

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

**Радіотехнічний факультет
Кафедра прикладної радіоелектроніки**

«На правах рукопису»
УДК 621.3

До захисту допущено:
В.о. зав. кафедри



Андрій МОВЧАНЮК

«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

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

зі спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка

на тему: «Підсилювач для РЕБ систем у діапазоні 470-1000 МГц»

Виконав (-ла):

студент (-ка) 2 курсу, групи РЕ-31мп

Попов Нікіта Володимирович

(Прізвище ім'я по батькові)



Керівник к.т.н., доцент Лащевська Наталія Олександрівна

(Посада, науковий ступінь, вчене звання)



Рецензент к.т.н., доцент Чмельов В'ячеслав Орійович

(Посада, науковий ступінь, вчене звання)

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

Студент (-ка)



Київ – 2024 року

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

Радіотехнічний факультет

Кафедра прикладної радіоелектроніки

Рівень вищої освіти — другий (магістерський)

Спеціальність — 172 Електронні коменукції та радіотехніка

Освітньо-професійна програма — «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. зав. кафедри

Андрій МОВЧАНЮК

«___» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерські дисертацію студента

Попову Нікіті Володимировичу

1. Тема проєкту — «Підсилювач для систем РЕБ у діапазоні 470-1000 МГц», керівник проєкту — Лашевська Наталія Олександрівна, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «08» листопада 2024 р. № 5024-с.
2. Термін подання студентом проєкту 10 грудня 2024 року.
3. Об'єкт дослідження: Підсилювач для систем РЕБ у діапазоні 470-1000 МГц.
4. Вихідні дані до проєкту: робота у частотному діапазоні 470 – 1000 МГц, три каскади підсилення, система охолодження, нормальні умови експлуатації.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: підсилювальні каскади, загальний підсилювач з корпусом і системою охолодження.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: структурна схема, схеми електричні принципові, складальні кресленики друкованих вузлів, кресленики друкованих плат.

7. Орієнтовний перелік публікацій:

8. Дата видачі завдання: 05 вересня 2024 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів дисертації	Примітка
1	Огляд існуючих рішень	5.09.24 – 13.09.24	
2	Розробка та аналіз ТЗ	13.09.24 – 19.09.24	
3	Обґрунтування та вибір схемотехнічних рішень	20.09.24 – 10.10.24	
4	Вибір та обґрунтування елементної бази	10.10.24 – 20.10.24	
5	Проектування друкованих плат	20.10.24 – 15.11.24	
6	Розрахунки, що підтверджують працездатність	15.11.24 – 29.11.24	
7	Оформлення документації	29.11.24 – 9.12.24	

Студент

Нікіта ПОПОВ

Керівник

Наталія ЛАЩЕВСЬКА

АНОТАЦІЯ

Магістерська дисертація присвячена розробці підсилювач для систем РЕБ у діапазоні 470-1000 МГц. Дисертація включає в себе пояснювальну записку обсягом 58 сторінок, які включають: 56 рисунків, 11 таблиць, 1 додаток та 32 джерела посилання.

Мета магістерської дисертації — створення підсилювача з необхідними параметрами функціонування, використанням нових але доступних компонентів і прийнятними економічними показниками. Підсилювач повинен працювати у діапазоні робочих частот 470 – 1000 МГц, мати підсилення не менше 25дБ.

Для досягнення цілей проектування були проаналізовані аналоги, їх переваги і недоліки, зроблено аналіз технічного завдання, розроблено структурну схему і схему електричну принципову, проведено конструкторські розрахунки і розрахунки, що підтверджують працездатність приладу.

Ключові слова: підсилювач РЕБ систем, три каскади, діапазон частот 470 — 1000МГц.

ANNOTATION

The master's thesis is dedicated to the development of an amplifier for electronic warfare (EW) systems operating in the frequency range of 470–1000 MHz. The thesis includes an explanatory note consisting of 58 pages, which contain 56 figures, 11 tables, 1 appendix, and 32 references.

The purpose of the master's thesis is to create an amplifier with the required functional parameters, utilizing new yet accessible components and achieving acceptable economic performance. The amplifier should operate within the working frequency range of 470–1000 MHz and provide a gain of no less than 25 dB.

To achieve the design objectives, an analysis of existing analogs, their advantages and disadvantages was conducted. A technical specification analysis was performed, followed by the development of a block diagram and a detailed electrical schematic. Design calculations and performance verification calculations were also carried out to ensure the functionality of the device.

Keywords: amplifier for EW systems, three stages, frequency range 470–1000 MHz.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	9
1 ОГЛЯД АНАЛОГІВ. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ. РОЗРОБКА СТРУКТОРНОЇ СХЕМИ	10
1.1 Огляд та аналіз пристроїв на ринку	10
1.2 Аналіз ТЗ.....	14
1.3 Розробка структурної схеми	15
2 РОЗРОБКА ПІДСИЛЮВАЛЬНИХ ПЛАТ	17
2.1 Розробка першої підсилювальної плати	17
2.2 Вибір елементної бази для першої підсилювальної плати	18
2.2.1 Вибір основних компонентів	18
2.2.2 Вибір решти елементної бази	22
2.3 Вибір матеріалу ДП та припою	26
2.4 Визначення варіанту закріплення плати і розташування елементів.....	26
2.5 Визначення ширини провідників	27
2.6 Визначення розмірів першої друкованої плати	29
2.7 Трасування друкованої плати	30
2.8 Розробка другої підсилювальної плати	31
2.9 Вибір елементної бази для другої підсилювальної плати	32
2.9.1 Вибір основних компонентів	32
2.10 Вибір матеріалу ДП та припою	35
2.11 Визначення варіанту закріплення плати і розташування елементів	35
2.12 Визначення ширини провідника.....	36
2.13 Визначення розмірів першої друкованої плати	37
2.14 Трасування і 3Д вид першої підсилювальної плати.....	37
2.15 Проектування третьої підсилювальної плати	38
2.16 Моделювання топології в AWR Design.....	39
2.17 Результати моделювання.....	41
2.18 Практичні результати реалізації третьої підсилювальної плати.....	42
3 ПІДСИЛЮВАЧ ДЛЯ РЕБ СИСТЕМ В ДІАПАЗОНІ 470-1000МГц	45

3.1	Схема електрична принципова	45
3.2	Параметри підсилювача для РЕБ систем 470-1000МГц	47
3.3	Вигляд повної системи	49
4	РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ПРИЛАДУ	50
4.1	Розрахунок надійності	50
5	РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	52
5.1	Опис ідеї	52
5.2	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	53
5.3	Розробка ринкової стратегії проекту	57
5.4	Розробка маркетингової програми для проекту	57
	ВИСНОВКИ	59
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	60
	ДОДАТОК А	65
	ДОДАТОК Б	70

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

БПЛА — безпілотний літальний апарат

FPV — first person view

РЕБ — радіоелектронна боротьба

АЧХ — амплітудно-частотна характеристика

ВЧ — високочастотний

ДП — друкована плата

КСХН — коефіцієнт стоячої хвилі по напрузі

ТЗ — технічне завдання

КЗ — коротке замикання

ККД — коефіцієнт корисної дії

ВСТУП

Зі зростанням використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА), зокрема дронів FPV (First Person View), постає нагальна потреба у розробці ефективних засобів захисту від таких загроз. Дрони FPV використовуються у військових операціях, диверсійних операціях, для розвідки або доставки вантажів. Їх швидкість і можливість діяти на значних відстанях роблять їх небезпечними для військових об'єктів та цивільної інфраструктури.

Актуальність даного проєкту полягає у зростаючій потребі в ефективних системах радіоелектронної боротьби (РЕБ), здатних протидіяти FPV-дронам. Важливим аспектом захисту є не лише виявлення та відстеження таких дронів, а й активний вплив на їхні системи управління та зв'язку. Одним із ключових елементів системи РЕБ є підсилювач, здатний ефективно підсилювати сигнал завади і придушувати сигнали керування або зв'язку дронів з базовими станціями.

Пропонується створення підсилювача, здатного працювати в широкій смузі частот для придушення сигналу управління або навігації FPV-дронів.

Основні проєктні рішення передбачають розробку високочастотного широкосмугового підсилювача, що дозволить придушувати сигнали керування дронів.

Результати цього проєкту можуть бути застосовані як у військових, так і в цивільних структурах, для захисту від загроз, пов'язаних із використанням FPV-дронів.

1 ОГЛЯД АНАЛОГІВ. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ. РОЗРОБКА СТРУКТОРНОЇ СХЕМИ

1.1 Огляд та аналіз пристроїв на ринку

Підсилювачі РЕБ є невід'ємною частиною сучасних систем радіоелектронної боротьби. На українському ринку представлена велика кількість підсилювачів завади, серед яких домінують продукти китайського виробництва[1].

Перший аналог:



Рис1.1— Модуль перешкод 700-1000МГц

Представлений модуль перешкод призначений для випромінювання шумового сигналу в діапазоні 700-1000 МГц. На фото плати можна побачити ізолятор, який захищає від зворотнього сигналу, а також VCO з двома підстроювальними резисторами для підлаштування робочого діапазону.

Характеристики:

- діапазон частот: 700-1000 МГц;
- тип транзистора: нітрит-галієвий;
- вихідна потужність: 50 Вт;
- нерівномірність АЧХ по діапазону: 1.5 дБ;
- з'єднувач: SMA(f);
- напруга живлення: 24-32 В;
- струм споживання: 5 А;
- розмір: 37.3 x 112 x 19.5 мм;
- вага: 136 г;
- корпус: Алюміній.

Слід зазначити, що аналогічних підсилювачів більшість на ринку. Велика кількість модулів, які дешево коштують і розраховані на ширину частотної смуги 100МГц, тобто не мають вбудованої VCO.

З недоліків можна відмітити, відсутність системи охолодження, а також захисту від короткого замикання.

Модуль перешкод PA1013, виробник SUNGSAN[2].



- діапазон частот: 20-1000 МГц;
- вихідна потужність: 100 Вт;
- нерівномірність АЧХ по діапазону: 1.5 дБ;
- вхідна потужність: 1 мВт;
- максимальна вхідна потужність: 3.2 мВт;
- зворотні втрати: -10 дБ;
- максимальна вхідна потужність: 3.2 мВт;
- рівень другої гармоніки: -20 дБс;
- рівень третьої гармоніки: -16 дБс;
- діапазон робочих температур: -10...+65 °С;
- вхідний, вихідний з'єднувачі: SMA(f);
- з'єднувач керування: Hybrid, D-Sub, 7W2 (m);
- напруга живлення: 32 В;
- струм споживання: 10 А;
- розмір: 37.3 x 112 x 19.5 мм;
- вага: 136 г;
- корпус: Алюміній.

Знову з мінусів можна відзначити відсутність системи охолодження при вихідній потужності 100 Вт і робочому температурному діапазоні $-10...+65\text{ }^{\circ}\text{C}$. Також виробник зазначає, що рівень другої гармоніки становить -20 дБс . У нашому випадку ці значення не є критичними. Також плюсом є моніторинг температури і струму, а також ввімкнення і вимкнення за допомогою з'єднувача D-SUB.

Третій аналог:

Плата підсилювача TDE300UHF, виробник Techno Design Engineering[3].



Рис1.3— Плата підсилювача 470-862МГц

Характеристики:

- вихідна потужність: 60 Вт;
- частотний діапазон: 470 до 862 МГц;
- коефіцієнт підсилення: 20 дБ;
- зворотні втрати: -18 дБ ;
- напруга живлення: 48 В;
- рівень спектральних компонент: -30 дБс ;
- коефіцієнт корисної дії: 20 %;

Дана підсилювальна плата має хороші характеристики в плані підсилення: 20дБ. Тобто вхідний сигнал підсилюється в 100 разів на виході плати. Також рівень спектральних компонент -30дБс, що є гарним показником, оскільки при номінальній вихідній потужності потужність спектральних складових складе 0.06 Вт. Однак, його низька ефективність (20%) може вимагати додаткового охолодження, особливо при постійному використанні на високій потужності.

1.2 Аналіз ТЗ

- частотний діапазон: 470 – 1000 МГц;
- коефіцієнт підсилення: не менше 25 дБ;
- напруга живлення 24 – 48 В;
- вихідна потужність: не менше 50 Вт;
- коефіцієнт корисної дії (ККД): не нижче 20%.

Умови експлуатації

Підсилювач призначений для експлуатації у відповідних кліматичних умовах: макрокліматичних районах з помірним кліматом як вбудований елемент «усередині комплектних виробів» відповідно до нормальних умов експлуатації згідно з ГОСТ 15150-69. Пристрій повинен забезпечувати стабільну роботу за таких умов[4]:

- діапазон робочих температур: від -25 °С до +45 °С;
- відносна вологість повітря: до 90% при температурі +15 °С.

Умови транспортування

Транспортування підсилювача здійснюється згідно з нормами ГОСТ 23216-78 для умов середнього навантаження (СН). Перевезення автомобільним транспортом із загальною кількістю перевантажень не більше чотирьох:

- дорогами з асфальтовим і бетонним покриттям (дороги 1-ї категорії) на відстань від 200 до 1000 км;

—бруківкою (дороги 2-ї і 3-ї категорії) та ґрунтовими дорогами на відстань від 50 до 250 км зі швидкістю до 40 км/год.

Перевезення різними видами транспорту: повітряним, залізничним транспортом у поєднанні між собою та з автомобільним транспортом, що відноситься до умов транспортування Л, із загальною кількістю перевантажень від 3 до 4 або до поточних умов транспортування.

1.3 Розробка структурної схеми

Відповідно до технічних вимог і проміжних висновків до аналізу аналогів на ринку, можна сказати, що нам потрібен багато ступеневий підсилювач. Пропонується підсилювач з декількома каскадами. Багатоступеневий підсилювач дозволить досягти високого коефіцієнта підсилення при широкому діапазоні частот

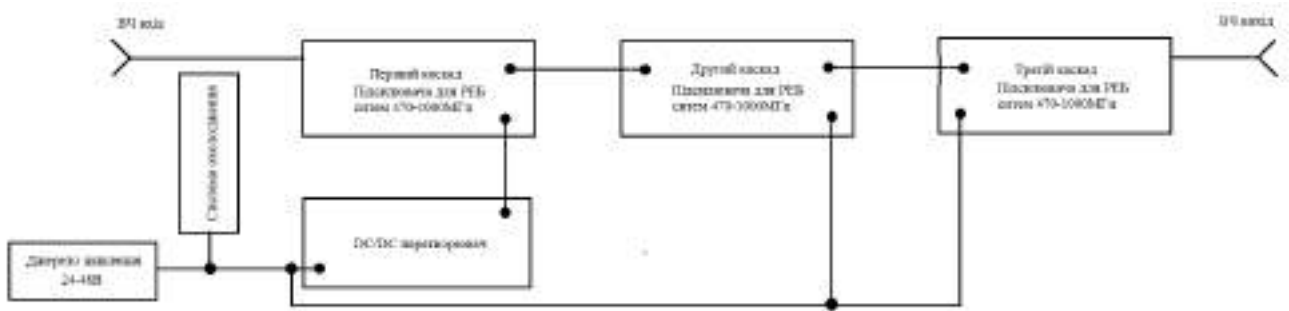


Рис1.4— Структурна схема підсилювача РЕБ 470-1000МГц

Перший каскад має бути низькошумним, з високим коефіцієнтом підсилення, стабільним у широкому діапазоні частот і лінійним, щоб забезпечити оптимальне початкове підсилення без надмірного спотворення або втрат. Напруга живлення першого каскаду може бути нижчою (наприклад, 5–12 В), щоб уникнути надмірного теплового розсіювання на початковому етапі підсилення.

Як один з варіантів можна розглянути плату на мікросхемі GVA-84+. Другий каскад має забезпечувати високе і стабільне підсилення з хорошою лінійністю та узгодженням на частотах 400–1000 МГц. Він не вимагає такого

низького рівня шумів, як перший каскад, але повинен мати зворотні втрати (більше -15 дБ) для зменшення відбиттів та мінімізувати спотворення підсилення. Третій каскад має безпосередньо працювати з потужностями, близькими до вихідної, він повинен мати здатність до ефективної роботи при високих рівнях сигналу. Це передбачає використання транзисторів або підсилювальних елементів з високою потужністю, наприклад, GaN або LDMOS транзисторів, які мають високу вихідну потужність і ефективність при роботі на високих частотах.

Формула 2.1 з Datasheet [5] дозволяє розрахувати напругу на виході DC/DC перетворювача:

$$V_{out} = V_{fb} \cdot \frac{(R8+R9)}{R9}, \quad (2.1)$$

де V_{out} — вихідна напруга, В;

V_{fb} — напруга зворотного зв'язку, (дорівнює 0,8 В);

$R8$ і $R9$ — значення опорів 165 кОм і 16 кОм відповідно.

