33	1,04	1	1	1,04
C37, C38, C40	1,04	3	1	3,12
DA1	21,8	1	3	21,8
DA2, DA3	6,08	2	1,5	12,16
DA4	39,69	1	3	39,69
DA5	18,5	1	3	18,5
DD1	18,5	1	3	18,5
HL1, HL2, HL3	3,565	3	1	10,695
L1	48,47	1	3	48,47
L2	0,54	1	1	0,54
R1, R2, R9	1,04	3	1	3,12
R3, R4, R5, R11	1,04	4	1	4,16
R6, R24	1,04	2	1	2,08
R7, R13, R15	1,04	3	1	3,12
R8, R12	1,04	2	1	2,08
R10	1,04	1	1	1,04
R14	1,04	1	1	1,04
R16	1,04	1	1	1,04
R17	1,04	1	1	1,04
R18	1,04	1	1	1,04
R19, R21, R22	1,04	3	1	3,12
R20	0,54	1	1	0,54
R23	1,04	1	1	1,04
SB1, SB2	39,69	2	3	79,38
VD1	15,95	1	1,5	15,95
VT1	5,12	1	1,5	5,12
XP1	28,165	1	3	28,165
XP2	23,14	1	3	23,14
XP3	5,29	1	1,5	5,29
ZQ1	9,8	1	1,5	9,8
				S _{ДП} = 1120 мм ²

S — площа елемента;

n — кількість однотипних елементів;

k — коефіцієнт габаритності;

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

S дп — площа елементів.

З розрахунків видно, що мінімальна площа ДП становить 1120 мм²

Обчислимо оптимальну площу плати за формулою:

$$S_{\text{опт}} = k_s S_{\text{min}}$$

де k_s — коефіцієнт, який залежить від призначення та умов експлуатації апаратури ($k_s = 1-3$)

Оберемо $k_s = 1,8$, тоді оптимальна площа плати:

$$S_{\text{опт}} = 1120 * 1,8 = 2016 \text{ мм}^2$$

Друкована плата матиме прямокутну форму з довжиною 53 мм² та шириною 37 мм².

4.3 Вибір класу точності друкованої плати

При створенні радіопередавального модуля аналогового відеосигналу з частотною модуляцією 5,8 ГГц було вирішено використовувати друковану плату четвертого класу точності за ГОСТ 23751-86. Це зумовлено функціональними особливостями пристрою та конструктивно-технологічними факторами.

Клас точності за ГОСТ 23751-86 вказує на мінімально допустимі значення відхилень геометричних розмірів елементів плати - ширини провідників, відстані між провідниками, діаметрів отворів, точності положення.

У цьому випадку схема працює на частоті 5,8 ГГц, тому необхідно використовувати стабільну геометрію провідника та землі. Компонування плати також не передбачає надщільного кріплення компонентів, таких як мікровізор або BGA, але використовуються стандартні пакети для всіх компонентів (QFN, SOIC, 0402 тощо). Також немає потреби в точному управлінні імпедансом або мініатюризації шляхом звуження провідників до десятків мікрон.

Оскільки плата чотиришарова, компактна за структурою, але виготовлена в звичайних умовах масового виробництва і не вимагає високої точності, оптимальним є четвертий клас точності. Він забезпечує відповідність

					РС11.453663.000ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розмірів, необхідну для функціонування високочастотного передавача, надійність з'єднань, а також економічне обґрунтування виробництва друкованої плати.

При цьому використання четвертого класу точності дозволяє забезпечити компроміс між вимогами до електричних характеристик плати, її надійності та технологічності реалізації в реальних умовах виробництва.

Таблиця 4.4 — Класи точності ДП

Умовні позначення елементів друкованого монтажу	Клас точності друкованої плати				
	1	2	3	4	5
t , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
s , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
b , мм	0,3	0,2	0,1	0,05	0,025
$y = d/H$	0,4	0,4	0,33	0,25	0,2
Δt , мм (без покриття)	$\pm 0,15$ $+0,25$	$\pm 0,1$ $+0,15$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$	$-0,03$
Δt , мм (з покриттям)	-0,2	-0,1	$\pm 0,1$	\pm	\pm
T_1 , мм (ОПП, ДПП, ГПК і МПП – поверхневі ш.)	0,15	0,1	0,05	0,03	0,03
T_1 , мм (МПП – поверхневі шари)	0,2	0,12	0,1	0,05	0,03

4.4 Розробка друкованої плати в Altium Designer

На цьому етапі була проведена фаза розробки друкованої плати пристрою. На початковому етапі були підготовлені всі футпринти, необхідні для компонентів, до яких також були вставлені відповідні 3D-моделі. Далі було виготовлено макет друкованої плати, в рамках якого визначено її розміри відповідно до вищезазначених критеріїв, монтаж компонентів електронних схем та трасування сигнальних провідників. Результат роботи показано на рисунках 4.1-4.

