Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та інженерії
(повна назва факультету)
Кафедра радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр
(назва освітнього ступеня)

на тему: Модуль регенеративного коротко-хвильового приймача

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи РА-41
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)

		Войцещук М.С.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник		Дедів І.Ю.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль		Хвостівська Л. В.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри		Дунець В. Л.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент		
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Тернопіль 2026

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет _____ прикладних інформаційних технологій та інженерії
(повна назва факультету)
Кафедра _____ радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Дунець В. Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 20___р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня Бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)
студенту Войцещуку Миколі Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модуль регенеративного коротко-хвильового приймача

Керівник роботи Дедів Ірина Юрівна к.т.н. доц. кафедри РТ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
Затверджені наказом ректора від «___» _____ 20___року № _____
2. Термін подання студентом завершеної роботи _____
3. Вихідні дані до роботи діапазони прийому: 6–10 МГц (КВ1) або 9–17 МГц (КВ2)
вихідна потужність близько 1 Вт;
Напруга живлення 12 В; RC-фільтри та параметричний стабілізатор живлення.
4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
1. Розрахункова частина
2. Спеціальна частина (САПР)
3. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці
ВИСНОВКИ
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ
ДОДАТКИ
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
1. Структурна схема приладу
2. Схема електрчна принципова
3. Креслення друкованої плати
4. Складальне креслення друкованого вузла

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека жпттєдіяльності,			
основи охорони праці			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка та затвердження технічного завдання		
2.	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних		
	матеріалів, необхідних для виконання роботи		
3.	Розробка структурної схеми приладу		
4.	Розробка схеми електрично принципової		
5.	Розрахунок вузлів у схемі приладу		
6.	Вибір компонентів бази для розробленого приладу		
7.	Копмоновка друкованого вузлу		
8.	Створення допоміжної документації		
9.	Розділ безпеки життєдіяльності, основи охорони праці		
10.	Нормконтроль		
11.	Перевірка роботи на антиплагіат		
12.	Попередній захист КР		
13.	Захист КР		

Студент _____ Войцещук М.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Дедів І.Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Модуль регенеративного короткохвильового приймача». Кваліфікаційна робота бакалавра // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РА-41 // Тернопіль, 2026р. // с.-79, рис. -22, бібліог.-31, додат.-13.

Ключові слова: РЕГЕНЕРАТИВНИЙ ПРИЙМАЧ, КОРОТКОХВИЛЬОВИЙ ДІАПАЗОН, ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, ALTIUM DESIGNER, ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА.

Робота над розробкою модуля регенеративного короткохвильового приймача, що поєднує високу чутливість регенеративного каскаду з ефективним підсиленням звукової частоти. Пристрій побудовано на базі диференційного детектора та чотирикаскадного підсилювача потужності, що забезпечує стабільний прийом. В роботі проведено проектування друкованого вузла в середовищі Altium Designer з дотриманням вимог до високочастотного монтажу. Модуль орієнтований на використання в аматорських радіоприймальних системах та умовах загородного радіоприйому. Основні технічні параметри: вихідна потужність підсилювача потужності звукової частоти – 1 Вт, напруга живлення – 12 В, діапазон прийому – 6...17 МГц.

ANNOTATION

Theme of the qualification work: "Regenerative shortwave receiver module". Bachelor's qualification work // Ternopil National Technical University named after Ivan Puluj, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, group RA-41 // Ternopil, 2026 // p.-79, fig.-22 , bibl.-31, app.-13.

Keywords: REGENERATIVE RECEIVER, SHORTWAVE RANGE, DIFFERENTIAL AMPLIFIER, ALTIUM DESIGNER, FIRE SAFETY.

The qualification work focuses on developing a regenerative shortwave receiver module that combines high sensitivity of the regenerative stage with efficient audio frequency amplification. Built on a differential detector and a four-stage power amplifier, the device ensures. The printed circuit board design was developed in the Altium Designer environment, adhering to high-frequency routing requirements. This module is designed for use in amateur radio systems and rural radio reception conditions. The main technical parameters are as follows: audio output power of 1 W, supply voltage of 12 V, and reception range of 6...17 MHz.