У нашому випадку отримуємо 9 В на виході знижувального перетворювача. Діод VD1 захищає плату від зворотного струму, підвищуючи надійність системи.

2.2 Вибір елементної бази для першої підсилювальної плати

Відповідно до роботи пристрою та визначених необхідних параметрів структурних елементів, що необхідно забезпечити, був проведений підбір елементної бази пристрою.

Головними критеріями вибору елементів були:

- економічність;
- доступність.

2.2.1 Вибір основних компонентів

Для понижувача напруги була обрана мікросхема MP1584 MPS. Зображення мікросхеми — на рисунку 2.2 [5].



Рисунок 2.2 — Мікросхема MP1584 MPS

MP1584MPS — високочастотний знижувальний перетворювач з імпульсним регулятором із вбудованим внутрішнім високовольтним силовим MOSFET-транзистором високої напруги. Широкий діапазон вхідної напруги від 4,5 до 30 В дозволяє використовувати у багатьох пристроях. За перемикання на частоті 1,5 МГц, MP1584 може запобігти шуму ЕМІ (електромагнітних перешкод). Даний понижувач, буде працювати на частоті 1 МГц. Цю частоту визначає резистор R3, який під'єднаний до 6 виводу мікросхеми.

Характеристики:

- програмована частота перемикання: від 100 кГц до 1,5 МГц;
- напруга живлення від: -0,3 В до +30 В;
- напруга перемикання від: -0,3 В до +0,3 В.

Діод V340AF-13 Diodes Inc. був обраний відповідно до характеристик які зазначив виробник мікросхеми MP1584.Зображення корпусу — на рисунку 2.4 [6].

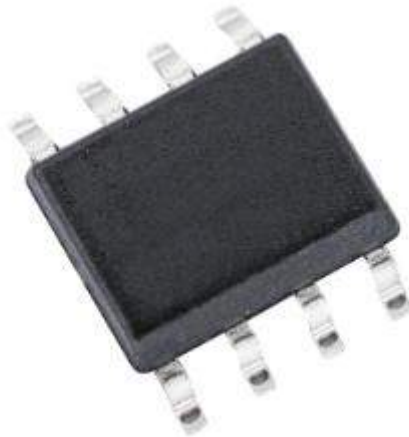


Рисунок 2.4 — діод V340AF-13

Характеристики:

- прямий струм: 3 А;
- повторювана зворотна напруга: 40 В;
- пряма напруга: 500 мВ;
- піковий імпульсний прямий струм: 80 А.

У якості варіанту підсилювальної мікросхеми для першої підсилювальної плати була обрана мікросхема GVA-84+. Зображення мікросхеми — на рисунку 2.5 [7].



Рисунок 2.5 — Мікросхема GVA-84+

GVA-84+ — підсилювач із широким динамічним діапазоном. Має повторюваність виконання від партії до партії та вкладений у корпус SOT-89.

Характеристики:

- високе підсилення: 24 дБ на 100 МГц;
- висока потужність: 20,5 дБм на 100 МГц;
- напруга живлення: 5 В.

S-параметри для діапазону частот 400-1000МГц:

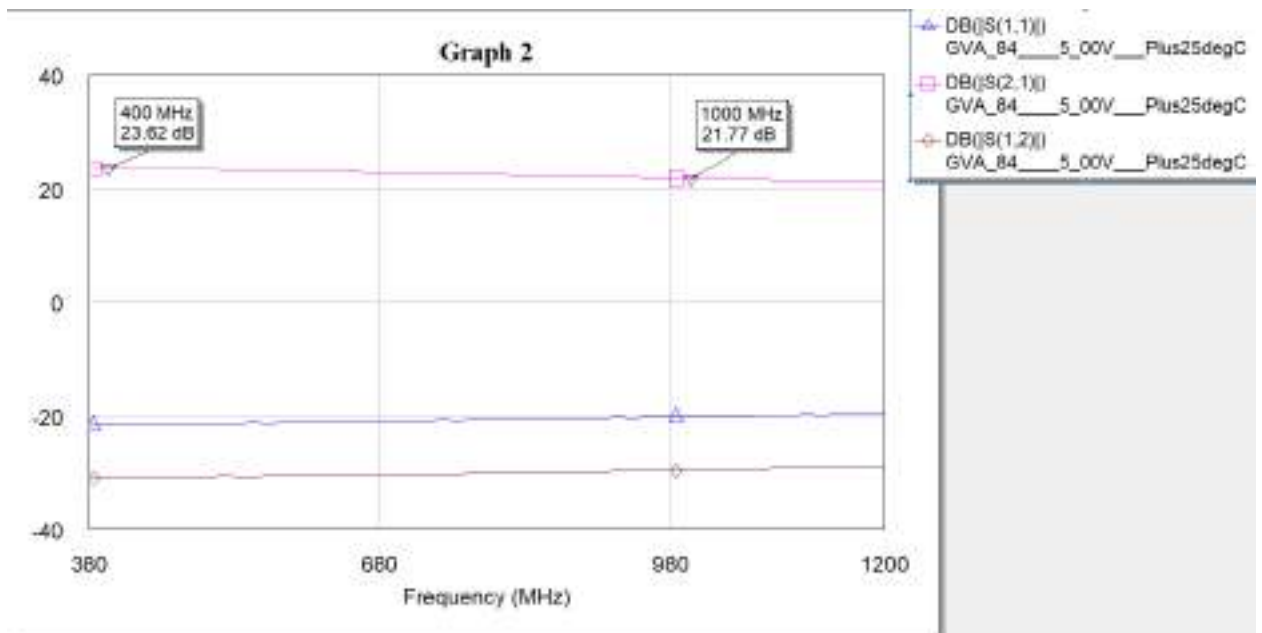


Рисунок 2.6 — S-параметри для мікросхеми GVA-84+

Зворотні втрати до -20 дБ в усьому діапазоні частот. Підсилення у діапазоні частот коливається від приблизно 23.61 дБ на частоті 400 МГц до

21.77 дБ на частоті 1000 МГц. Це свідчить про гарну лінійність підсилення, що дещо зменшується з ростом частоти.

Цей графік свідчить про те, що підсилювач GVA-84+ має стабільне підсилення (приблизно 22-24 дБ) у діапазоні від 400 МГц до 1000 МГц з хорошими характеристиками узгодження ($S_{11} \approx -20$ дБ).

У якості підсилювача для першої підсилювальної плати була обрана мікросхема РНА-102+. Зображення мікросхеми — на рисунку 2.7 [8].



Рисунок 2.7 — Мікросхема РНА-102+

РНА-102+ — широкопasmовий підсилювач із широким динамічним діапазоном у тому ж корпусі, що і попередня мікросхема. Хоча вона програє у підсиленні попередній мікросхемі, представлена мікросхема було обрана через її гарну лінійність в робочому діапазоні, вона карща ніж у попередньої мікросхеми на 1.5дБ.

Характеристики:

- високе підсилення: 14 дБ на 900 МГц;
- висока лінійність: 0.3 дБ в діапазоні 50-3000 МГц;
- напруга живлення: 9 В.

S-параметри для діапазону частот 400-1000МГц:

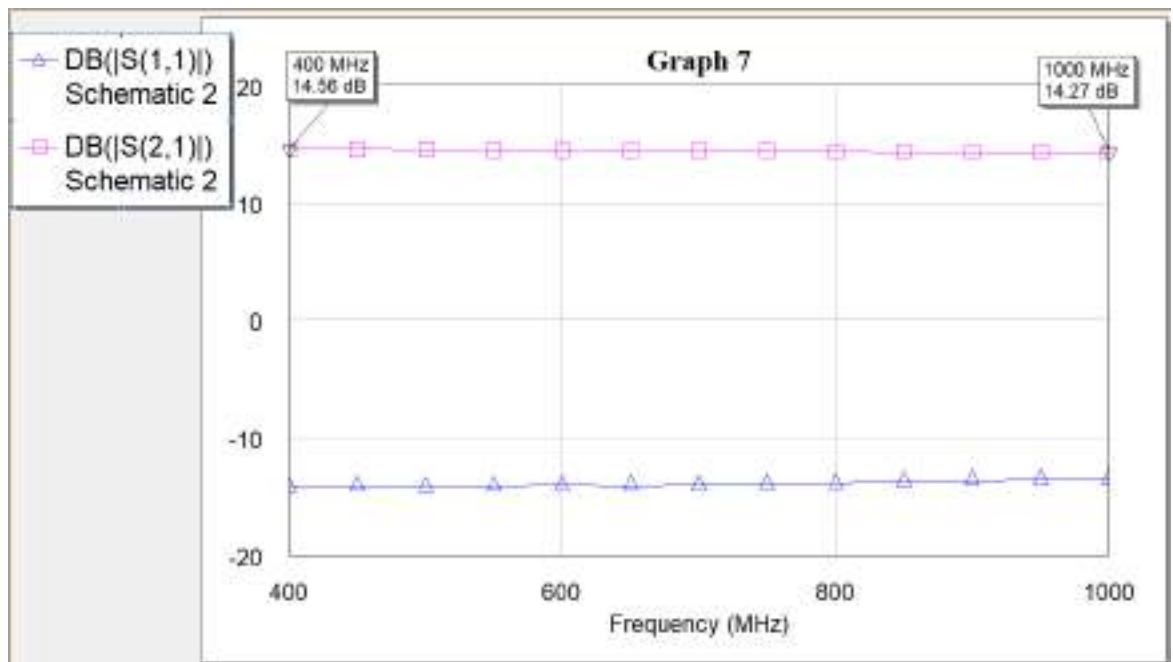


Рисунок 2.8 — S-параметри для мікросхеми PNA-102+

Як і було написано в datasheet, у цієї підсилювальної мікросхеми дуже гарна лінійність, краща ніж у попередньої мікросхеми, але вона програє в підсиленні і в зворотніх втратах, але не критично.

2.2.2 Вибір решти елементної бази

Конденсатори 0603, NP0, 100 пФ 5%, 100В (C1,C4,C9,C10), які зображено на рисунку 2.9, мають малі габаритні розміри, що властиво SMD елементам, ємність конденсаторів типу NP0 майже не змінюється зі зміною температури. На відміну від них, інші типи керамічних конденсаторів, такі як X7R або Y5V, мають значно більшу зміну ємності при зміні температури рис.2.9[9].

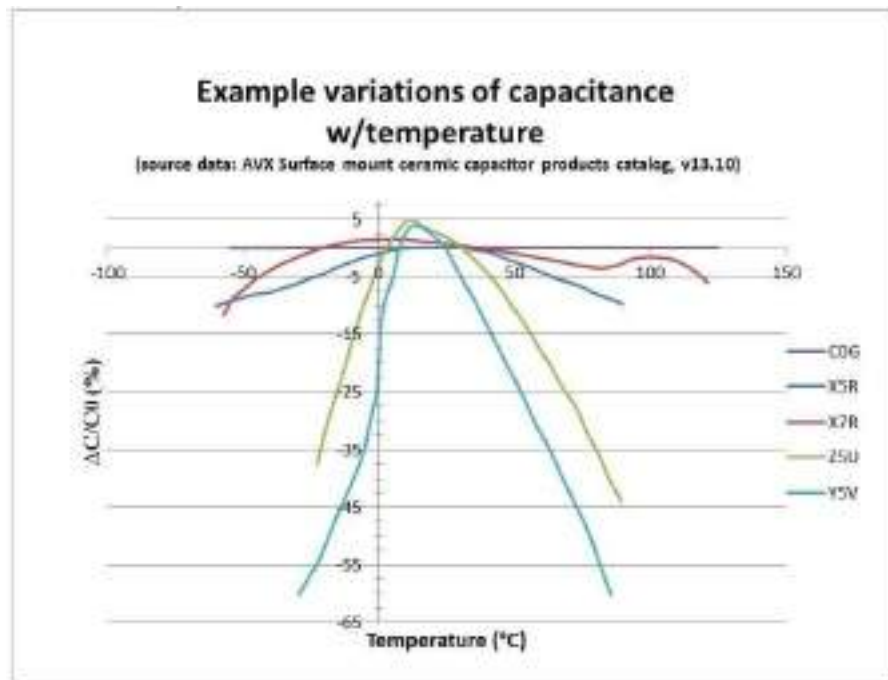


Рисунок 2.9 — Мікросхема РНА-102+

Також NP0 конденсатори мають дуже низький тангенс кута втрат відрізняються стійкою роботою у високочастотних колах, [10].



Рисунок 2.10 — Конденсатор ємністю 100 пФ

Характеристики:

- ємність: 100 пФ;
- номінальна напруга постійного струму: 100 В;
- діапазон температур: -55 °C – 125 °C.

Конденсатори 0805 X7R 0,1мкФ 50В ±10% [11] (C3,C5,C7,C12)



Рисунок 2.11 — Конденсатор ємністю 0,1мкФ

- ємність: 0,1 мкФ;
- номінальна напруга постійного струму: 50 В;
- діапазон температур: -55 °С – 125 °С.

Конденсатори 0805 X7R 150 пФ 50 В $\pm 10\%$ [11] (С6)



Рисунок 2.12 — Конденсатор ємністю 150 пФ

- ємність: 150 пФ;
- номінальна напруга постійного струму: 50 В;
- діапазон температур: -55 °С – 125 °С.

Конденсатор EZV-C, 22 мкФ 20%, 25 В (С2, С8) зображений на рисунку 2.13 [12].



Рисунок 2.13 — Конденсатор на 22 мкФ

Характеристики:

- ємність: 22 мкФ;
- номінальна напруга постійного струму: 25 В;
- діапазон температур: -40 °С – 105 °С.

Для резисторів обрані моделі одного корпусу 0603, номіналів 165 кОм 5% (R8), 100 кОм 5% (R7), 16 кОм 5% (R9), 33 кОм 5% (R5), 200 кОм 5% (R6), 130 кОм 5% (R4). Зображення корпусу — на рисунку 2.14 [13].



Рисунок 2.14 — Резистор на 100 кОм

Характеристики:

- номінальна потужність: 0,1 Вт;
- діапазон температур: -55 °C – 125 °C.

Для індуктивностей були обрані:

Дросель 22мкГн CDRH4D28NP, екрановані котушки індуктивності загального призначення для поверхневого монтажу[14]:



Рисунок 2.15 — Резистор на 22 мкГн

Характеристики:

- індуктивність: 22мкГн;
- робочий струм: 2.56А.

Індуктивність 0805 200 нГн 750 мА, LQW2BANR20J00[15]:



Рисунок 2.16 — Резистор на 200 нГн

Невеликі розміри, висока добротність, широкий діапазон робочих температур роблять цей компонент універсальним для багатьох електронних пристроїв.

Характеристики:

- індуктивність: 27нГн;
- робочий струм: 0.75А.
- ємність: 470 пФ;

Для фільтру був обраний LFCN-1000+[16].



Рисунок 2.17 — Фільтр LFCN-1000+

Характеристики:

- вносимі втрати до 1000МГц: 1дБ;
- частота зрізу: 1300МГц.
- затухіння на частоті зрізу: 3 дБ;

2.3 Вибір матеріалу ДП та припою

Друкована плата буде виготовлена з FR-4 18/18 0,5 мм — фольгований склотекстоліт. Обрано матеріал з товщиною фольги 18 мкм і товщиною діелектрика 0.457 мм. Цей тип матеріалу був вибраний за його доступність за ціною і високу електричну міцність. Також до плюсів можна віднести його вологостійкість, термостійкість та легкість. Для паяння SMD-компонентів буде використано припій SAC 305 ISO 9453:2014, що не має у своєму складі свинцю.

2.4 Визначення варіанту закріплення плати і розташування елементів

Плату буде закріплено гвинтами М3,5 × 6 безпосередньо на корпусі для кращої тепловіддачі.

Отворів для закріплення буде 5, для отримання гарного контакту з корпусом, для запобігання впливу зовнішніх і внутрішніх вібрацій.

Клас точності

Вибраний клас точності — 3 оскільки, з одного боку, забезпечує досить високу щільність трасування і монтажу, а з іншого — для їх виробництва потрібно рядове, хоча і спеціалізоване обладнання.

Вибір методу виготовлення друкованих плат



Рисунок 2.18 — Розміщення компонентів на платі

Тип 1В [17]: тільки компоненти поверхневого монтажу (SMD). Цей тип не є загальним, тому що більшість розробок потребує DIP компоненти

Порядок проведення процесу монтажу:

- нанесення припайної пасти;
- встановлення компонентів;
- пайка;
- промивання.

2.5 Визначення ширини провідників

Для визначення ширини провідників буде використовуватись калькулятор розрахунку провідників який вбудований в KiCad, де ми і будемо трасувати плату. Для силових ліній оберемо струм в 2А, і зміну температури 20°C. Таким же чином визначимо ширину провідників для інших доріжок.