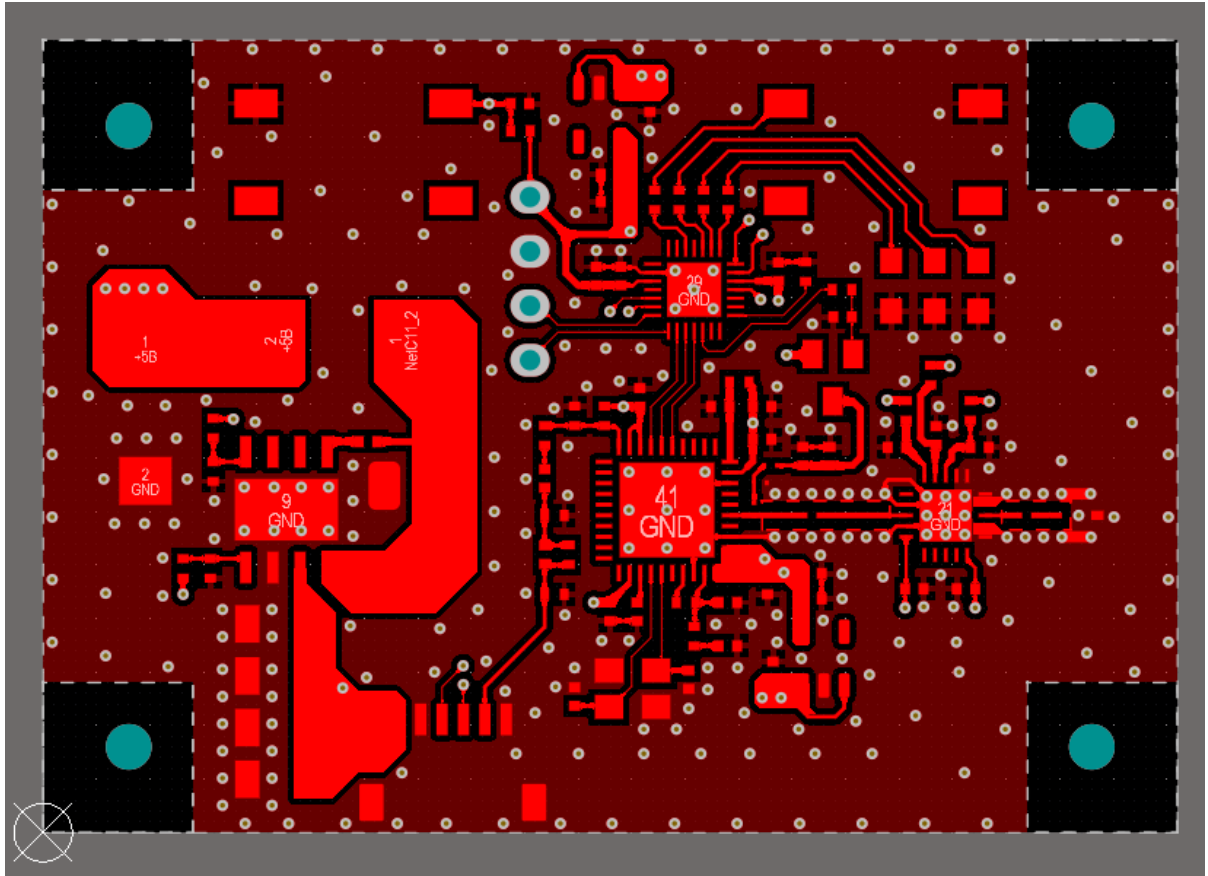


Рисунок 4.1 – Верхній шар трасування.

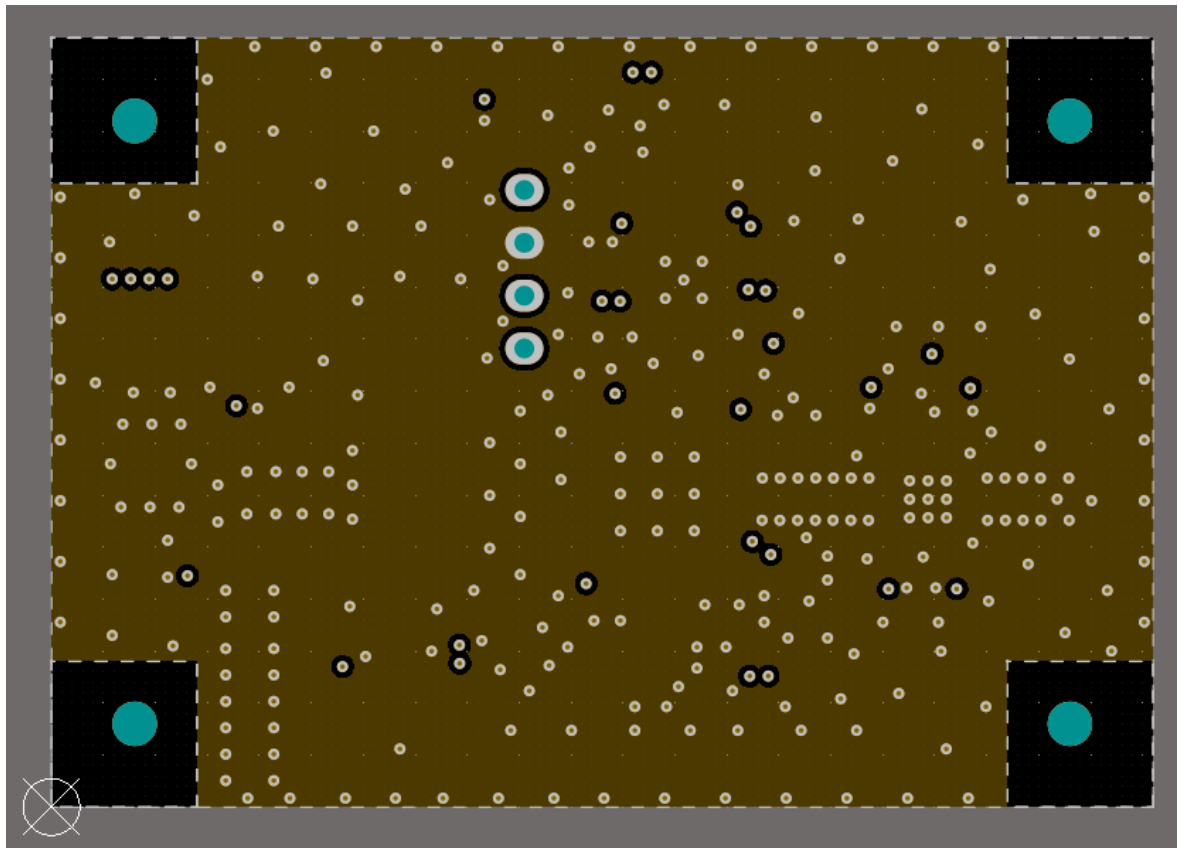


Рисунок 4.2 – Другий шар трасування.

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

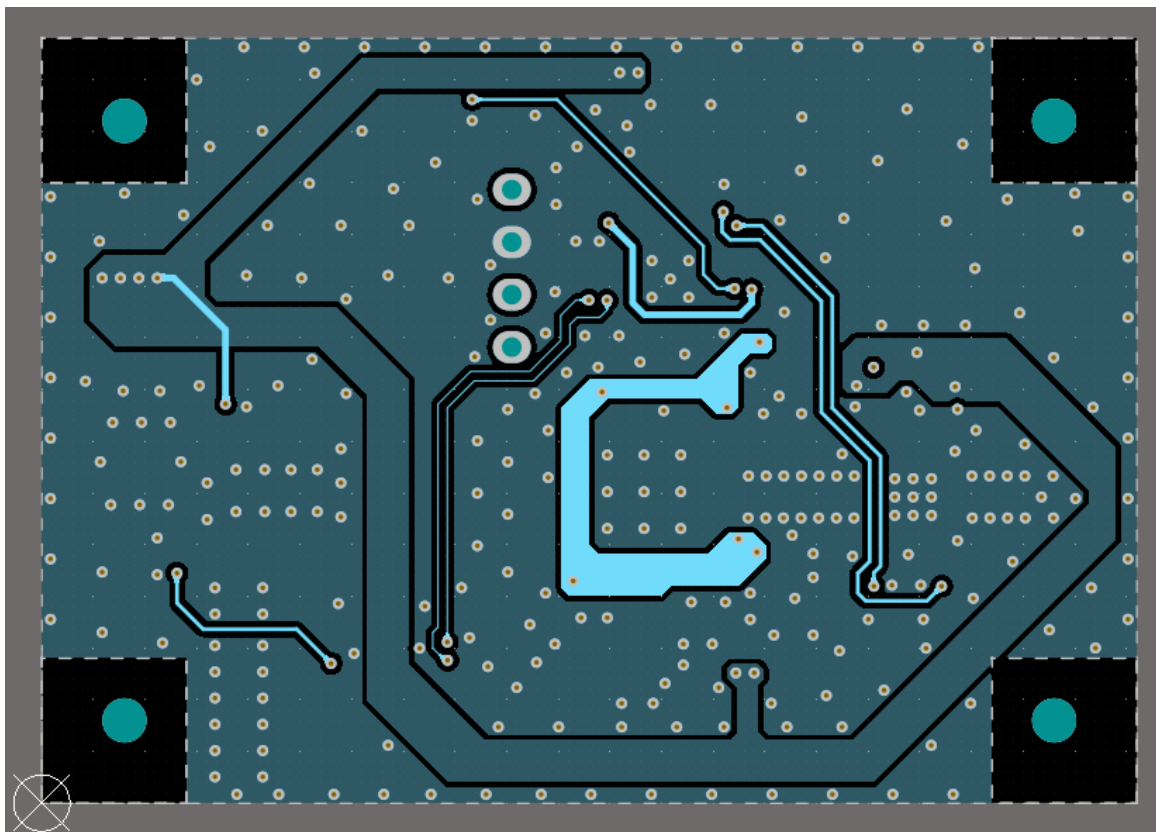


Рисунок 4.3 – Третій шар трасування.

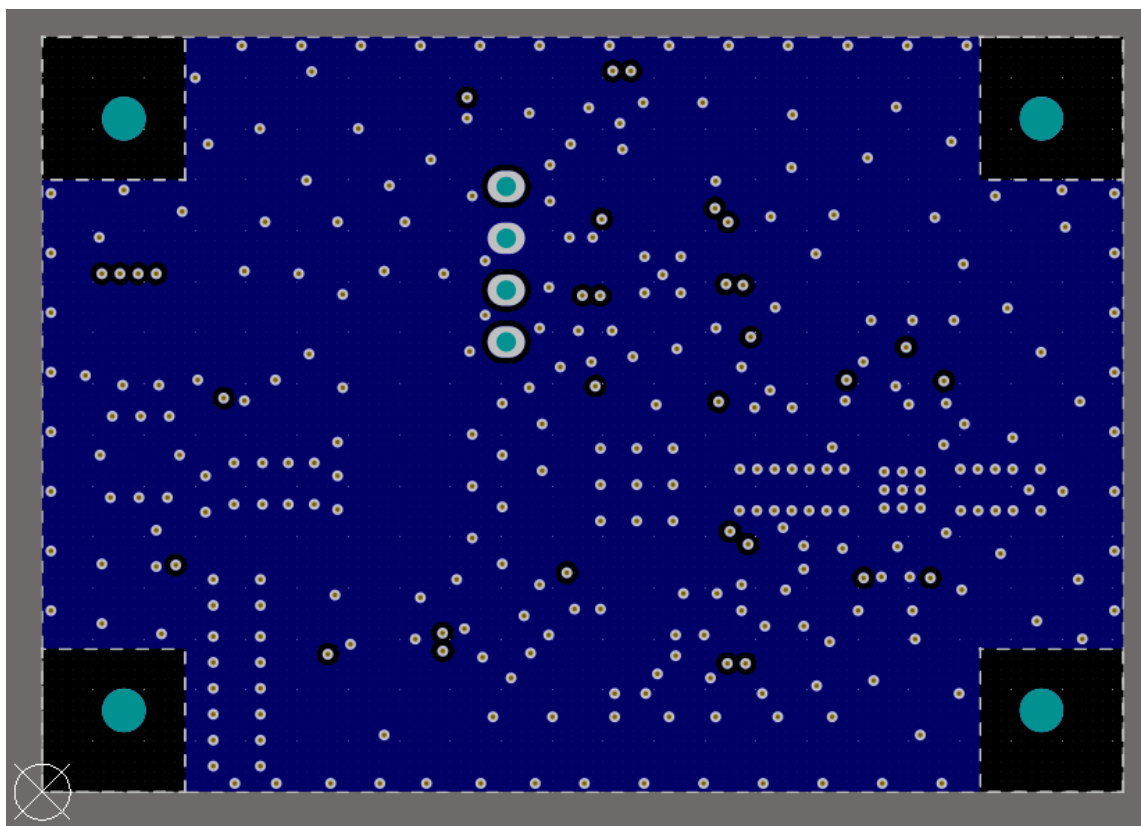


Рисунок 4.4 – Нижній шар трасування.

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

На рис. 4.3 було наведено 3D модель пристрою в середовищі Altium Designer.