Рисунок 2.19 — Вигляд калькулятора

Розрахунок проводиться формулою, що зазначена в калькуляторі:

Формула з IPC 2221

$$I = K \cdot \Delta T^{0.44} \cdot (W \cdot H)^{0.725}$$

де:

I — максимальний струм в А

ΔT — це підвищення температури вище температури навколишнього середовища в °C

W — ширина в мілях

H — товщина (висота) у мілях

K становить 0,024 для внутрішніх слідів або 0,048 для зовнішніх слідів

Рисунок 2.20 — Формула розрахунку ширини провідників

Для дротів живлення оберемо дріт НВ-1, 0.35 мм². Відповідно діаметри отворів для монтажу будуть 1.5 мм.

Для проектування мікросмужкової лінії застосовано програму Microwave Office, а саме — утиліту TX-Line. Вводимо параметри у таблицю (матеріал N4000-6 FC), а саме: діелектричну константу, матеріал провідника, імпеданс, середню частоту. Введені дані зображені на рисунку 2.21.

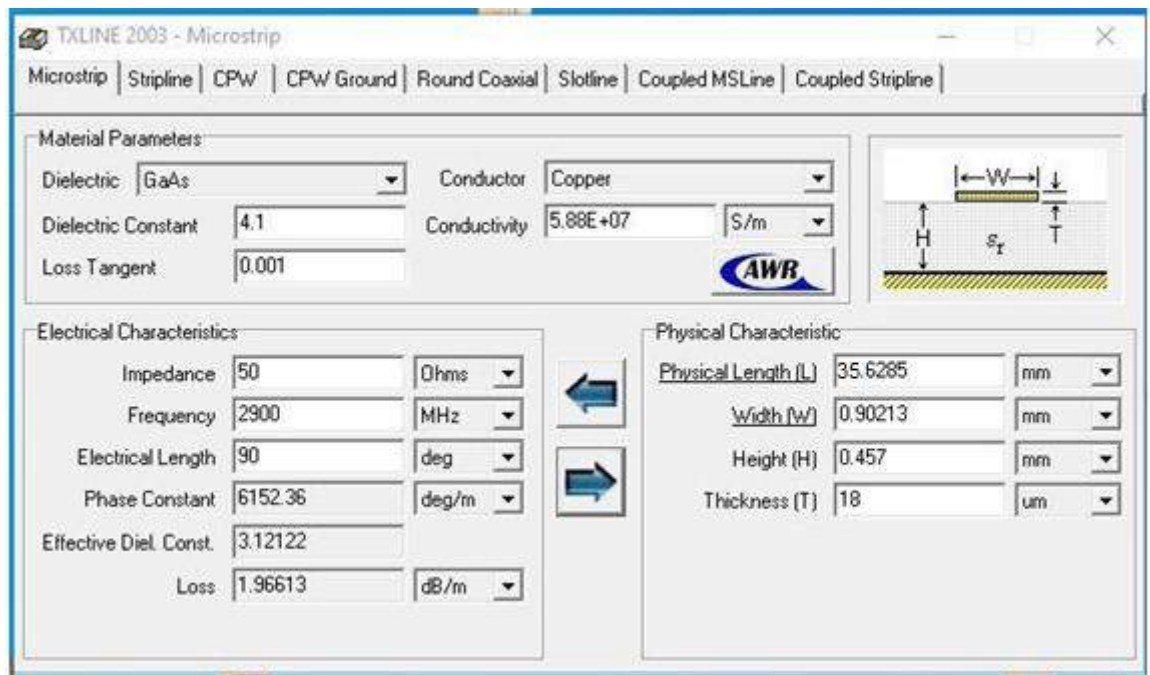


Рисунок 2.21 — Введення даних в програму

Отриманий результат: ширина провідника повинна бути 0,9 мм, а довжина 36 мм. Для запобігання паразитним зв'язкам між смужками і радіoeлементами потрібно розділити їх зазором, який буде більшим за відстань між земляними пластинами[18].

2.6 Визначення розмірів першої друкованої плати

Для визначення габаритних розмірів плати, потрібно розрахувати мінімальну площу, яка відповідає загальній площі всіх наших елементів. Тобто потрібно розрахувати площу кожного елементу і підставити у формулу 2.2.

$$S_{\Pi} = \sum S_{\text{м.е.}} + 1,5 \cdot \sum S_{\text{с.е.}} + 2 \cdot \sum S_{\text{в.е.}} + \sum S_{\text{к.о.}}, \quad (2.2)$$

де $S_{\text{м.е.}}$ — площа малогабаритних елементів;

$S_{\text{с.е.}}$ — площа середньогабаритних елементів;

$S_{\text{в.е.}}$ — площа великогабаритних елементів;

$S_{\text{к.о.}}$ — площа під отвори кріплення;

Площа малогабаритних елементів після підрахунку: 83 мм².

Площа під отвори елементів: 210 мм².

Площа великогабаритних елементів: 158 мм².

За формулою 2.2, отримуємо:

$$S_{\Pi} = 610 \text{ мм}^2$$

У для зручності трасування оберемо розміри плати 37 мм × 44 мм.

2.7 Трасування друкованої плати

Для трасування друкованої плати використано програму KiKad. Було створено 3D-модель плати відповідно до схеми електричної принципової і вимог до приладу. Відповідно до розрахунків у розділі 2.6 були вибрані розміри плати 37 мм × 44 мм. Після чого були проведені доріжки. Вигляд верхнього шару друкованої плати і 3Д вигляд зображено на рисунку 2.22.

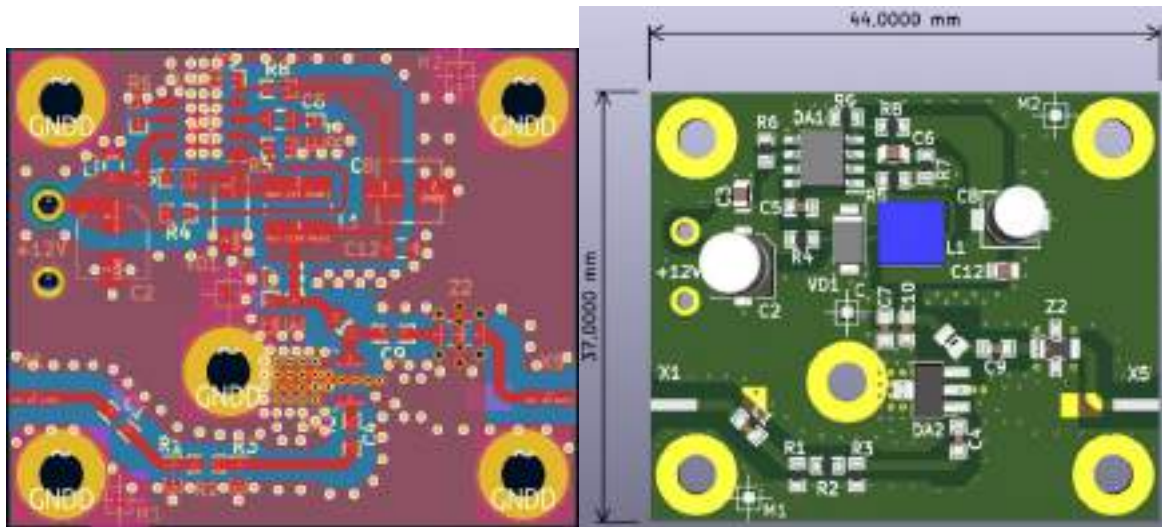


Рисунок 2.22

2.8 Розробка другої підсилювальної плати

Наступна підсилювальна плата реалізована на двох відгалужувачах 1F1304-3S і двох підсилювальних мікросхемах РНА-202+, з серії яка використовувалась в попередній підсилювальній платі. Ці мікросхеми мають більше підсилення, але вже гіршу лінійність 1дБ в робочому діапазоні.

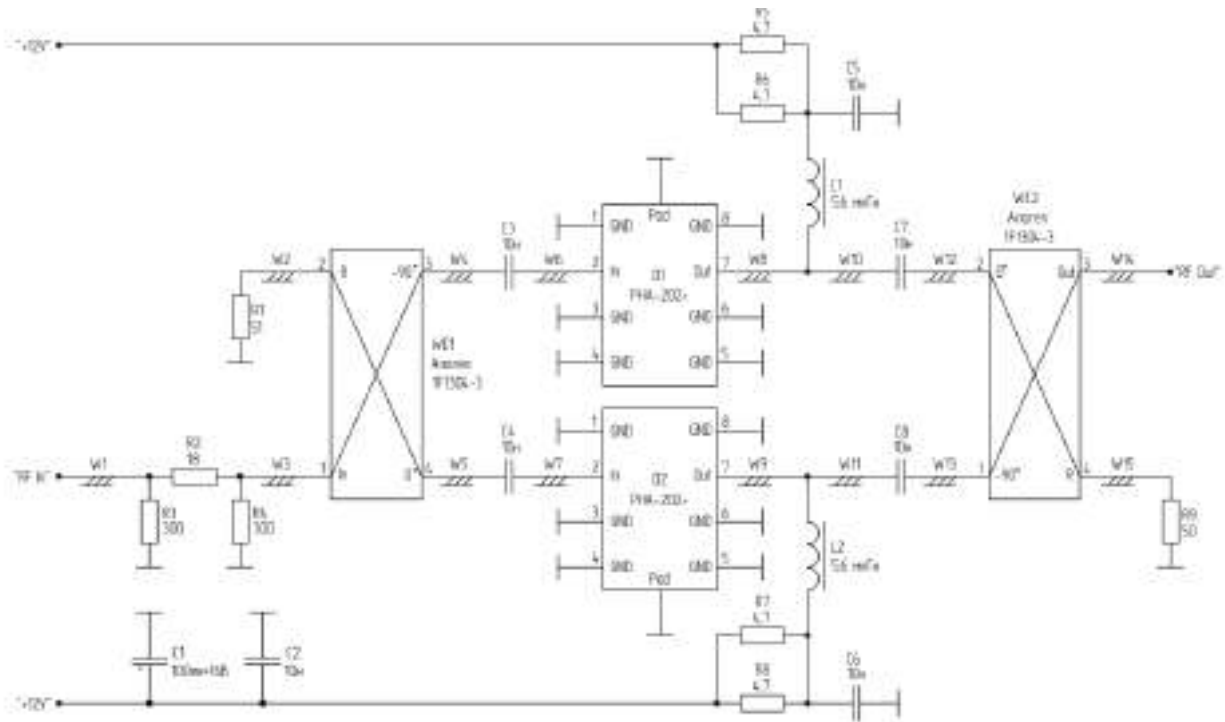


Рисунок 2.23— Схема електрична принципова другої підсилювальної плати

На вхід плати ("RF in") через резистивний 3дБ атенюатор П-типу, подається сигнал, який далі ділиться з різницею фаз 90°, далі кожна чатина підсилюється в двох підсилювальних мікросхемах РНА-202+. Після підсилення сигнали з обох каналів комбінуються в один за допомогою іншого відгалужувача, утворюючи посилений вихідний сигнал на виході("RF Out"), на рівні 27дБм.

2.9 Вибір елементної бази для другої підсилювальної плати

2.9.1 Вибір основних компонентів

У якості підсилювальної мікросхеми для другої підсилювальної плати була обрана мікросхема РНА-202+. Зображення мікросхеми — на рисунку 2.24 [19].



Рисунок 2.24 — Мікросхема РНА-202+

РНА-102+ — підсилювач середньої потужності має широкий діапазон частот з низьким коефіцієнтом шуму. Крім того, РНА-202+ плюсом є те, що він узгоджений і немає необхідності використання зовнішніх узгоджувальних компонентів.

Характеристики:

- високе підсилення: 17 дБ на 1000 МГц;
- висока вихідна потужність: +30 дБм на частоті 1000 МГц;
- напруга живлення: 11 В.

S-параметри для діапазону частот 400-1000МГц:

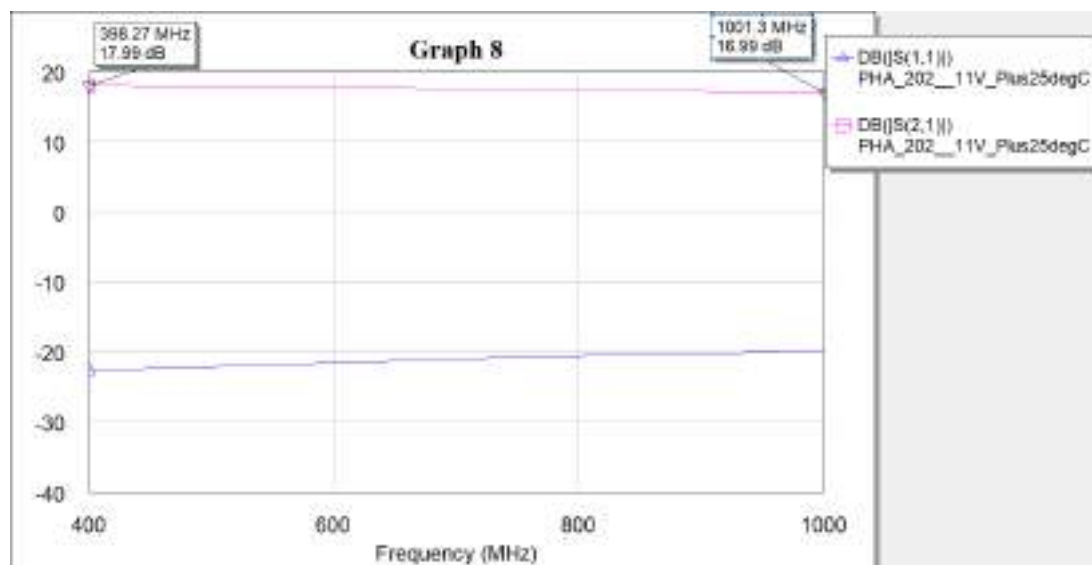


Рисунок 2.25 — S-параметри для мікросхеми РНА-202+

У цієї підсилювальної мікросхеми гірша лінійність ніж у попередньої, але для такої потужності і такій широкій смузі частот не критично. Видно, що зворотні втрати менші ніж -20дБ, що є гарним результатом.

Для відгалужувачів, ми обрали дві моделі. Перша 1F1304-3S — від компанії Anaren. Зображення відгалужувача — на рисунку 2.26 [20].



Рисунок 2.26 — Відгалужувач 1F1304-3

1F1304-3S — це низькопрофільний гібридний відгалужувач 3 дБ, зручний для поверхневого монтажу. Має широкий діапазон, що охоплює 470 – 860 МГц. 1F1304-3S ідеально підходить для збалансованих підсилювачів і розподілу сигналу, і може бути використаним в більшості потужних конструкцій.

Характеристики:

- вносні втрати: 0,4 дБ;
- потужність: 100 Вт;
- робочі температури: -55°C – +85°C.

Вибір решти елементної бази

Конденсатори 1206 NP0 10нФ 50В ±5% (C2...C8)[21]



Рисунок 2.27 — Конденсатор ємністю 150 пФ

- ємність: 10 нФ;
- номінальна напруга постійного струму: 50 В;
- діапазон температур: -55 °С – 125 °С.

Конденсатор ELV-C, 100мкФ 20%, 16 В (C1) зображений на рисунку 2.28 [12].



Рисунок 2.28 — Конденсатор на 22 мкФ

Характеристики:

- ємність: 100 мкФ;
- номінальна напруга постійного струму: 16 В;
- діапазон температур: -40 °С – 105 °С.

Для обмежуючих напругу резисторів (R5...R8) були обрані 2512 4,7 Ом 5%, в корпусі 1206: 18Ом 5% (R2), 300Ом 5% (R3,R4). Для резисторів навантаження використовуємо 2512, 51 Ом $\pm 5\%$ (R1,R9), зображенні на рисунку 2.29 [22].



Рисунок 2.29 — Резистор RP92010T0050GTTR

Характеристики:

- номінальна потужність: 2 Вт;

— діапазон температур: $-55\text{ }^{\circ}\text{C} - 125\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для індуктивностей були обрані:

Дросель 5.6мкГн WA8514-AE[23]:



Рисунок 2.30 — Резистор на 22 мкГн

Характеристики:

— індуктивність: 5.6мкГн;

— робочий струм: 0.5А.

2.10 Вибір матеріалу ДП та припою

Друкована плата буде виготовлена з DiClad 880[24] цей матеріал має стабільне значення діелектричної проникності 2.17 ± 0.02 у широкому діапазоні частот, що забезпечує мінімальні фазові спотворення, також має низький коефіцієнт втрат ($\tan \delta \leq 0.0009$) гарантує мінімальні втрати енергії на високих частотах. Завдяки армуванню скловолокном матеріал має відмінну механічну стабільність і низьке теплове розширення. Обрано матеріал з товщиною фольги 18 мкм і товщиною діелектрика 0.457 мм.

2.11 Визначення варіанту закріплення плати і розташування елементів

Плату буде закріплено гвинтами $M3,5 \times 7$ безпосередньо на корпусі для кращої тепловіддачі.