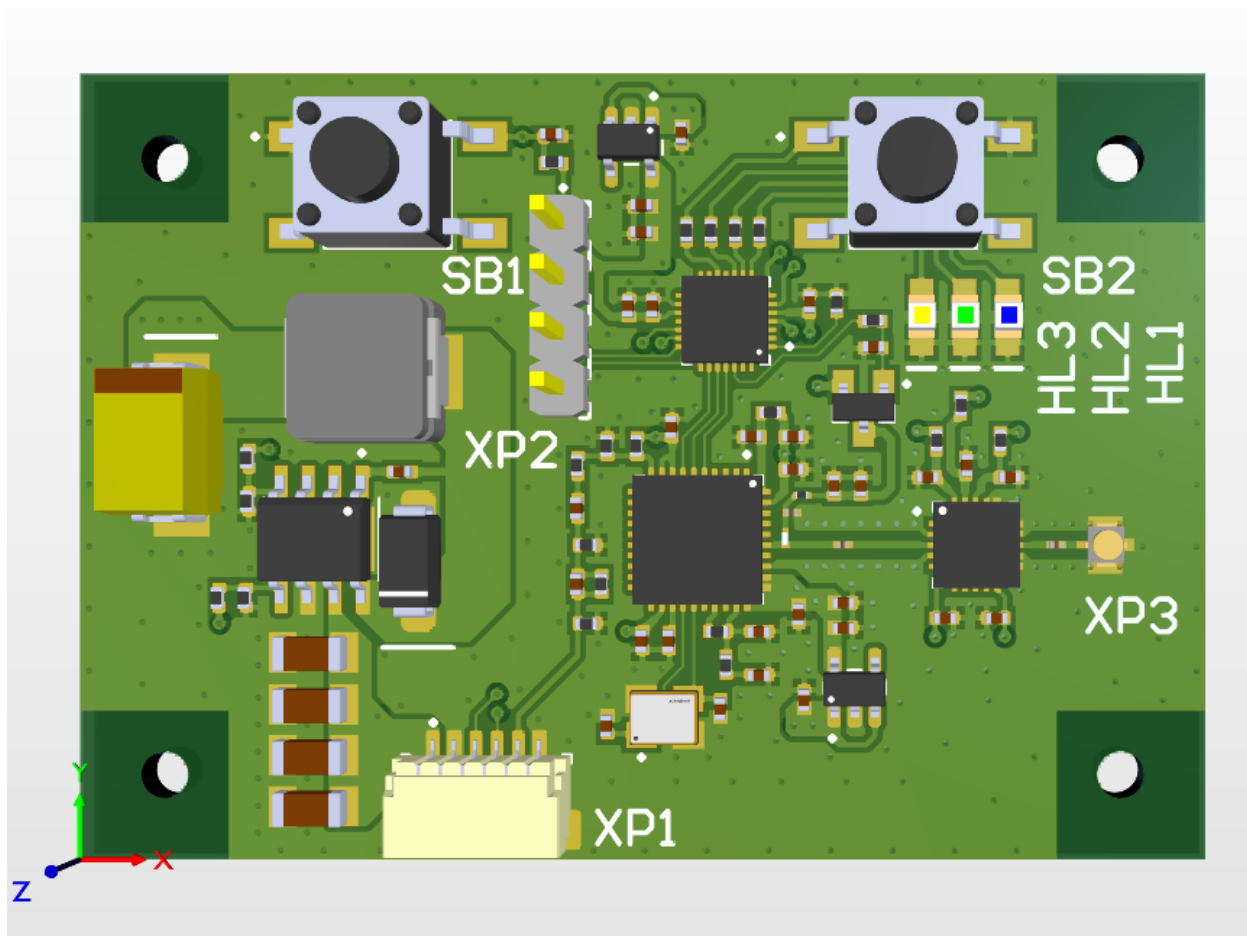


Рисунок 4.5 – Друкований вузол пристрою

Після трасування було проведено перевірку на помилки та попередження. Помилки виявлено не було і програма також розрахувала імпеданс радіочастотного тракту, який становив 50 Ом, відповідно до стандарту радіочастотного тракту. Така відповідність є критичною вимогою для узгодження хвильового опору між виходом антени, підсилювача та модулятора.

Завдяки збереженню опору мікросмужкових сигнальних ліній 50 Ом було мінімізовано відбиття електромагнітних хвиль, зменшено втрати потужності та покращено якість передачі аналогових відеосигналів, особливо у високочастотному діапазоні 5,8 ГГц.

Узгоджена передача сигналу в системі забезпечує стабільні амплітудно-

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частотні характеристики та мінімальний коефіцієнт стоячої хвилі (КСВ), що є необхідним для нормальної роботи ВЧ-вузлів передавача.

4.5 Розробка корпусу пристрою

Для розробки корпусу, зображеного на рис. 4. 6, було використано програмне середовище SolidWorks. Розміри та отвори для гвинтів було обрано, опираючись на розміри друкованої плати та розміщення на ній отворів. Його конструкція оптимізована для відведення тепла та жорсткого кріплення.

Матеріал: анодований алюміній.

Форма: закритий корпус із верхніми ребрами охолодження. Нижня та верхня кришка з радіатором з'єднуються між собою гвинтами M2x16. Ребра забезпечують ефективне природне охолодження підсилювача потужності, модулятора та стабілізаторів. Передбачені отвори для кнопок та світлодіодів та вирізи для посадки роз'ємів. В середині містить виступи для розміщення друкованої плати. Також на верхній кришці над радіатором можна розмістити кулер, для закріплення якого, передбачені 4 отвори під гвинти.

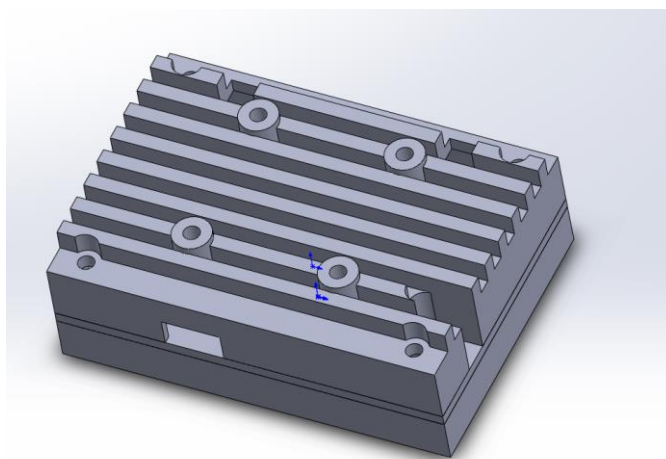


Рисунок 4.6 – Об'ємне зображення змодельованого корпусу в програмному середовищі.

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

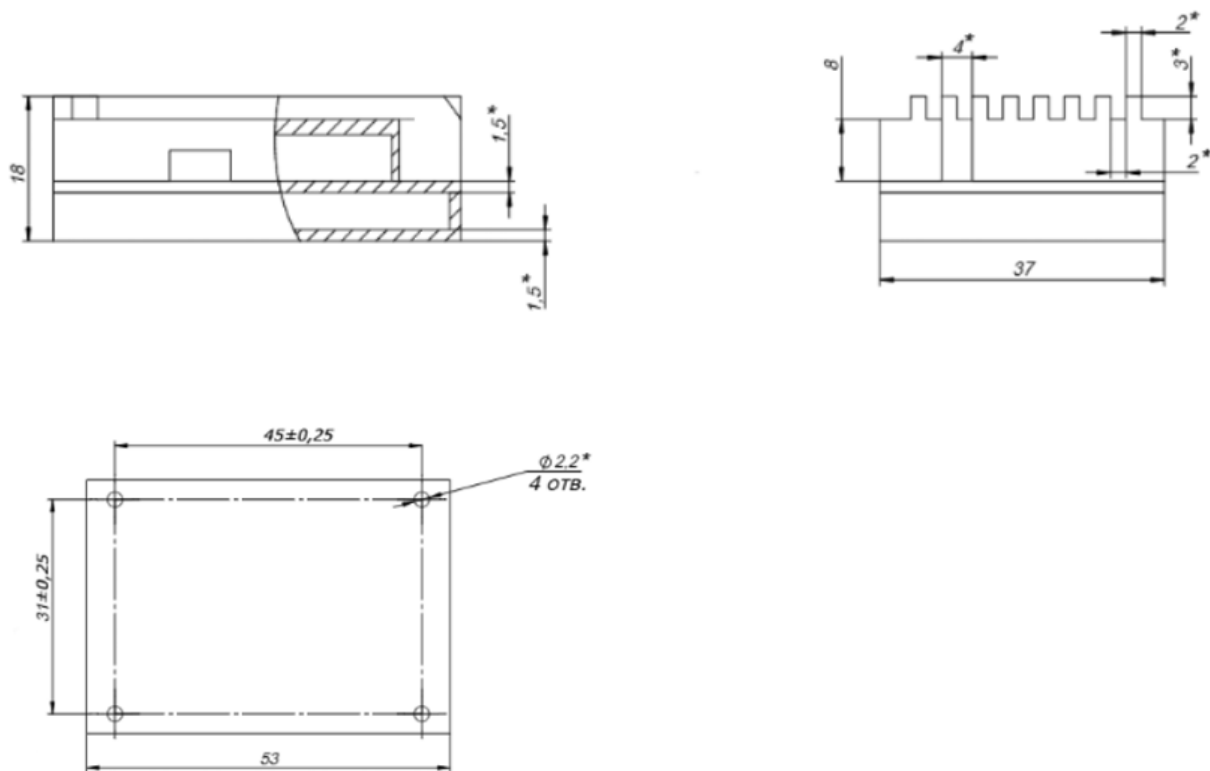


Рисунок 4.7 – Розміри корпусу.