Отворів для закріплення буде 7, для отримання гарного контакту з корпусом, для запобігання впливу зовнішніх і внутрішніх вібрацій.

Вибір методу виготовлення друкованих плат та клас точності

Вибраний клас точності — 3 як і для попередньої плати.

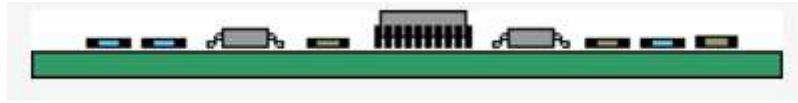


Рисунок 2.31 — Розміщення компонентів на платі

Тип 1В: тільки компоненти поверхневого монтажу (SMD). Як і для попередньої плати оберемо тип 1В.

Порядок проведення процесу монтажу:

- нанесення припайної пасти;
- встановлення компонентів;
- пайка;
- промивання.

2.12 Визначення ширини провідника

Для проєктування мікросмушкової лінії застосовано програму Microwave Office, а саме — утиліту TX-Line. Вводимо параметри у таблицю (матеріал DiClad880), а саме: діелектричну константу, матеріал провідника, імпеданс, середню частоту. Введені дані зображені на рисунку 2.32.

Material Parameters	
Dielectric	GaAs
Dielectric Constant	2.2
Loss Tangent	0.0009
Conductor	Copper
Conductivity	5.88E+07 S/m

Electrical Characteristics	
Impedance	50 Ohms
Frequency	1 GHz
Electrical Length	90 deg
Phase Constant	1643.4 deg/m
Effective Diel. Const.	1.87293
Loss	0.714167 dB/m

Physical Characteristic	
Physical Length (L)	54.7646 mm
Width (W)	0.9697 mm
Height (H)	0.457 mm
Thickness (T)	35 um

Рисунок 2.32 — Введення даних в програму

2.13 Визначення розмірів першої друкованої плати

Для визначення габаритних розмірів плати, використаємо формулу 2.2 з попередніх розрахунків.

Площа малогабаритних елементів після підрахунку: 211 мм².

Площа під отвори елементів: 307 мм².

Площа великогабаритних елементів: 403 мм².

За формулою 2.2, отримуємо:

$$S_{\text{п}} = 922 \text{ мм}^2$$

Для зручності трасування оберемо розміри плати 75 мм × 50 мм.

2.14 Трасування і 3Д вид першої підсилювальної плати

Було створено 3D-модель плати і DXF файл з топологією відповідно до схеми електричної принципової і вимог до приладу. З врахування загальної площі елементів на платі, були вибрані розміри плати 75 мм × 50 мм. Вигляд верхнього шару друкованої плати і 3Д вигляд, зображено на рисунку 2.33.

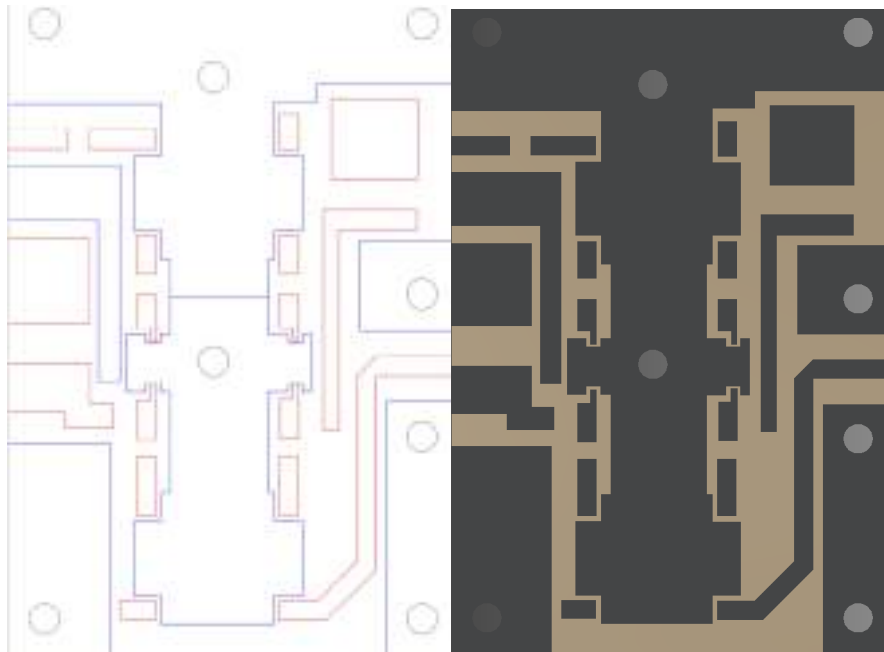


Рисунок 2.33

2.15 Проектування третьої підсилювальної плати

Відповідно до аналізу структурної схеми, остання підсилювальна плата буде реалізована на транзисторі. В нашому діапазоні був обраний LDMOS транзистор UHF діапазону BLF878[25], NXP рис.2.34.



Рисунок 2.34 — вигляд транзистора BLF878

Розглядався також GaN транзистор. У порівнянні з LDMOS, нітрид-галієві транзистори мають беззаперечну перевагу — це більш висока критична напруженість електричного поля та максимальна щільність основних зарядів у каналі, що призводить до більш високої щільності потужності з більш високим імпедансом та меншим зниженням ефективності (ККД) залежно від частоти. Але внаслідок високої собівартості GaN транзисторів, були обрані LDMOS транзистори. Для нашого першого тестового виробу, а також враховуючи частоти до 1 ГГц, де різниця у продуктивності між LDMOS-і GaN-транзисторами не така значна.

Для даної модель транзистора Ampleon пропонує готову електричну схему, з підбраною елементною базою рис. 2.35. Усі випробування зазанчені дата шит проводились при напрузі $V_{D1}=42V$ і струмі затвора 1.5A.

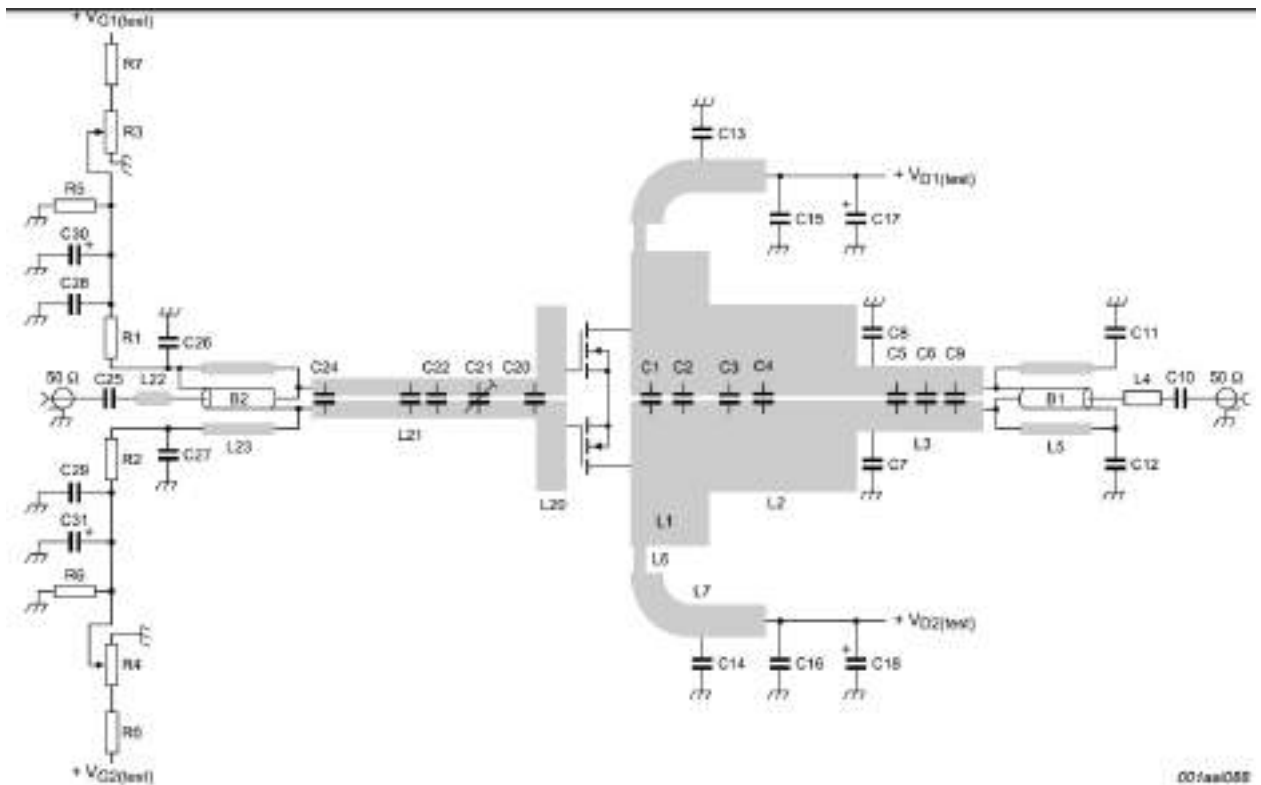


Рисунок 2.35 — Схема електрична принципова транзистора BLF878

2.16 Моделювання топології в AWR Design

На основі схеми електричної рис.2.35. Проаналізуємо топологію представленого транзистора.

Спершу визначимо напругу яку потрібно подавати на затвор. Оберемо робочу точку для транзистора. По даташиту для 42В живлення, струм зміщення повинен бути 1.5А. Відповідно до цього напругу на затворі буде 2.15В, рис.2.36.

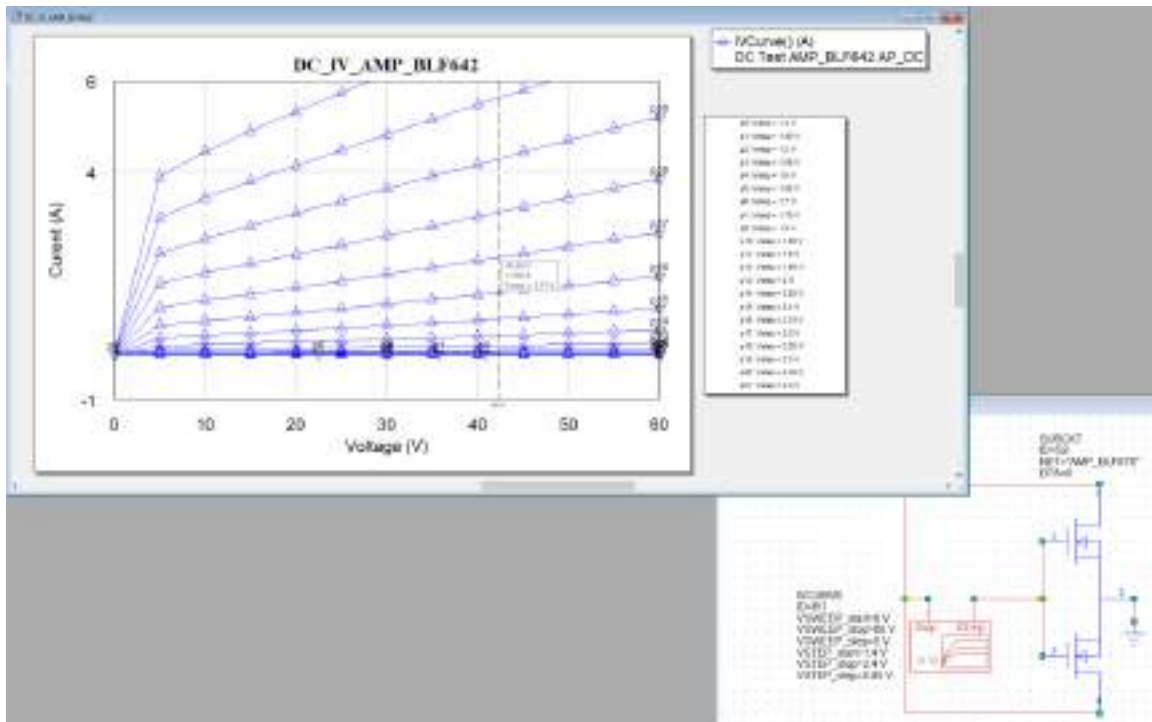


Рисунок 2.36 — Напруга на затворі

Тепер створимо схему відповідно до даташиту рис.2.37.

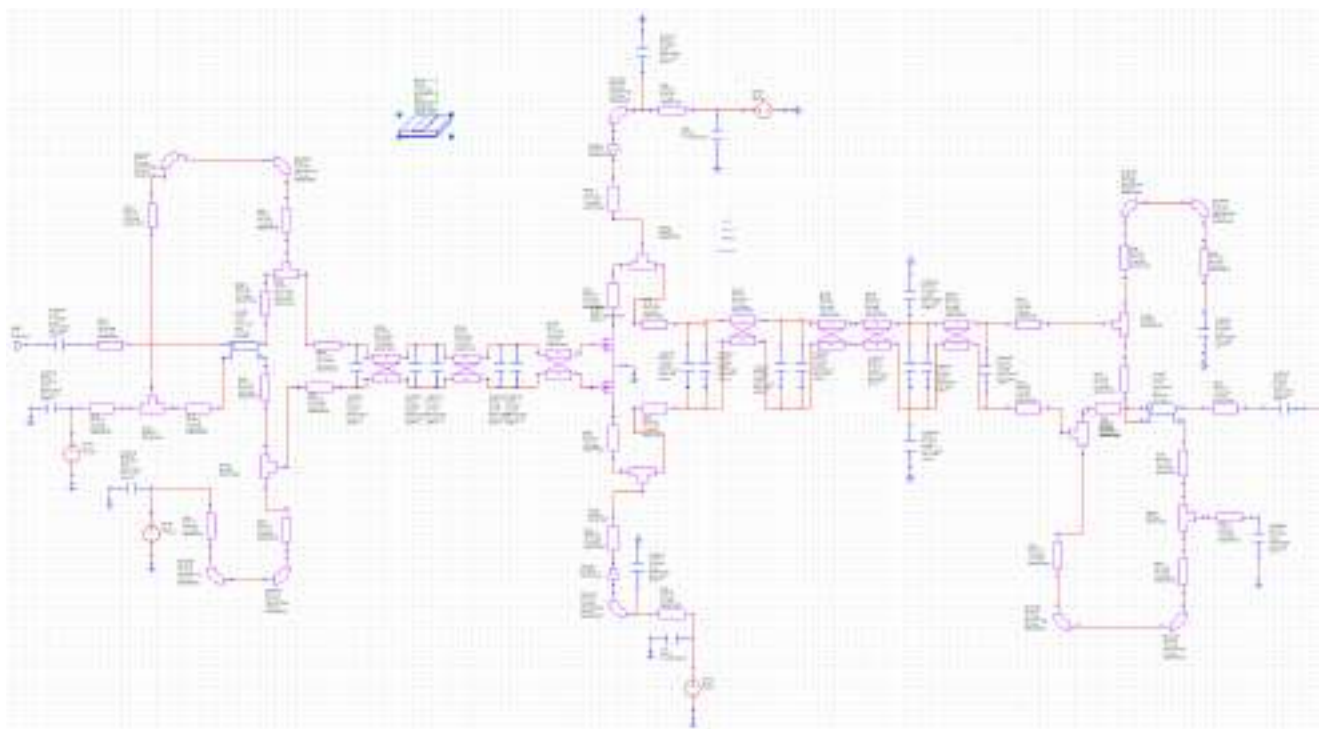


Рисунок 2.37— Схема моделювання в AWR Design

Для моделювання схеми потрібно задати параметри мікросмужкових ліній рис. 2.38. Потрібно обрати матеріал плати на якій будуть розміщуватись мікросмужкові лінії. Ми оберемо матеріал, який ми використовували для

проектування другої підсилювальної плати: DiClad880. Його параметри підходять для цього випадку.

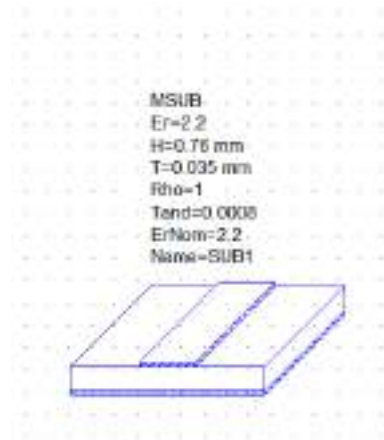


Рис. 2.38

Топологія і 3Д вигляд зображені на рис.2.39.

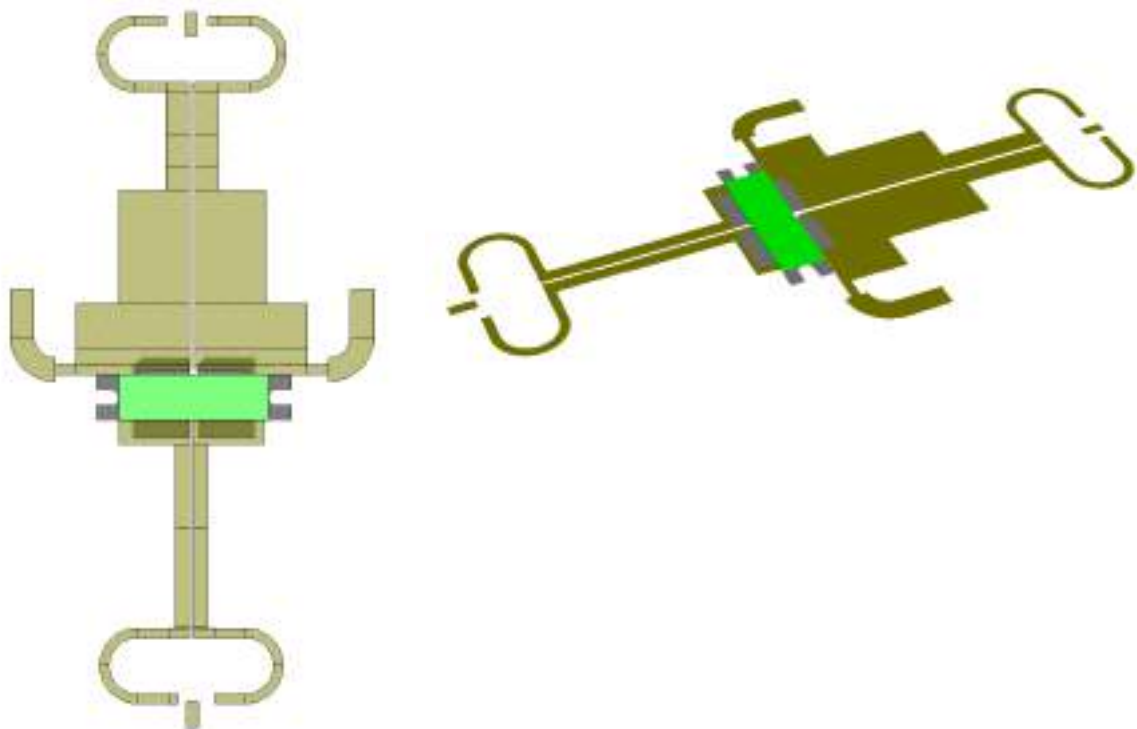


Рисунок 2.39— Топологія транзистора BLF878

2.17 Результати моделювання

Після проектування схеми електричної принципової транзистора. Ми отримали такі результати, рис.2.40.

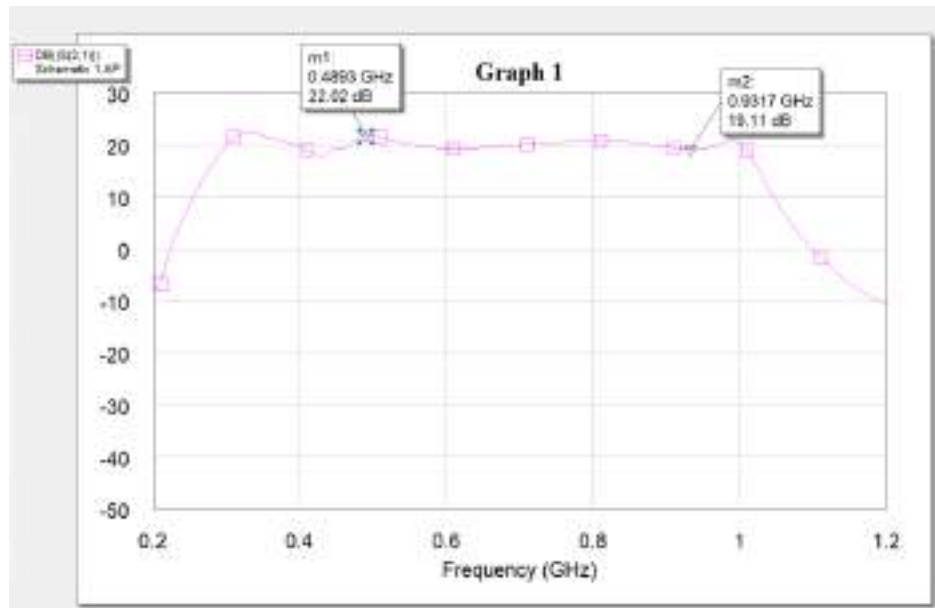


Рисунок 2.40— S21-параметр після моделювання

На рисунку видно, що підсилення, тобто S21 в середньому в нашому діапазоні складає 20дБ. Не лінійність в робочому діапазоні 3дБ, що є непоганим результатом для такого широкого діапазону.

Але представлення модель є тільки першим наближення до практичної реалізації.

2.18 Практичні результати реалізації третьої підсилювальної плати

Після моделювання і на основі схеми запропонованої в даташит була створена схема електрична принципова зображена на рисунку 2.41. Вона була спрощена відносно модельованої. Були прибрані коаксіальні лінії з топології, це могло б вносити додаткові втрати в тракті. Також була змінена топологія плати рис.2.42. Типи конденсаторів: АТС 180R[26], АТС100B[27], АТС 100A[28], були залишені згідно даташиту. Матеріал для плати залишиться таким як і при моделюванні. Напруга на стік була зменшена до +24В, це дозволить зменшити вимоги по напрузі до пасивних компонентів таких як резистори і конденсатори. Також це допоможе зменшити теплові втрати і покращити ефективність каскаду. Булао введено готове технологічне рішення для підлаштування напруги на затворі, плата А1.

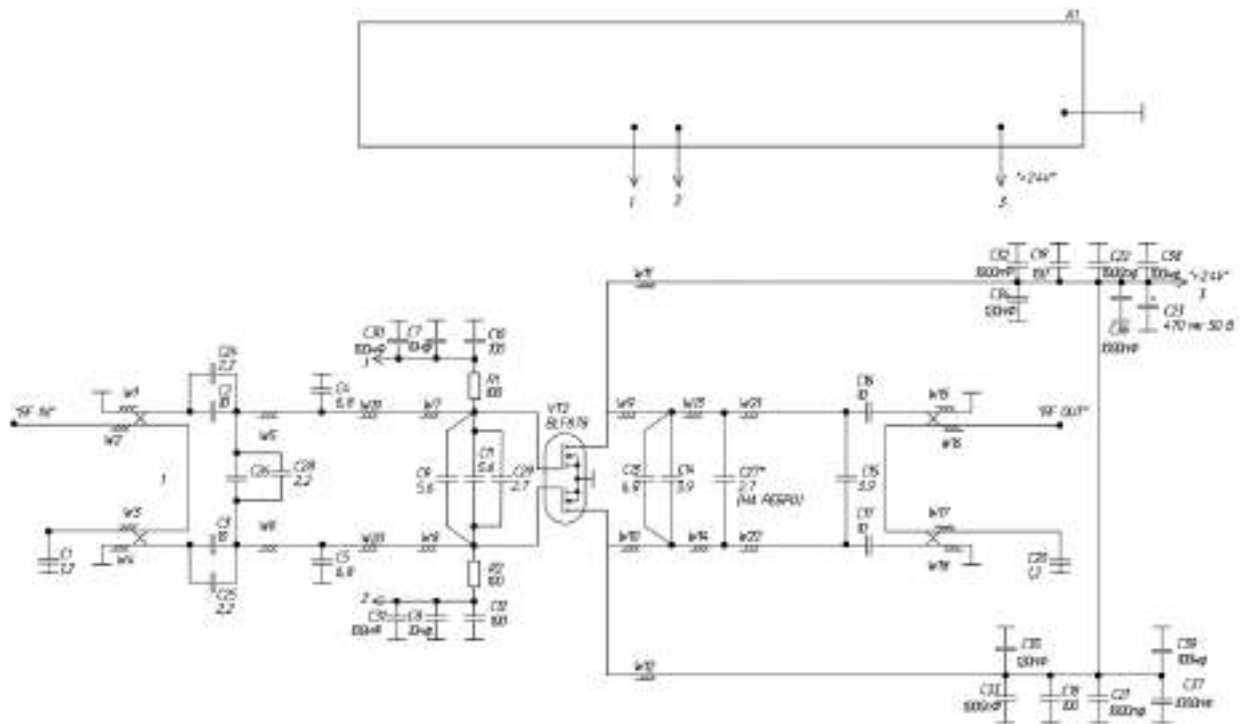


Рисунок 2.41— Схема електрична принципова третьої підсилювальної плати

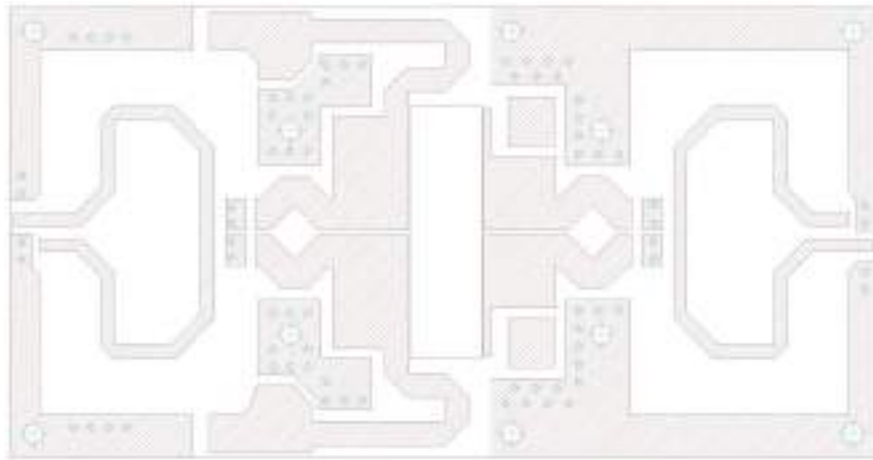


Рисунок 2.42— Топологія третьої підсилювальної плати

3 ПІДСИЛЮВАЧ ДЛЯ РЕБ СИСТЕМ В ДІАПАЗОНІ 470-1000МГц

3.1 Схема електрична принципова

З врахуванням структурної схеми пристрою і після проектування підсилювальних плат була запропонована схема електрична принципова повного пристрою:

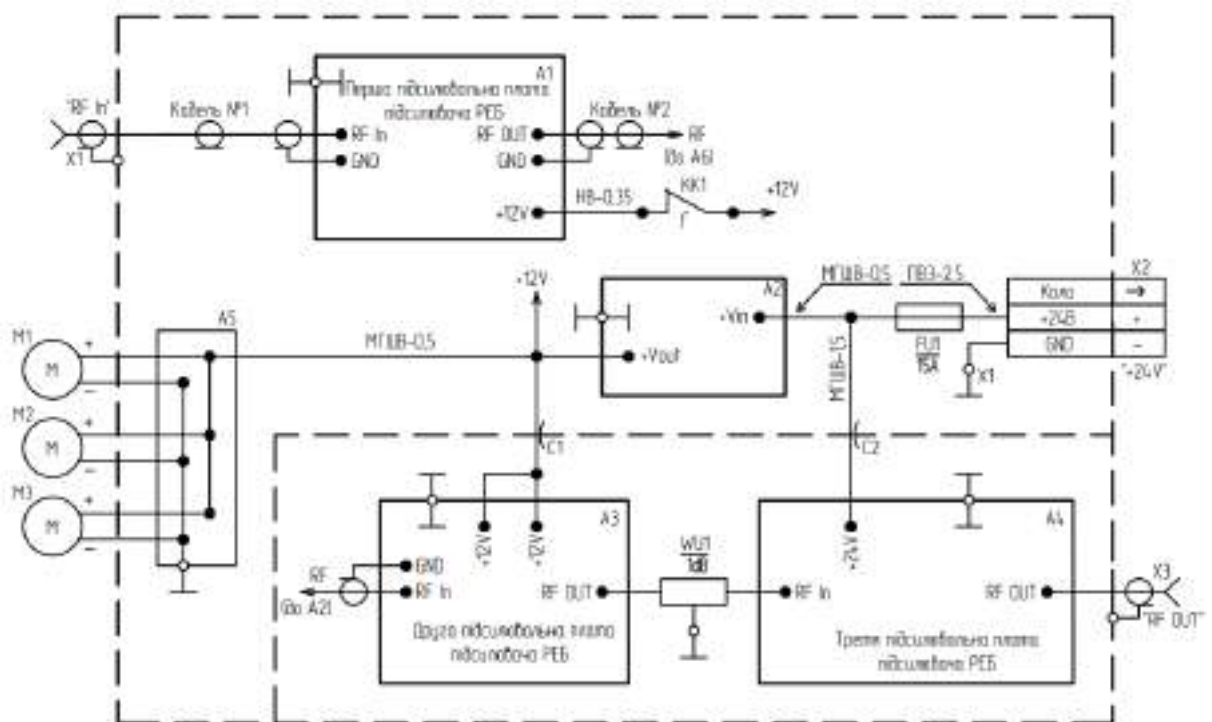


Рисунок 3.1 — Введення даних в програму

де X1— ВЧ вхід;

X2—вхід живлення;

X3— ВЧ вихід;

M1...M3—вентилятори системи охолодження;

A1...A3— підсилювальні плати;

A4— понижуючий DC/DC перетворювач;

KK1— термореле;

FU1— запобіжник від КЗ.

Було врахована відсутність будь якої системи охолодження аналогів. На схемі видно 3 вентилятора, їх розміри 40х40. Розміри були обрані відповідно до розмірів радіаторного профілю рис.3.2[29].

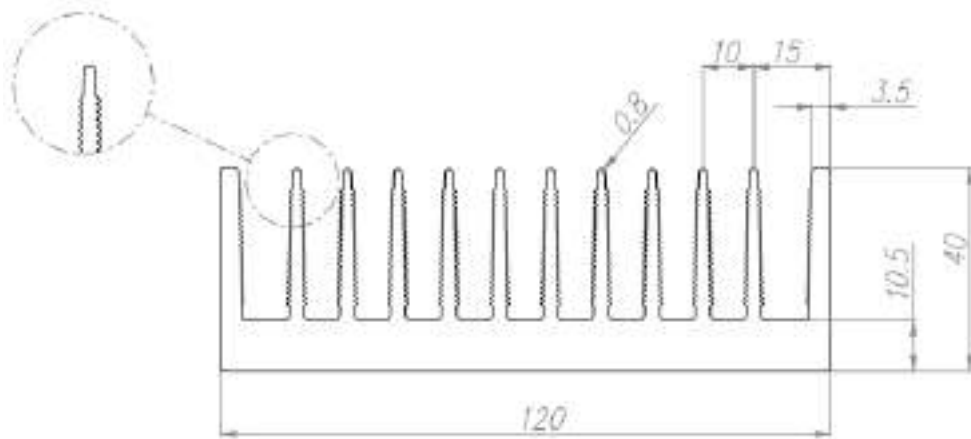


Рисунок 3.2 — Вигляд радіаторного профілю KA120, ATespoal

Вентилятори були обрані відповідно до розрахунку за формулою для розрахунку потоку повітря 3.1[30].

$$Q = 1.7 \cdot \frac{P_{\text{розс}}}{\Delta T}, \quad (3.1)$$

де $P_{\text{розс}}$ — теплова потужність яку потрібно відвести;

ΔT — допустима різниця температур між радіатором і навколишнім середовищем (K).

Теплову потужність розрахуємо, як різницю між вихідною потужністю приладу (70Вт) і потужністю яку споживає прилад, приблизно 144Вт.

$$\text{Після підставлення значень } Q = 3 \frac{\text{фут}^3}{\text{хв}} \approx 3 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Для розрахунку була прийнята максимальна температура радіатора +338°K, а температура навколишнього середовища +293°K.

Все живлення підсилювача проходить через запобіжник для запобігання короткому замиканню системи. З першого підсилювача виходить термореле, яке розімкне ланцюг, при перегріві. Також вся система буде розміщена на готовому радіаторному профілі.

3.2 Параметри підсилювача для РЕБ систем 470-1000МГц

Характеристики підсилювача:

1. Номінальний рівень вхідної потужності в діапазоні частот 400-700 МГц 14 dBm;
2. Номінальний рівень вхідної потужності в діапазоні частот 700-1000 МГц 17 dBm;
3. Номінальний рівень вихідної потужності в діапазоні частот 400 - 970 МГц – 48 dBm(70Вт) ± 1 dB;
4. Габаритні розміри (Ш x В x Д), мм: 124 x 80 x 363;
5. Маса не більше, кг: 1.8;
6. Діапазон робочих температур, °C: -5...+35;
7. Запобіжник, керамічний 5x20мм: 15А;
8. Вихідний ВЧ з'єднувач: N(f);
9. Вхідний ВЧ з'єднувач: SMA(F);
10. З'єднувач живлення (блочний): XT90E-M;
11. Захист по струму (15А);
12. Максимальний вхідний рівень, dBm: 20.