Розмістивши та закріпивши друковану плату гвинтами М2х16 між нижньою та верхньою кришкою ми отримаємо готовий пристрій модуля радіопередачі аналогового відеосигналу з частотною модуляцією.

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

ВИСНОВКИ

Під час виконання дипломного проєкту розроблено модуль радіопередачі аналогового відеосигналу з частотною модуляцією. Проєкт включає повний цикл розробки: від аналізу ринку та технічних рішень до схемотехніки та дизайну друкованих плат. Зроблено огляд діючих FPV передавачів, на підставі якого розроблено технічне завдання, в якому встановлено основні параметри: спосіб модуляції (ЧМ), діапазон частот, тип відеосигналу, розміри плати, типи роз'ємів та умови живлення.

Застосування частотної модуляції пояснюється перешкодостійкістю та стабільністю відеозображення, а діапазон 5,8 ГГц є оптимальним з точки зору дальності та спектральної доступності. Ретельно підібрана елементна база: ЧМ-модуль, підсилювач потужності, мікроконтролер, стабілізатори та інші деталі, що забезпечують компактність, енергоефективність і відповідність вимогам. Розроблено та перевірено на правильність принципову схему з усіма функціональними блоками.

Розмір друкованої плати було остаточно визначено на основі розміру компонента та співвідношення сторін, а маршрутизацію було здійснено відповідно до вимог. Для покращення електромагнітної сумісності використовується 4-шарова плата з суцільною площиною заземлення. Узгодження хвиль (50 Ом) було досягнуто між ключовими радіочастотними блоками, мінімізуючи втрати та відбиття. Розроблено 3D-модель модуля, яка відповідає розмірним обмеженням і проста в інтеграції.

В результаті було розроблено зі всіма необхідними графічними та електронними матеріалами модуль радіопередачі аналогового відеосигналу з частотною модуляцією.

					РС11.453663.000ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. RushFPV MaxSolo [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://rushfpv.net/products/rushfpv-max-solo-vtx>
2. iFlight BLITZ Whoop [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://shop.iflight.com/BLITZ-Whoop-5.8G-2.5W-VTX-Pro2060?srsId=AfmBOornIvwX_TN0bRa1Di8ZNaA3cTz4_QHxXPR80bzre_PMS5_UPc6u
3. Skyzone AtomRC TX2500 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.skyzonefpv.com/products/skyzone-atomrc-tx2500-vtx-with-2-5w-output-and-5-8g-antenna>
4. RTC6703 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.jotrin.com/product/parts/RTC-6703>
5. SKY65050-372LF [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.skyworksinc.com/products/amplifiers/sky65050-372lf>
6. RTC6705 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1540279/ETC2/RTC6705.html>
7. GigaDevice GD32F130G6U6TR [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://jlcpcb.com/partdetail/95518-GD32F130G6U6TR/C94320>
8. CSTNE8M00G520000R0 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://jlcpcb.com/api/file/downloadByFileSystemAccessId/8588893257649049600>
9. TPS5430DDAR [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ti.com/cn/lit/ds/symlink/tps5430.pdf?ts=1747736074321>
10. LR6207-T33 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://jlcpcb.com/partdetail/LR-LR6207T33/C459783>
11. SS12L-SS120L [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://jlcpcb.com/api/file/downloadByFileSystemAccessId/8588883980930732032>
12. BWIPX-1-001E [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

https://jlcpcb.com/partdetail/BATWIRELESS-BWIPX_1001E/C496552

13.RFPA5542TR13 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

<https://jlcpcb.com/partdetail/Qorvo-RFPA5542TR13/C469030>

					PC11.453663.000ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	PC11.453663.000ПЗ	Пояснювальна записка	57	
3	A1	PC11.453663.001Е1	Схема структурна	1	
4	A1	PC11.453663.000ЕЗ	Схема електрична принципова	1	
5	A1	PC11.453663.000СК	Складальний кресленик	1	
6	A1	PC11.758724.001ДП	Друкована плата	1	
7	A1	PC11.453663.001ПЕ	Перелік елементів	5	

				PC11.453663.000ПЗ	
	ПБ	Підп.	Дата		
Розробн.	Євтух РС-11			Відомість дипломного проєкту	Лист 1
Керівн.	Неуймін О.С.				Листів 1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. РТС Гр. РС-11
Н/контр.	Піддубний В.О				
Зав.каф.					

ДОДАТОК А

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Радіотехнічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ
Керівник дипломного проєкту
_____ О.С. Неуймін
«__» _____ 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту Євтуху Владиславу Віталійовичу.

1. Назва і підстава для виконання роботи

Назва: «Модуль радіопередачі аналогового відеосигналу з частотною модуляцією»

Підстава для виконання: Наказ по факультету від «29» травня 2025 р. № 1840-с.

2. Мета і призначення ДП

Розробка функціонального модуля для бездротової передачі аналогового відеосигналу з частотною модуляцією

3. Вихідні данні для проведення ДП

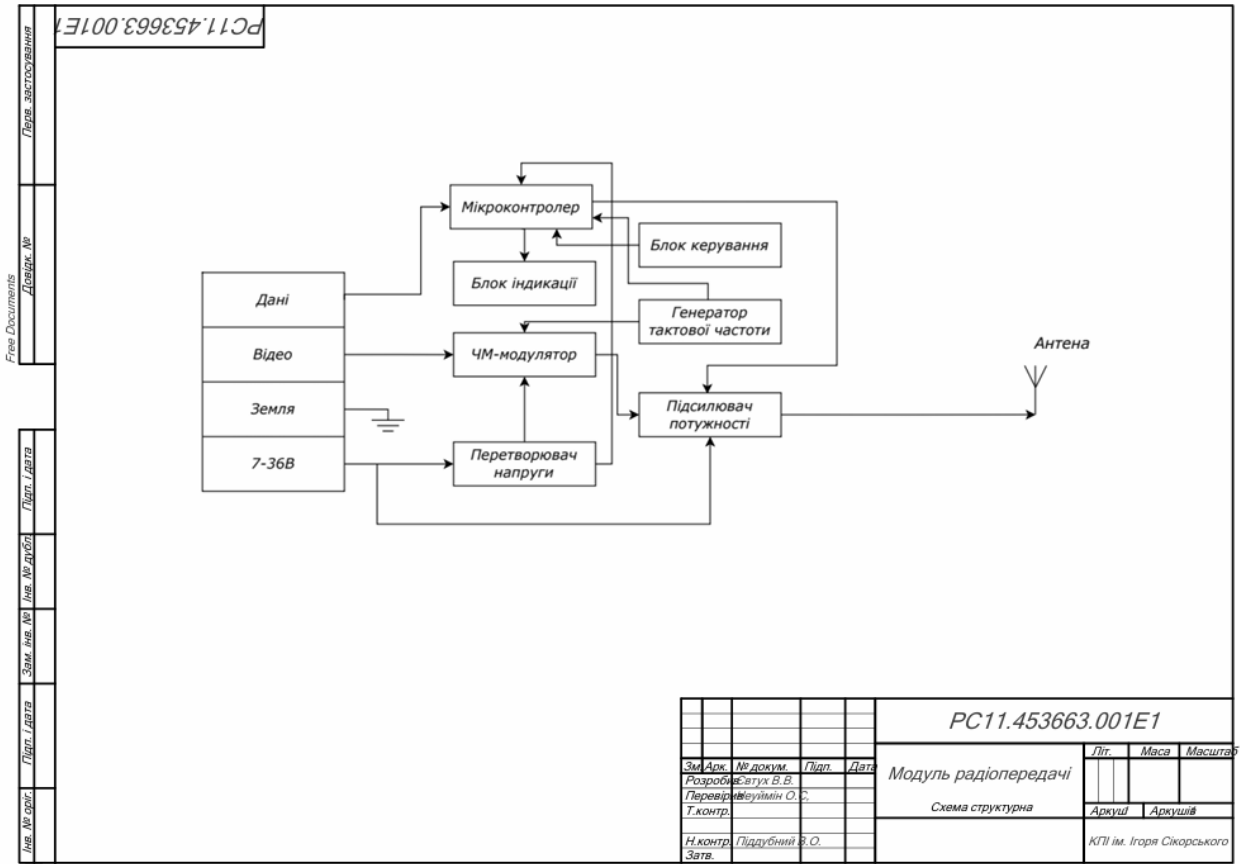
При виконанні ДП необхідно забезпечити данні характеристики для модуля радіопередачі:

1. Діапазон робочих частот 5.645-5.945 ГГц
2. Напруга живлення від 7 до 36 В
3. Наявність керування
4. Формат відеосигналу CVBS (PAL/NTSC)
5. Модуляція частотна
6. Вихідна потужність не менше 0.5 Вт

Студент

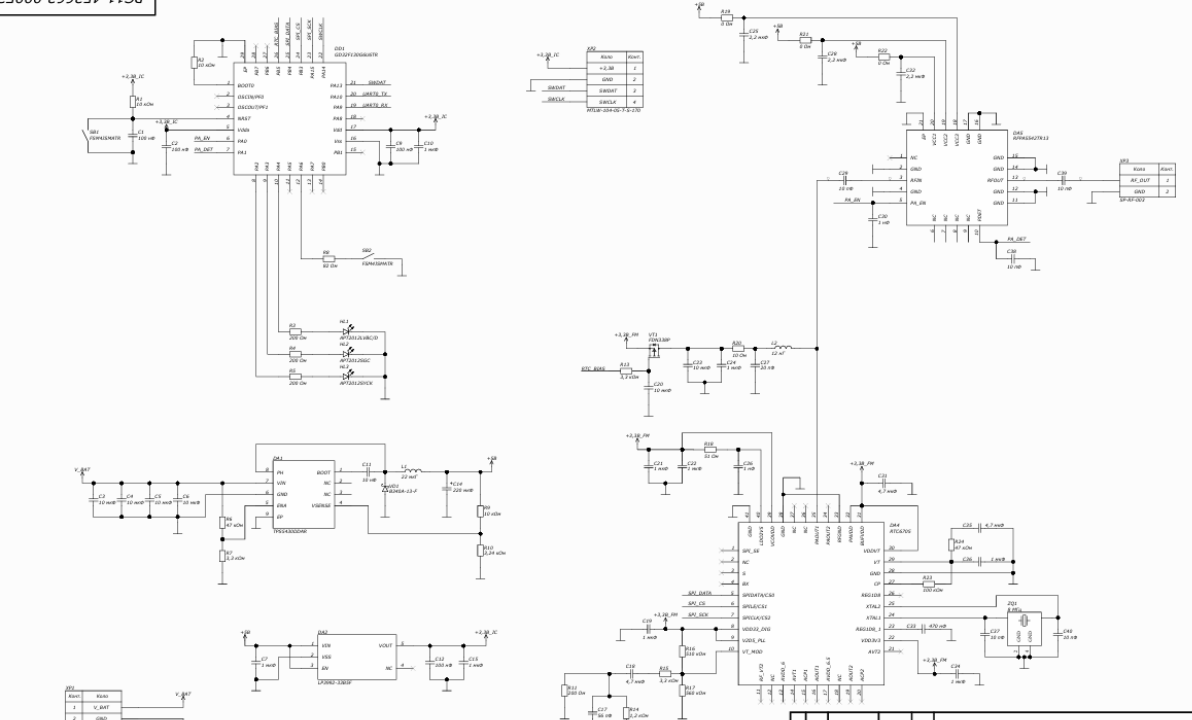
Євтух В.В

ДОДАТОК Б



PC11.453663.000E3

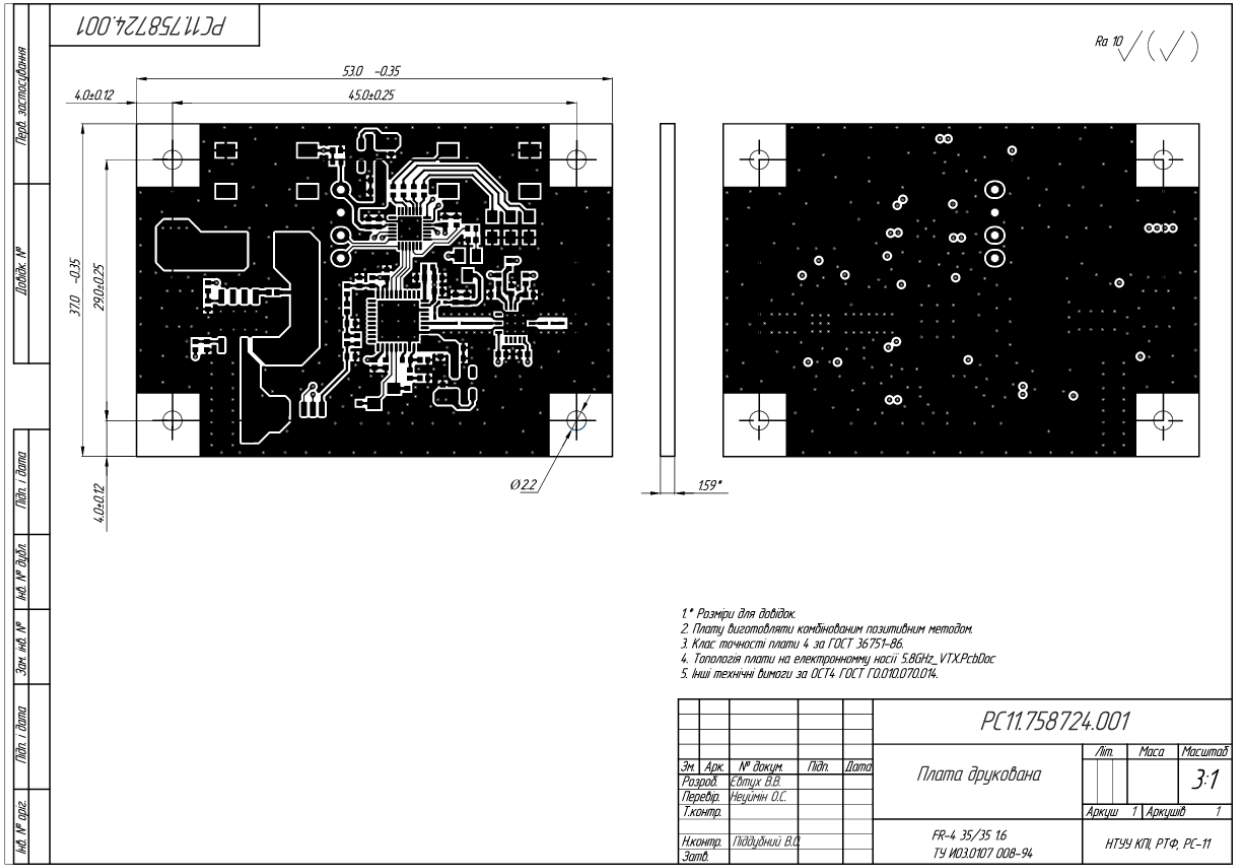
Сторона №1
Лист №1

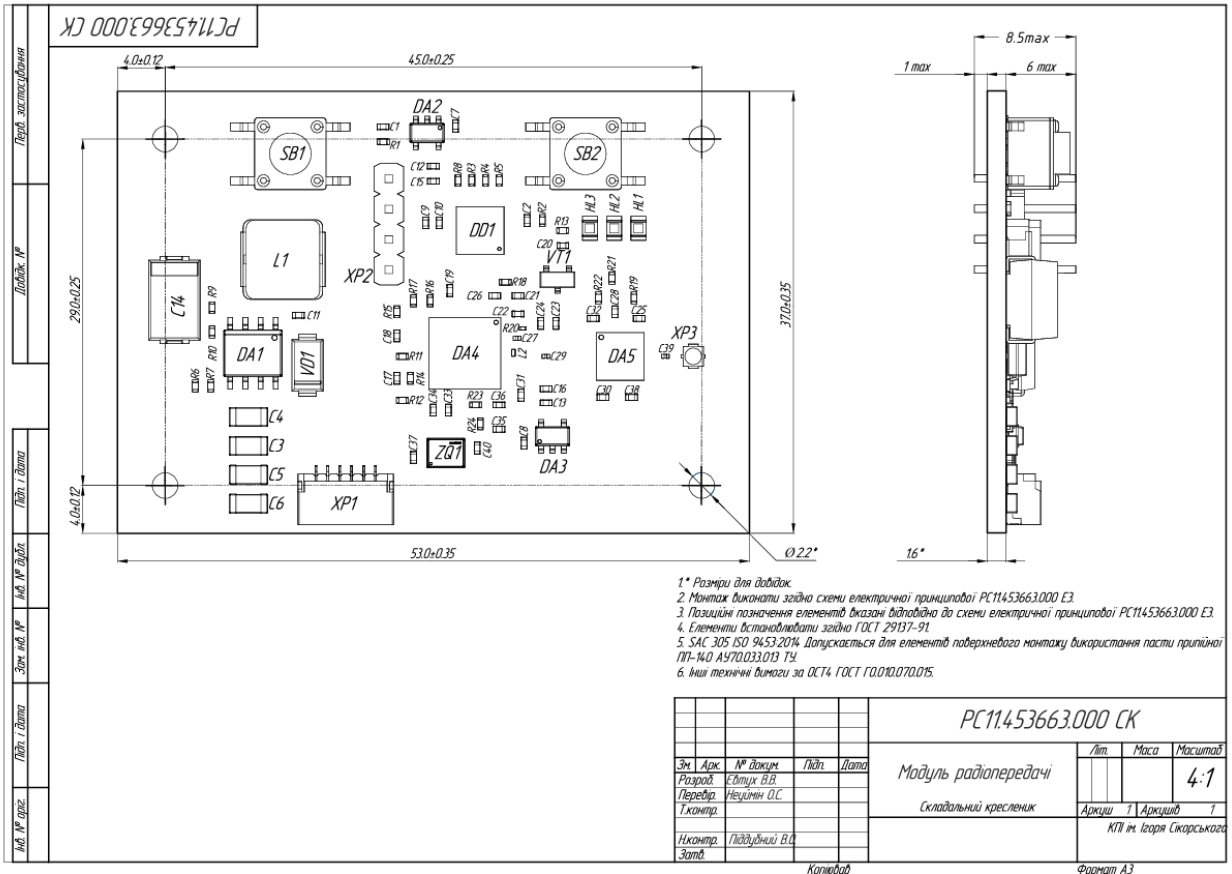


Конт.	Конт.	Конт.	Конт.	Конт.	Конт.
1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66
67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96
97	98	99	100		

				PC11.453663.000E3				
№	Лист	№ докум.	Планш.	Дата	Модуль радиопередачи	Лит.	Масса	Масштаб
Разработ.		Батух В.В.			Схема электрическая принципиальная	Лист 1	Листов 1	
Проект.		Кутуйкин О.С.						
Утвержд.		Падурбин В.Ф.						
Дата								

Копировать: _____
Формат: А3





Перелік елементів принципової схеми

<i>Позначення.</i>	<i>Найменування</i>	<i>Кіл.</i>	<i>Примітка</i>
	<u>Кондесатори</u>		
<i>C1, C2, C9, C12, C13</i>	<i>100 nF ±5pF 25V Ceramic Capacitor X7R 0402 (1005 Metric)</i>	<i>5</i>	
<i>C3, C4, C5, C6</i>	<i>10 μF ±10% 35V Ceramic Capacitor X7R 1206 (3216 Metric)</i>	<i>4</i>	
<i>C7, C8, C10, C15, C16, C19, C21, C22, C24, C34, C36</i>	<i>1 uF ±10% 10V Ceramic Capacitor X5R 0402 (1005 Metric)</i>	<i>11</i>	
<i>C11</i>	<i>10 nF ±10% 50V Ceramic Capacitor X7R 0402 (1005 Metric)</i>	<i>1</i>	
<i>C14</i>	<i>220 μF ±10% 10V Tantalum Capacitor 2917(7343 Metric)</i>	<i>1</i>	
<i>C17</i>	<i>56 pF ±5% 50V Ceramic Capacitor C0G, NP0 0402 (1005 Metric)</i>	<i>1</i>	
<i>C18, C31, C35</i>	<i>4.7 μF ±10% 10V Ceramic Capacitor X5R 0402 (1005 Metric)</i>	<i>3</i>	
<i>C20, C23</i>	<i>10 μF ±20% 10V Ceramic Capacitor X5R 0402 (1005 Metric)</i>	<i>2</i>	
<i>C25, C28, C32</i>	<i>2.2 μF ±10% 10V Ceramic Capacitor X7S 0402 (1005 Metric)</i>	<i>3</i>	
<i>C26, C30</i>	<i>1 nF ±2% 50V Ceramic Capacitor C0G, NP0 0402 (1005 Metric)</i>	<i>2</i>	
<i>C27</i>	<i>20 pF ±2% 50V Ceramic Capacitor C0G, NP0 0201 (0603 Metric)</i>	<i>1</i>	