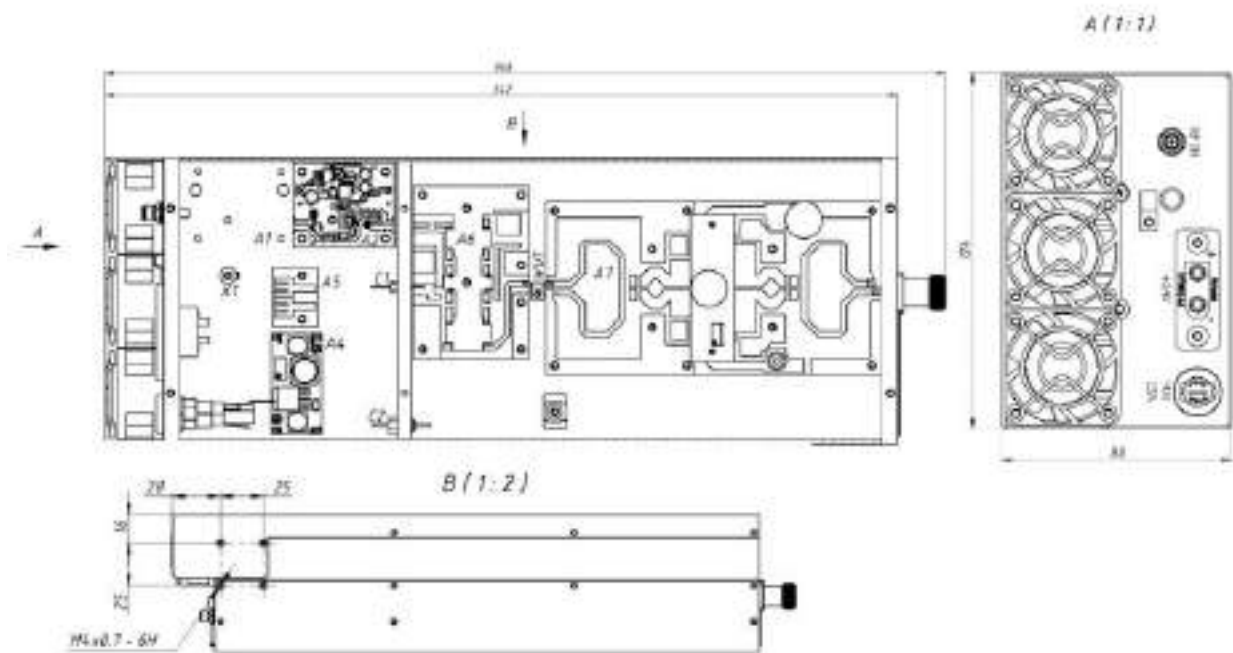


Рисунок 3.3 — Вигляд підсилювача в збірці

В таблиці 3.1 зазначені практично виміряні данні підсилювача. На вхід підсилювача подавався сигнал з генератора шуму в якому формувався сигнал

з допомогою VCO, на виході підсилювача стояв 40дБ атенюатор на 250Вт на виході якого стояв вимірювач потужності NRP-Z11[31], рис.3.4.



Рисунок 3.4 — Вигляд вимірювача потужності

Середня потужність в частотному діапазоні 400-700МГц – 80Вт.

Таблиця 3.1— Виміряні данні потужності в діапазоні 400-700МГц

400-700 МГц	400-420	420-440	440-460	460-480	480-500	500-520	520-540	540-560	560-580	580-600	600-620	620-640	640-660	660-680	680-700
Р Вх.,дБм	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3
Р Вих.,Вт	90	98,7	107,9	93	73,5	71	70	70	70,4	69,5	71,8	73	72,5	73,8	73,5
Струм спож., А	8,69	8,43	8,15	7,17	6,54	6,85	7,13	7,4	7,97	8,06	8,16	8,13	8,14	8,52	8,67

Середня потужність в частотному діапазоні 400-700МГц – 70Вт.

Таблиця 3.2— Виміряні данні потужності в діапазоні 700-1000МГц

700-1000 МГц	700-720	720-740	740-760	760-780	780-800	800-820	820-840	840-860	860-880	880-900	900-920	920-940	940-960	960-980	980-1000
Р Вх.,дБм	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3
Р Вих.,Вт	87	85,6	79	77	78,5	75	80	79	74	76,8	76,6	64	52	43,4	36,6
Струм спож., А	9,3	9,4	9,56	9,97	10	9,73	10	10	9,54	9,3	9,13	9	9,14	9,4	9,45

3.3 Вигляд повної системи

Повна система буде складатися з розробленого підсилювача, генератора шуму і антени. Планується створення двох комплектів, структурна схема зображена на рис.3.5.

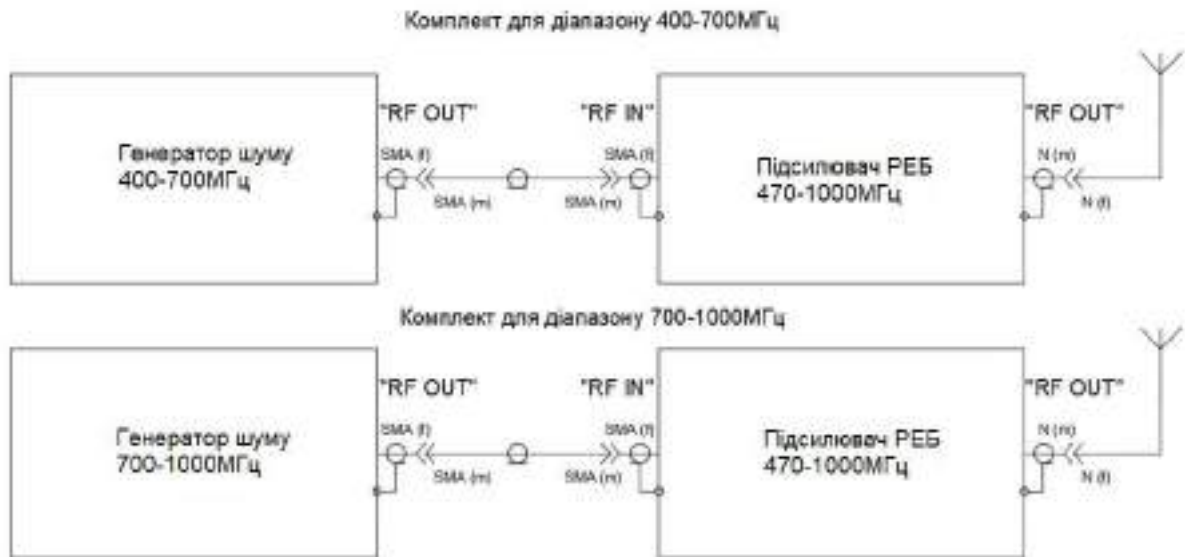


Рисунок 3.5 — Структурна схема системи для двох діапазонів частот

Відповідно до таблиць 3.1 і 3.2, вихідний рівень сигналу завади повинен бути 17дБм. КСХН антени повинно бути не більше 2, щоб забезпечити стабільну роботу підсилювача. Хоча в дата шиті вказано, що транзистор BLF878 може витримувати до КСХН=10. За формулою 3.2, вийде що він може витримати до 80% відбитої напруги.

$$\Gamma = \frac{КСХН-1}{КСХН+1} \cdot 100, \quad (3.2)$$

де КСХН— коефіцієнт стоячої хвилі по напрузі;

Γ — коефіцієнт відбиття.

4 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ПРИЛАДУ

4.1 Розрахунок надійності

Розділ присвячений розрахунку надійності, який полягає у визначенні імовірності безвідмовної роботи та наробку на відмову приладу за відомими характеристиками інтенсивностей відмов компонентів схеми та умов експлуатації приладу. Розрахунок проведено за методикою [32].

Для того, щоб розрахувати надійність приладу, потрібні такі данні:

$\lambda_{\text{сум}}$ — сумарна інтенсивність відмов;

N — кількість елементів;

λ_0 — номінальна інтенсивність відмов i -го елемента;

k_1, k_2 — поправкові коефіцієнти, що враховують дію механічних факторів;

k_3 — поправковий коефіцієнт, що враховує дію температури та вологості;

k_4 — поправковий коефіцієнт, що враховує дію атмосферного тиску;

$a(T, k_n)$ — поправковий коефіцієнт, що враховує навантаження елемента;

P — ймовірність безвідмовної роботи;

T — середній час наробку на відмову.

Сумарну інтенсивність відмов знаходять за формулою 4.1.

$$\lambda_{\text{сум}} = \lambda_0 \cdot N \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot a(T, k_n), \quad (4.1)$$

Дані для розрахунку занесено до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 — Дані для розрахунку надійності

Елементи схеми	$\lambda_0 \cdot 10^{-6},$ год ⁻¹	$k1 \cdot k2 \cdot k3$ $\cdot k4$	$a(T, k_n)$	N	$\lambda_{\text{сум}} \cdot 10^{-6},$ год ⁻¹
Конденсатори	0,02	1,8	0,8	59	1,7
Діоди	0,1	1,8	0,9	6	0,97
Мікросхеми	0,21	1,8	1,2	1	0,45
Індуктивності	0,2	1,8	1	4	1,44
Резистори	0,004	1,8	0,8	20	0,12
Відгалужувачі	0,17	1,8	1,2	2	0,73
Роз'єми	0,5	1,8	0,6	2	1,08
Фільтри	0,25	1,8	0,9	1	0,4
Підсилювачі	0,2	1,8	1,2	3	1,3

Загальна інтенсивність відмов приладу:

$$\lambda_{\text{сум}} = 8,2 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Розрахунок середнього часу наробку на відмову за формулою 4.2 дає значення:

$$T = \frac{1}{\lambda_{\text{сум}}} \approx 120000 \text{ год.} \quad (4.2)$$

Як видно з розрахунку, середній час наробку на відмову вийшов ≈ 120000 годин, тобто 13 років. Звісно це приблизний результат, і на практиці буде меншим. Цей результат повністю задовольняє ТЗ.

Далі розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи приладу протягом півроку. Розрахунок буде проводитись за формулою 4.3.

$$P = e^{-\lambda_{\text{сум}} \cdot t} = 0,95. \quad (4.3)$$

У результаті проведених розрахунків, можна сказати, що ймовірність безвідмовної роботи протягом 4500 годин складає 95%, тобто можна стверджувати, що прилад працездатний.

5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Мета розділу — проведення маркетингового аналізу стартап-проекту для визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямків реалізації цього провадження.

5.1 Опис ідеї

В межах цього підрозділу аналізується зміст ідеї, можливі напрямки застосування, основні вигоди які може отримати користувач товару та відмінності від існуючих аналогів.

Таблиця 5.1 — Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосувань	Вигоди для користувача
Розробка підсилювача для РЕБ систем в діапазоні 470-1000МГц	Захист військових, цивільних об'єктів від дронів	Широкий частотний діапазон, захисти від КЗ, перегріву. Вбудована система охолодження(радіатор, вентилятори)

5.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В межах цього розділу проводиться аналіз ринкового середовища, факторів що сприяють розвитку проекту таблиця 5.3 і перешкоджають розвитку таблиця 5.2.

Таблиця 5.2 — Фактори що перешкоджають розвитку

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можливе рішення
1	Неактуальність елементної бази	Внаслідок постійного розвитку елементної бази, обрана елементна база може стати неактуальною	Оновлення елементної бази
2	Залежність від постачальників компонентів	Нестабільність постачання критично важливих компонентів (GaAs або GaN транзисторів) може затримати виробництво.	Диверсифікація постачальників
3	Конкуренція на ринку	Поява конкурентів, які пропонують підсилювачі з вищою потужністю чи ширшим діапазоном частот.	Зниження собівартості або покращення функціоналу

Таблиця 5.3 — Фактори можливостей

№ п/п	Можливості	Зміст можливості	Можливе рішення
1	Зменшення габаритів покращення характеристик	Інтеграція нової елементної бази дозволить оптимізувати підсилювач	Оновлення елементної бази
2	Універсалізація підсилювача	Охоплення більшого діапазону частот. Розробка декількох каналів з переносом частоти для інших діапазонів	Впровадження переносу частоти на вищі діапазони

Таблиця 5.4 — Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

№ п/п	Особливості конкурентного середовища	Прояви середовища	Вплив на проект
1	Тип конкуренції – олігополістична	Існує кілька великих виробників підсилювачів для РЕБ систем, які займають значну частину ринку	Значний, необхідність відповідати стандартам якості й функціональності
2	За галузевою ознакою – внутрішньогалузева	Основні конкуренти працюють у межах галузі РЕБ обладнання, пропонуючи схожі за функціоналом продукти	Значний, потреба у диференціації продукту
3	За рівнем конкурентної боротьби – міжнародне	Конкуренція охоплює як локальний, так і міжнародний ринки (зокрема ЄС, Азія)	Значний, адже необхідно враховувати сучасні вимоги глобального ринку
4	За характером конкурентних переваг – інноваційна складова	Технологічні інновації є ключовим фактором переваги на ринку (використання нових матеріалів, схем).	Значний, необхідність інвестувати в R&D для випередження конкурентів.

З аналізу можна зробити виновки, що незважаючи на конкуренцію, на ринку можливо працювати. Для того щоб триматись на ринку, продукт повинен володіти якостями які б відрізняли його від конкурентів на ринку. Фактори конкурентноспроможності зазначені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 — Фактори конкурентноспроможності

№ п/п	Фактор конкурентноспроможності	
1	Система охолодження	Наявність вбудованої системи охолодження, яка складається з радіатору і вентиляторів
2	Широкий діапазон частот	Широкий діапазон частот, з високою лінійністю
3	Декілька видів захисту	Захист від КЗ, перегріву
4	Ціна	Оскільки продукт виготовлений в Україні, він може мати меншу ціну ніж у зарубіжних конкурентів

Наступним етапом проаналізуємо сильні та слабкі сторони проекту.

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
Ефективність	Невідома компанія на ринку
Широкий робочий діапазон	Високі витрати на виробництво
Універсальність використання	Відсутність масштабної рекламної кампанії
Можливості:	Загрози:
Зменшення габаритів покращення характеристик	Неактуальність елементів бази
Універсалізація підсилювача	Залежність від постачальників компонентів
	Конкуренція на ринку

Виходячи з проведеного аналізу, існуючий план запуску проекту на ринок є оптимальним і достатньо ефективним.

5.3 Розробка ринкової стратегії проекту

Першим кроком визначимо цільову групу потенційних споживачів. Було обрано дві групи: військові і підприємства з виготовлення передавачів.

Таблиця 5.6 — Вибір цільових груп

№ п/п	Цільова група	Готовність споживачів прийняти продукт	Попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
1	Армія, військові	Готові	Високий	У сегменті сильна конкуренція	Середня складність
2	Підприємства з виготовлення передавачів	Готові	Середній	Середня конкуренція	Середня складність

Для стратегії охоплення ринку оберемо диференційований маркетинг, вона допоможе охопити більше сегментів ринку. Зрозуміло, що проект не є першим і зовсім унікальним, тому компанії потрібно буде постійно шукати нових споживачів, слідкувати з нововведеннями конкурентів і намагатись впроваджувати покращення в продукт.

5.4 Розробка маркетингової програми для проекту

Потрібно визначити на які переваги і потреби буде спиратись маркетингова компанія проекту.

Таблиця 5.7 — Визначення переваг концепції товару

№ п/п	Потреба	Вигода яку пропонує товар	Переваги над конкурентами
1	Широкий діапазон з високою лінійністю	Використаний транзистор забезпечує робочий діапазон в 600МГц	Широкий діапазон при високій лінійності
2	Система охолодження в одному корпусі з підсилювачем	Вбудований радіаторний профіль, вентилятори	Наявність системи охолодження

ВИСНОВКИ

В магістерській дисертації було розроблено підсилювач для РЕБ систем в діапазоні частот 470-1000МГц.

В першому розділі проведено огляд аналогів і виявлено, що в розглянутих аналогах можна розширити робочий діапазон. Крім того у них немає вбудованої системи охолодження, тому покупцям прийдеться виготовляти її самостійно. Виявилось що більшість підсилювачів для систем РЕБ це китайські підсилювальні модулі. Також у першому розділі було проаналізовано ТЗ і розроблену структурну схему пристрою.

У другому розділі на основі аналізу аналогів, ТЗ і структурної схеми були розроблені підсилювальні плати для трьох каскадів. Перша була зроблена на мікросхемі PNA-102+, друга на мікросхемі PNA-202+, третя на LDMOS транзисторі BLF878. Проведено вибір елементної бази. Головними факторами вибору були доступність і економічність елементів. Також були обрані матеріал плат, метод виготовлення і клас точності. Проведено трасування елементів на друкованих патах у програмному забезпеченні KiCad. А також була змодельована третя підсилювальна плата в AWR Design, відповідно до даташиту.