PC11.453663.001ПЕ				
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>
<i>Розробив</i>	<i>В.Р.Р.</i>			
<i>Перевір.</i>				
<i>Н. контр.</i>				
<i>Затверд.</i>	<i>Г.Подубний</i>	<i>В.О.</i>		
Перелік елементів			<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>
			<i>1</i>	<i>5</i>
<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського</i>				

<i>Позначення.</i>	<i>Найменування</i>	<i>Кіл.</i>	<i>Примітка</i>
	<u>Кондесатори</u>		
C29, C39	10 pF ±1% 25V Ceramic Capacitor C0G, NP0 0201 (0603 Metric)	2	
C33	0.47 μF ±10% 16V Ceramic Capacitor X6S 0402 (1005 Metric)	1	
C37, C38, C40	10 pF ±1% 50V Ceramic Capacitor C0G, NP0 0402 (1005 Metric)	3	
	<u>Мікросхеми</u>		
DA1	Buck Switching Regulator IC Positive Adjustable 1.221V 1 Output 3A 8-PowerSOIC (0.154", 3.90mm Width)	1	
DA2, DA3	IC REG LIN 3.3V 300MA SOT-25-5	2	
DA4	RTC6705 CMOS 5.8GHz Band FM	1	
DA5	WiFi Integrated PA Module	1	
	<u>Світлодіоди</u>		
HL1	Blue 470nm LED Indication - Discrete 2.65V 0805 (2012 Metric)	1	
HL2	Green 568nm LED Indication - Discrete 2.2V 0805 (2012 Metric)	1	
HL3	Yellow 590nm LED Indication - Discrete 2V 0805 (2012 Metric)	1	

PC11.453663.001ПЕ				
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>
<i>Розробив</i>	<i>Свтух В.В.</i>			
<i>Перевір.</i>				
<i>Н. контр.</i>				
<i>Затверд.</i>	<i>Піддубний В.О.</i>			
Перелік елементів			<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>
			2	5
<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського</i>				

<i>Позначення.</i>	<i>Найменування</i>	<i>Кіл.</i>	<i>Примітка</i>
	<u>Котушки індуктивності</u>		
<i>L1</i>	<i>22 μH Shielded Molded Inductor 2.8 A 174mOhm Max Nonstandard</i>	<i>1</i>	
<i>L2</i>	<i>12 nH Unshielded Thick Film Inductor 250 mA 700mOhm Max 0201 (0603 Metric)</i>	<i>1</i>	
	<u>Резистори</u>		
<i>R1, R2, R9</i>	<i>10 kOhms ±1% 0.1W, 1/10W Chip Resistor 0402 (1005 Metric) Thick Film</i>	<i>3</i>	
<i>R3, R4, R5, R11</i>	<i>200 Ohms ±1% 0.063W, 1/16W Chip Resistor 0402 (1005 Metric) Thick Film</i>	<i>4</i>	
<i>R6, R24</i>	<i>47 kOhms ±1% 0.063W, 1/16W Chip Resistor 0402 (1005 Metric) Thin Film</i>	<i>2</i>	
<i>R7, R13, R15</i>	<i>3.3 kOhms ±1% 0.063W, 1/16W Chip Resistor 0402 (1005 Metric) Thick Film</i>	<i>3</i>	
<i>R8, R12</i>	<i>82 Ohms ±1% 0.063W, 1/16W Chip Resistor 0402 (1005 Metric) Thin Film</i>	<i>2</i>	
<i>R10</i>	<i>3,24 kOhms ±1% 0.1W, 1/10W Chip Resistor 0402 (1005 Metric) Thick Film</i>	<i>1</i>	
<i>R14</i>	<i>1.2 kOhms ±1% 0.063W, 1/16W Chip Resistor 0402 (1005 Metric) Thin Film</i>	<i>1</i>	
<i>R16</i>	<i>510 kOhms ±1% 0.1W, 1/10W Chip Resistor 0402 (1005 Metric) Thick Film</i>	<i>1</i>	
<i>R17</i>	<i>560 kOhms ±1% 0.1W, 1/10W Chip Resistor 0402 (1005 Metric) Thick Film</i>	<i>1</i>	
PC11.453663.001ПЕ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>
<i>Розробив</i>	<i>Євтух В.В.</i>		
<i>Перевір.</i>			
<i>Н. контр.</i>			
<i>Затверд.</i>	<i>Піддубний В.О.</i>		
Перелік елементів		<i>Літ.</i>	<i>Архиви</i>
			<i>Архивів</i>
			<i>3 5</i>
		<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського</i>	

<i>Позначення.</i>	<i>Найменування</i>	<i>Кіл.</i>	<i>Примітка</i>
	<u><i>Резистори</i></u>		
<i>R18</i>	<i>51 Ohms ±1% 0.063W, 1/16W Chip Resistor 0402 (1005 Metric) Thin Film</i>	<i>1</i>	
<i>R19, R21, R22</i>	<i>0 Ohms Jumper Chip Resistor 0402 (1005 Metric) Moisture Resistant Thick Film</i>	<i>3</i>	
<i>R20</i>	<i>10 Ohms ±1% 0.05W, 1/20W Chip Resistor 0201 (0603 Metric) Thick Film</i>	<i>1</i>	
<i>R23</i>	<i>100 kOhms ±1% 0.1W, 1/10W Chip Resistor 0402 (1005 Metric) Thick Film</i>	<i>1</i>	
	<u><i>Кнопки</i></u>		
<i>SB1, SB2</i>	<i>Round Button 50mA Vertical welding SPST - normally open 1.6N 24V SMD Tactile Switches ROHS</i>	<i>2</i>	
	<u><i>Діод</i></u>		
<i>VD1</i>	<i>40V 500mV@3A 3A SMA(DO-214AC) Schottky Diodes ROHS</i>	<i>1</i>	
	<u><i>Транзистор</i></u>		
<i>VT1</i>	<i>20V 3A 130mΩ@2.5V, 2A 1W 300mV 1 piece P- channel SOT-23-3 MOSFETs ROHS</i>	<i>1</i>	

					PC11.453663.001ПЕ					
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Перелік елементів					
<i>Розробив</i>	<i>Світук В.В.</i>							<i>Літ.</i>	<i>Аркши</i>	<i>Аркшиів</i>
<i>Перевір.</i>									4	5
<i>Н. контр.</i>	<i>ПіддубнийВ.О</i>							<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського</i>		
<i>Затверд.</i>										