У третьому розділі була представлена загальна схема пристрою. Представлені основні характеристики. З них видно що нелінійність АЧХ менше 3дБ. Вихідна потужність склала 75Вт, при напрузі живлення +24В. Було проведено розрахунки надійності приладу. В останньому розділі було проведено розробку стартап-проекту.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Модуль перешкод 700-1000МГц — характеристики і опис [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.aks.ua/uk/item/view/727725/modul-pomeh-jammer-700-1000-mhz-gan-50w-47-dbi-sma.html>.
2. Модуль перешкод 20-1000МГц— характеристики і опис [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.p2m.com/wp-content/uploads/2023/10/Sungsan%20%20catalogue%202023.pdf>.
3. Плата підсилювача 470-862МГц TDE300UHF — характеристики і опис [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.tdeitaly.com/tde/wp-content/uploads/2020/04/TDE300UHF.pdf>.
4. ГОСТ 15150-69 [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://packtech.com.ua/files/GOST.15150-69.pdf>.
5. Понижувач напруги MP1584MPS [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/mp1584_r10.pdf.
6. Діод В340А [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/58883/DIODES/B340A.html>.
7. Мікросхема GVA-84+ [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://www.mouser.com/datasheet/2/1030/GVA_84_2b-1700472.pdf.
8. Підсилювальна мікросхема PHA-102+ [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.minicircuits.com/WebStore/dashboard.html?model=PHA-102%2B> .
9. Зміна ємності конденсаторів від температури [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://forum.digikey.com/t/understanding-ceramic-capacitor-temp-coefficients/727/2>.
10. Конденсатори 0603 NP0, 100 пФ 5%, 16В [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <http://www.kosmodrom.com.ua/pdf/CAP-SMD.pdf>.

11. Конденсатори 0805 X7R 0,1мкФ 50В $\pm 10\%$ [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/cl_series_mlcc_datasheet.pdf.
12. Конденсатори EZV-C, 47.0 мкФ 20%, 25 В [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/EZV_070829.pdf.
13. Резистори [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/uniroyal-elec_0603waj0101t5e_c25201.pdf.
14. Дросель CDRH4D28NP-220NC [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://products.sumida.com/products/pdf/CDRH4D28.pdf>.
15. Індуктивність LQW2BANR20J00 [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.murata.com/products/productdetail?partno=LQW2BANR20J00%23&videoId=6093628250001>.
16. ФНЧ фільтр LFCN-1000+ [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.minicircuits.com/pdfs/LFCN-1000+.pdf>.
17. Методи виготовлення плат [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.pcbmay.com/smt-assembly/>.
18. Проєктування мікросмушкових ліній [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://leg.co.ua/arhiv/raznoe-arhiv/volnovodnye-linii-peredachi/Page-18.html>.
19. Підсилювальна мікросхема PHA-202+ [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.minicircuits.com/pdfs/PHA-202+.pdf>.
20. Відгалужувач 1F1304-3S [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://www.mouser.com/datasheet/2/21/1F1304_3S_97_E-3011786.pdf.

21. Конденсатори 1206 NP0 10нФ 50В $\pm 5\%$ [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/murata_grm_series-datasheet.pdf.
22. Резистор 51Ом 5% RP92010T0050GTTR [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://eu.mouser.com/datasheet/2/40/AVXC_S_A0001241484_1-2538205.pdf.
23. Дросель 5.6мкГн WA8514-AE [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.coilcraft.com/getmedia/4491c14d-61bb-4c33-922c-9709ccb7b4e5/wa8514.pdf>.
24. Матеріал для ВЧ плат DiClad880 [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://www.rogerscorp.com/advanced-electronics-solutions/diclad-series-laminates/diclad-870_880-laminates.
25. Транзистор BLF878 [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.ampleon.com/products/uhf-broadcast/470-860-mhz/BLF878.html#productdetail>.
26. Конденсатори АСТ 180R [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: [https://staging.atceramics.com/userFiles/uploads/180_R_Series_NPO_Porcelain_Ultra-Low_ESR_Multilayer_Capacitors_\(MLCs\)/001-810_180R.pdf](https://staging.atceramics.com/userFiles/uploads/180_R_Series_NPO_Porcelain_Ultra-Low_ESR_Multilayer_Capacitors_(MLCs)/001-810_180R.pdf).
27. Конденсатори АТС 100В [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://datasheets.kyocera-avx.com/100B.pdf>.
28. Конденсатори АТС 100А [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://www.mouser.com/datasheet/2/586/100a-242214.pdf?srsId=AfmBOorTcgxs_3RHNCNM30aO1VxuvSiPrT4rrvlvWIDgV_nS0XpEBmI.
29. Радіатор КА120, АТесноал [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.tecnoal.it/ru/prodotti-lista/?cat=1148>.

30. Розрахунок CFM [Електронний ресурс] —

Режим доступу до ресурсу:

[//uk.wikipedia.org/wiki/Кубічний_фут_на_хвилину](http://uk.wikipedia.org/wiki/Кубічний_фут_на_хвилину).

31. Вимірювач потужності NRP-Z11. [Електронний ресурс] —

Режим доступу до ресурсу:

https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/pdm/cl_brochures_and_datasheets/specifications/5213_5539_22/NRP-Zxx-Power-Sensors_specs_en_5213-5539-22_v1300.pdf.

32. Розрахунок надійності [Електронний ресурс] —

Режим доступу до ресурсу: [Розрахунок надійності Приклад.pdf \(ztu.edu.ua\)](#).

ДОДАТКИ

Додаток А — Технічне завдання

Додаток Б — Комплект КД

ДОДАТОК А**ПОГОДЖЕНО****ЗАТВЕРДЖЕНО**

к.т.н., доцент Лашевська Н. О.
(керівник)

к.т.н., професор Мовчанюк А.В.
(В. о. завідувача кафедри)



ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ
«Підсилювач для РЕБ систем у діапазоні 470-1000 МГц»

1 НАЗВА І ПІДСТАВИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Назва: Підсилювач для РЕБ систем у діапазоні 470-1000 МГц.

Підстави для виконання: завдання, видане кафедрою прикладної радіоелектроніки.

2 МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МД

Мета проєктування — розробка НВЧ комутатора у складі формувача S-діапазону.

3 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

3.1 Вимоги життєздатності та стійкості до зовнішніх впливів і чинників

Використовувати прилад можна за нормальних умов експлуатації У5.1 (згідно з ГОСТ 15150-69). «У» означає макрокліматичний район з помірним кліматом, 5.1 — для експлуатації як вбудованих елементів усередині комплектних виробів. Це передбачає такі умови:

- робоча температура: в межах від +35 °С до -5 °С;
- гранична температура: в межах від +35 °С до -5 °С;
- середнє значення відносної вологості повітря : 90% за температури +15 °С;

3.2 Вимоги надійності

Пристрій повинен бути відновлюваний і ремонтпридатний за ГОСТ 27.002-89. Час безвідмовної роботи не менше 4500 год.

3.3 Вимоги до конструкції

Прилад повинен пістити вбудовану систему охолодження, яка складається з радіатора і вентиляторів. Вага приладу не повинна перевищувати 3 кг. В конструкції передбачити отвори кріплення.

3.4 Вимоги до стандартизації та уніфікації

В конструкції використовувати стандартні та уніфіковані вузли та деталі.

3.5 Вимоги до транспортування і зберігання

Умов середнього навантаження (СН). Перевезення автомобільним транспортом із загальною кількістю перевантажень не більше чотирьох:

— дорогами з асфальтовим і бетонним покриттям (дороги 1-ї категорії) на відстань від 200 до 1000 км;

— бруківкою (дороги 2-ї і 3-ї категорії) та ґрунтовими дорогами на відстань від 50 до 250 км зі швидкістю до 40 км/год.

Перевезення різними видами транспорту: повітряним, залізничним транспортом у поєднанні між собою та з автомобільним транспортом.

3.6 Вимоги до експлуатації, зручності, технічного обслуговування та ремонту

Вимоги мають відповідати умовам ГОСТ 15150-69, та має бути передбачений легкий доступ до ремонту.

3.7 Безпеки для життя, здоров'я і майна громадян та охорони довкілля

Керуватися положеннями стандартів про вимоги технічної безпеки, електробезпеки. Утилізація згідно вимог для промислових відходів за ГОСТ 30773–2001.

4 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документацію слід оформляти згідно ДСТУ 3008:2015.

Конструкторська документація має містити у своєму складі:

— текстову документацію (пояснювальна записка, перелік елементів, специфікація на розроблені друковані вузли);

— графічну документацію (загальний обсяг має становити мінімум 3 листа А3 — це схеми електричні принципові, кресленики друкованих плат, складальні кресленики).

5 ОРІЄНТОВНИЙ ЗМІСТ МД

Титульний лист

Завдання на дипломний проєкт

Анотація

Вступ

1. Аналіз ринку. Аналіз технічного завдання. Розробка структурної.
2. Розробка підсилювальних плат.
3. Розробка підсилювача для РЕБ систем в діапазоні 470-1000МГц.
4. Розрахунки, що підтверджують працездатність конструкції.
5. Розробка стартап проєкту.

Висновки

Перелік посилань

Додаток А — Технічне завдання

Додаток Б — Комплект КД

6 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

Таблиця А.1 — Етапи дипломного проєкту

№ з/п	Назва етапів	Термін виконання	Форма звітності
1	Огляд існуючих рішень	5.09.24 – 13.09.24	
2	Розробка та аналіз ТЗ	13.09.24 – 19.09.24	
3	Обґрунтування та вибір схемотехнічних рішень	20.09.24 – 10.10.24	
4	Вибір та обґрунтування елементної бази	10.10.24 – 20.10.24	
5	Проектування друкованої плати	20.10.24 – 15.11.24	
6	Розрахунки, що підтверджують працездатність	15.11.24 – 29.11.24	
7	Оформлення документації	29.11.24 – 9.12.24	

**7 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ І
МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬСЯ ПІД ЧАС ЗАКІНЧЕННЯ ЕТАПІВ
МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ В ЦІЛОМУ**

1. Представлення проміжних результатів дипломного проєкту керівнику у зазначені терміни.
2. Представлення завершеного магістерської дисертації керівнику.
3. Перевірка магістерської дисертації на наявність плагіату.
4. Представлення кафедри готової магістерської дисертації за 7 днів до дати захисту.
5. Захист магістерської дисертації перед екзаменаційною комісією.

Виконавець

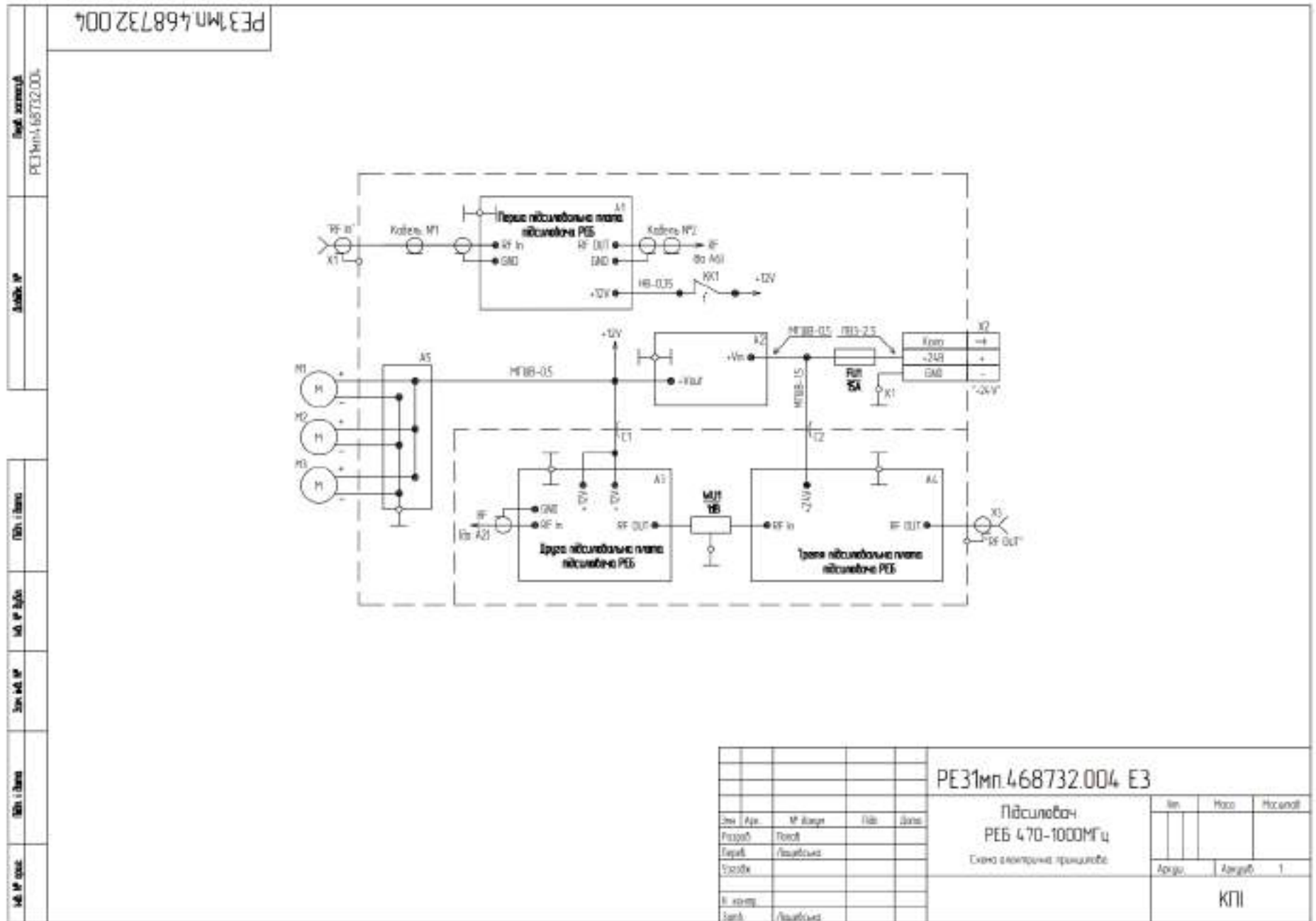


Нікіта Попов

Керівник

Наталія Лащевська

ДОДАТОК Б



Пер. викор.	РЕЗ1мп.468732.004 ПЕЗ	Поз. позначення	Найменування			Кіл.	Примітки			
		A1	Відсутній							
		A2	Плата підсилювача АА3Е.468732.318-99			1				
		A3	Відсутній							
		A4	Перетворювач DC-DC LM2596HV			1				
		A5	Плата АА3Е. 758721124			1				
Додатк. №		A6	Підсилювач UHF 200 мВт АА3Е.468732.302			1				
		A7	Підсилювач 70 Вт 400М-970М АА3Е.468732.150-99			1				
		C1	Конденсатор прохідний 70 В 10 нФ, Tusanix			1	P/N 4400-093LF			
		C2	Конденсатор 500 В 20 А 1000 нФ, Tusanix			1	P/N 2499-003-X5U0-102P			
Підп. і дата		J1	Перемичка. Фольга			1				
Підп. і дата		KK1	Термореле KSD-01F D 70°			1	P/N KSD-01F-NC-D-70C			
		M1..M3	Вентилятор Sunon 12 В			1	P/N 04028DA-12T-AK-HAQ			
Інв. № добул.		X1	Зажим ЗВ-С-4х12 ГОСТ 21130-75			1				
		X2	З'єднувач XT90E-M AMASS			1				
		X3	З'єднувач N (f) панельний, фланець, ROSENBERGER			1	P/N 53K413-500N5			
Зак. інв. №										
Підп. і дата										
						РЕЗ1мп.468732.004 ПЕЗ				
		Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Інв. № ориг.		Розроб.	Папоб			Підсилювач РЕБ 470-1000МГц Перелік елементів		Літ.	Аркуш	Аркуші
		Переб.	Лашевська						1	2
		Узгодж.						КПІ		
		Н.контр.								
		Затв.	Лашевська							

Перв. примен.		Формат	Поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітки
Справ. №		A2		РЕ31мп.468732.004СБ	<u>Документація</u> Складальне креслення Схема електрична принципова Перелік елементів		
		A3	РЕ31мп.468732.004ЕЗ				
		A4	РЕ31мп.468732.004ПЕЗ				
					<u>Складальні одиниці</u>		
Подп. и дата		A4	2	РЕ31мп.468732.003	Підсилювач 70 Вт 400М-970М	1	A7
		A4	5	РЕ31мп.468732.001	Плата підсилювача	1	A2
		А4	7	РЕ31мп.468732.002	Підсилювач UHF 200 мВт	1	A6
			9		Зажим гвинтовий М3х8	1	X1
Подп. и дата					ААЗЕ.468732.004 СП		
Инв. № подл.	Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		
	Розроб.	Попов				Літера	Лист
	Пререв.	Лашевська					1
	Н.контр.					Листів	
	Затв.	Лашевська				6	
Підсилювач РЕБ 470-1000МГц						"КПІ"	

					Формат	Поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітки	
								<u>Деталі</u>			
					A4	12		Стійка	2	1)*	
					A3	14		Стінка	1		
					A3	15		Стінка	1		
					A2	16		Стінка	1		
					A3	20		Хомуттик	1		
					A2	22		Кришка	1		
					A2	23		Кришка	1		
					A2	25		Радіатор	1		
					A4	27		Шильдик	1		
					A4	29		Плата	1	A5	

Формат	Поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітки
			<u>Інші вироби</u>		
	80		Перетворювач DC-DC LM2596HV	1	A4
	84		Конденсатор прохідний 70 В 10 нФ, Tusonix P/N 4400-093LF	1	C1
	86		Конденсатор 500В 20А 1000 нФ, Tusonix P/N 2499-003-X5U0-102P	1	C2
	88		Вентилятор Sunon 12 В 0,96 Вт 10,8 CFM P/N MF40201VX-A99	3	M1...M3
	89		Решітка захистна FG-04	3	
	92		N(f) панельний фланець, Rosenberger P/N 53K413-500N5	1	X3
	94		З'єднувач SMA(f) панельний різьба, Rosenberg 32K607-302L5	1	Каб. №1
	98		З'єднувач XT90E-M AMASS	1	X2
Інв. № подл.					
Взам. инв. №					
Ізв. № дубл.					
Подп. и дата					
Подп. и дата					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ААЗЕ. 468732.004 СП
					Лист
					4

					Формат	Поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітки												
<table><tr><td>Инв. № подл.</td><td>Подп. и дата</td><td>Взам. инв. №</td><td>Инв. № дубл</td><td>Подп. и дата</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл	Подп. и дата						100		Тримач запобіжника Littelfuse 345 HV Ser. P/N 03450631H	1	FU1							
	Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл	Подп. и дата																	
	101		Запобіжник 15A Littelfuse 215 Ser. P/N 0215015	1																		
	102		стопорна шайба Littelfuse P/N 09050023H	1																		
	104		Атенюатор 1 дБ 10 Вт 50 Ом 5%, Diconex P/N 16-6642	1	WU1																	
106		Площадка кріплення HC-1 15×10×7 мм	1																			
108		Шайба ізоляційна M2.5x5,5x0,5 мм	4																			
	110		Термореле KSD-01F D 70 P/N KSD-01F-NC-D-70C	1	KK1																	
<table><tr><td>Изм</td><td>Лист</td><td>№ докум.</td><td>Подп.</td><td>Дата</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>					Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						ААЗЕ. 468732.004 СП					<table><tr><td>Лист</td></tr><tr><td>5</td></tr></table>	Лист	5
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата																		
Лист																						
5																						

Формат	Поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітки
Інв. № подл. Підп. и дата Взам. инв. № Инд. № дубл. Підп. и дата			<u>Матеріали</u>		
	120		Кабель RG316	0,2	м
	121		Кабель RG303	0,1	м
			Провід ГОСТ 17515-72		
	124		НВ-0,35	0,3	м
			Провід МГШВ ТУ 16-505.437-82		
	128		МГШВ-0,5	0,5	м
	129		МГШВ-1,5	0,5	м
			Фольга ДПРНТ 0,015x1x10 М2		
	134		ГОСТ 5638-75	1	1x10 мм
			<u>Комплекти</u>		
			З'єднувач ХТ90Н-Е АМАСС	1	
			Прокладка з заглушкою ХТ90Е.С-М АМАСС	1	
ААЗЕ. 468732.004 СР					Лист
					6
Ізм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	

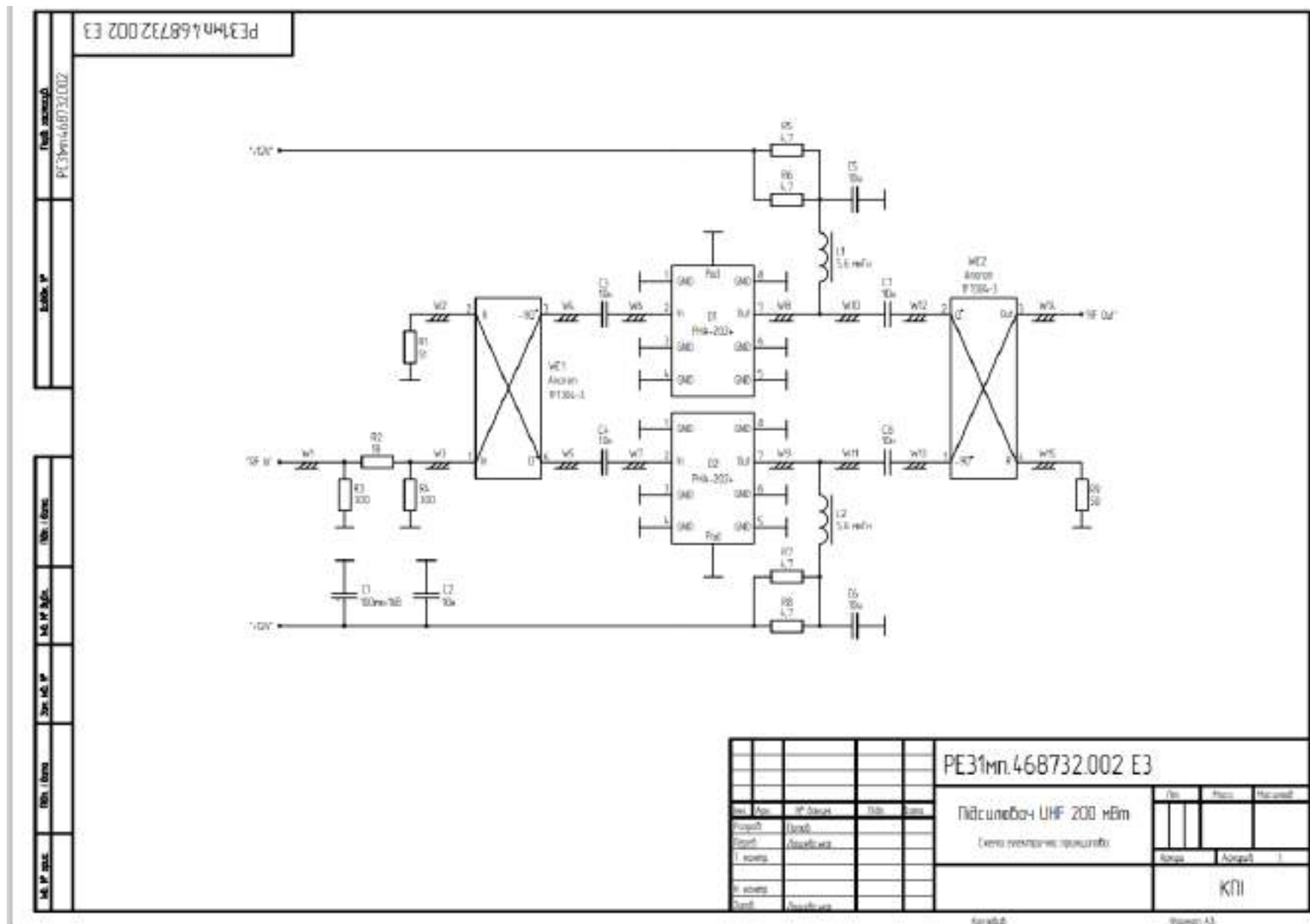
Ім'я, Н° органу	Підп. / Дата	Зам. імп. №	Імп. № зубил.	Підп. / Дата	Додатк. №	Верс. викор.
				РЕЗ1мп.468732.001		

Ім.	Дат.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Лопов			
Перевір.	Лещевська			
Т. контр.				
Узгодж.				
Н. контр.				
Вата.	Лещевська			

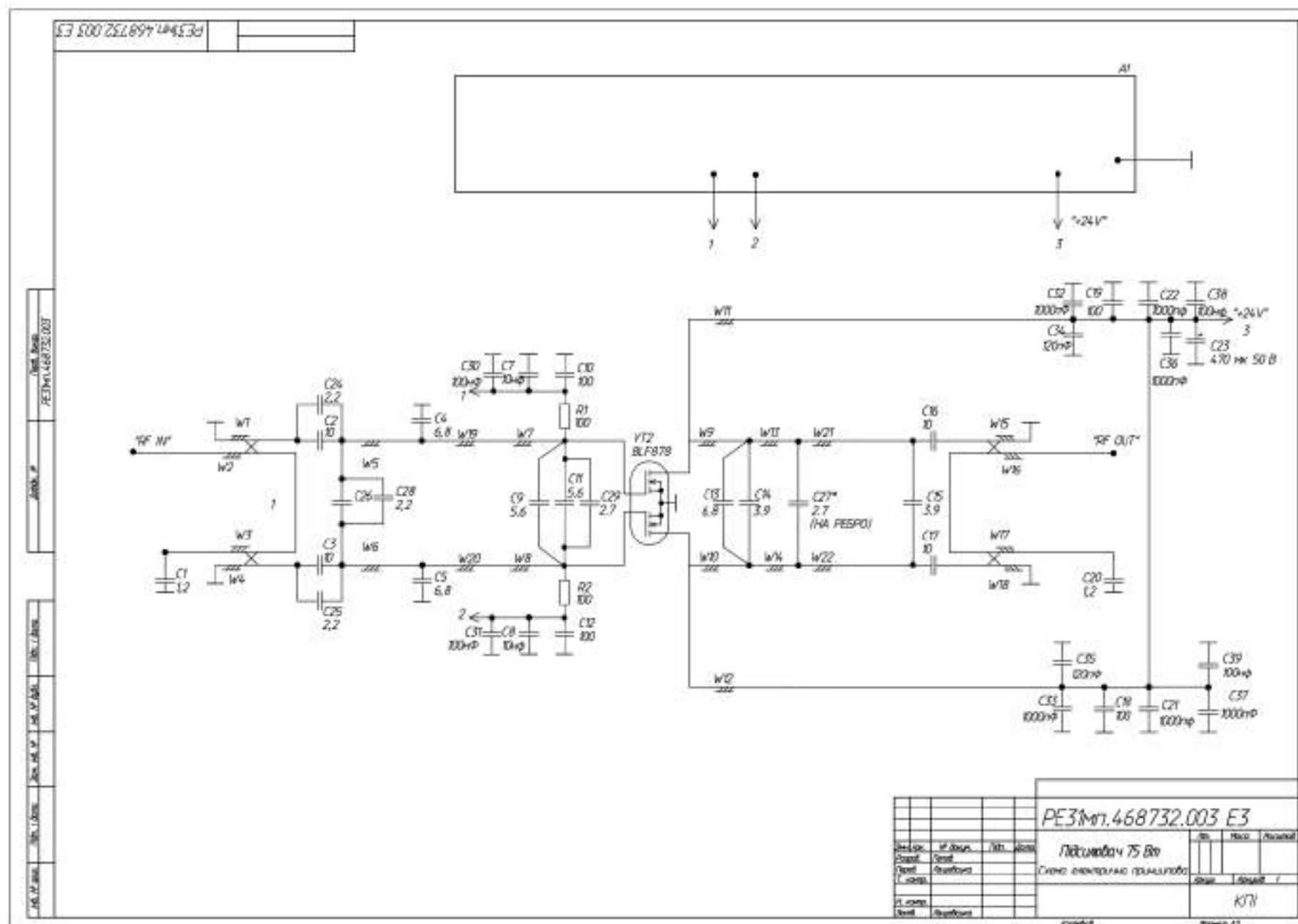
РЕЗ1мп.468732.001		
Плата підсилювача	Літ.	Маса
	Архив	Архив
"КПІ"		

Копія
Формат А3

[illegible]



Поз. позначення	Найменування	Кін.	Примітки
Перф. вихар. РЕЗ1мп.468732002 ПЕЗ			
	C1	Конденсатор ELV-C 16 В 100 мкФ ±20% Hitano	1
	C2..C8	Конденсатор 1206 COG 50 В 10 нФ ±5% MURATA	7 GRM3195C1H103JA01D
	D1, D2	Мікросхема PHA-202+, Mini-Circuits	2
Додатк. №			
	L1, L2	Індуктивність 5,6 мкГн WA8514-AE, Coilcraft	2
		Резистори	
	R1	2010 (2512) 51 Ом ±5%	1
	R2	1206 18 Ом ±5%	1
	R3, R4	1206 300 Ом ±5%	2
	R5, R8	2512 4,7 Ом ±5%	4
	R9	10 Вт 50 Ом ±2%, AVX	1 RP92010TD0050GTTR
Підп. і дата			
	W1, W15	Мікросмужкова лінія конструктивна	15
Від. № дубл.	WE1, WE2	Відгалуджувач 1F13D4-3, Anaren Xinger	2
Зам. від. №			
Підп. і дата			
Від. № ориз.	Вми	Арк.	№ докум.
	Розроб	Поприб	Підп.
	Переб.	Лашевська	Дата
	Ніконтр		
	Затв.	Лашевська	
РЕЗ1мп.468732.002 ПЕЗ			
Підсилювач UHF 200 мВт			
Перелік елементів			
КПІ			



Пер. докум.	РЕЗ1мп.468732.003 ПЕЗ	Поз. позначення	Найменування				Кіл.	Примітки		
		A1	Модуль керування ААЗЕ.469235.005				1			
			Конденсатори							
		C1	АТС100В 500 В (1,2 ±0,25) нФ				1	АТС100В1R2CW500X		
Додатк. №		C2, C3	АТС100В 500 В 10 нФ 5%				2	АТС100В100JW500X		
		C4, C5	АТС100В 500 В (6,8 ±0,25) нФ				2	АТС100В6R8CW500X		
		C6	Не встановлювати							
		C7, C8	Murata C1812 X7R 1000 В 10 нФ 10%				2	GRM43DR73A103KW21L		
		C9	АТС100В 500 В (5,6 ±0,25) нФ				1	АТС100В5R6CW500X		
		C10	АТС100В 500 В 100 нФ 5%				1	АТС100В101JW500X		
		C11	АТС100В 500 В (5,6 ±0,25) нФ				1	АТС100В5R6CW500X		
		C12	АТС100В 500 В 100 нФ 5%				1	АТС100В101JW500X		
		C13	АТС100В 500 В (6,8 ±0,25) нФ				1	АТС100В6R8CW500X		
		C14	АТС100В 500 В (3,9 ±0,25) нФ				1	АТС100В3R9CW500XC		
		C15	АТС100В 500 В (3,9 ±0,25) нФ				1	АТС100В3R9CW500X		
		C16, C17	АТС100В 500 В 10 нФ 5%				1	АТС100В100JW500X		
		C18, C19	АТС100В 500 В 100 нФ 5%				2	АТС100В101JW500X		
Підп. і дата		C20	АТС100В 500 В (1,2±0,25) нФ				1	АТС100В1R2CW500X		
		C21, C22	АТС100В 500 В 1000 нФ 5%				2	АТС100В102JW500X		
		C23	Конденсатор Suntan TS14 50 В 470 мкФ 20%				1	10x20 мм		
Інв. № дубл.		C24, C25	АТС100В 500 В (2,2 ±0,25) нФ				2	АТС100В2R2CW500X		
Зам. ітд. №										
Підп. і дата										
Інв. № ориг.		Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	РЕЗ1мп.468732.003 ПЕЗ			
		Розроб.	Попов				Підсилювач 70Вт			
		Перед.	Лещевська							
		Н.контр.					Перелік елементів			
		Затв.	Лещевська							
						Літ.	Аркуш	Аркушів		
							1	2		
						КПІ				

Поз. позначення		Найменування	Кіл.	Примітки
C26		ATC100B 500 В (1,2 ±0,25) нФ	1	ATC100B1R2CW500X
C27		ATC100B 500 В (2,7 ±0,25) нФ	1	ATC100B2R7CW500X
C28		ATC100B 500 В (2,2 ±0,25) нФ	1	ATC100B2R2CW500X
C29		ATC100B 500 В (2,7 ±0,25) нФ	1	ATC100B2R7CW500X
C30,C31		Murata C1812 X7R 630 В 100 нФ 10%	2	GRM4.3DR72J104KW01
C32,C33		ATC100B 500 В 1000 нФ 5%	2	ATC100B102JW50X
C34,C35		ATC100B 500 В 120 нФ 5%	2	ATC100B12UW500X нова
C36,C37		ATC100B 500 В 1000 нФ 5%	2	ATC100B102JW50X
C38,C39		Murata C1812 X7R 630 В 100 нФ 10%	2	GRM4.3DR72J104KW01
		Резистори		
R1, R2		Резистор CFR-25S 100 Ом 5%	2	
		Транзистори		
VT1		Транзистор BLF878 NXP	1	
W1..W22		Мікросмужкова лінія	20	конструктивна