ЗМІСТ

Вступ.....7
1 Основна частина 10
1.11 Технічне завдання.....10
1.12 Аналіз існуючих радіоприймальних пристроїв.....12
1.13 Аналіз існуючих підходів до побудови радіоприймачів.....13
1.2 Розробка структурної схеми.....16
1.3 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової Схеми.....20
1.3.1 Розрахунок вузла підсилювача радіочастоти (УРЧ).....21
1.3.2 Розрахунок вузла регенеративного детектора.....23
1.3.3 Розрахунок вузла електронного регулювання бар'єра ПОС.....24
1.3.4 Розрахунок вузла підсилювача звукової частоти.....26
1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази.....28
1.5 Компоновка друкованого вузла 39
1.6 Висновки до розділу 1.....45
2 Спеціальна частина(САПР).....46
2.1 Вибір САПР.....46
2.2 Етапи проектування друкованої плати в САПР DipTrace.....47
2.3 Висновки до розділу 2.....52
3 Охорона праці та безпека життєдіяльності.....54
3.1 Безпека життєдіяльності.....54
3.2 Охорона праці.....56
3.3 Висновки до розділу 3.....59
Висновки.....61
Список використаних джерел.....63
Додатки

					ВМС 2.000.001 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Войцещук М.С.			Модуль регенеративного коротко - хвильового приймача	Літ.	Арк. 6 / Аркушів 61
Перевір.		Дедів І.Ю.					
Реценз.						ТНТУ, ФПТ каф. РТ гр. РА-41	
Н. Контр.		Хвостівська Л.В					
Затверд.		Дунець В.Л.					

Вступ

У сучасному світі бездротового зв’язку та радіоелектроніки приймання та обробка високочастотних сигналів залишається однією з фундаментальних технологічних задач. Стрімкий розвиток цифрових систем передачі даних та мобільного зв'язку не зменшив інтересу до короткохвильового (КХ) діапазону, який завдяки специфіці поширення радіохвиль (ionospheric propagation) забезпечує дальній зв'язок на величезні відстані без використання вартісної супутникової чи наземної інфраструктури. У цьому контексті розробка компактних, ефективних та доступних засобів радіоприймання є невіддільною складовою розвитку сучасної аматорської, навчальної та спеціальної приймальної апаратури.

Актуальність використання регенеративних приймачів зумовлена їх унікальною здатністю забезпечувати надвисоку чутливість і вибірковість за мінімальної кількості активних елементів. Принцип регенерації (позитивного зворотного зв'язку) дозволяє штучно збільшити добротність коливального контуру, що робить такі пристрої незамінними для вивчення основ радіотехніки, а також для створення бюджетних, але високоефективних приймальних модулів. Сучасний підхід до конструювання регенераторів передбачає не лише використання класичних схемотехнічних рішень, а й інтеграцію сучасної елементної бази, засобів електронного керування (наприклад, за допомогою варикапів або цифрових синтезаторів частоти) та модульне виконання, що дозволяє легко інтегрувати приймач у складніші багатофункціональні радіосистеми.

У межах цієї кваліфікаційної роботи реалізовано проєкт модуля регенеративного короткохвильового приймача, призначеного для якісного приймання амплітудно-модульованих (АМ), телеграфних (CW) та односмугових (SSB) сигналів. Візуалізацію налаштування та стабільність роботи модуля забезпечує продумана схемотехніка вузла керування регенерацією, яка дозволяє користувачеві плавно підходити до порогу

генерації, забезпечуючи максимальне підсилення сигналу в реальному часі. Модульний принцип виконання спрощує його поєднання з зовнішніми підсилювачами низької частоти, цифровими шкалами чи антенними підсилювачами.

В роботі розроблений пристрій із застосуванням сучасної елементної бази, яка включає високочастотні транзистори (або мікросхеми), стабілізатори напруги для мінімізації дрейфу частоти, а також оптимізовані індуктивні елементи. Розробка електричної принципової схеми враховує необхідність жорсткої стабілізації режимів роботи активних елементів та захисту від паразитного випромінювання в антену, що гарантує компактність конструкції, простоту налаштування і надійність пристрою в цілому.

Проведений аналіз ринку та сучасних радіоаматорських тенденцій виявив брак готових, стабільних у роботі модульних рішень, які б поєднували класичний принцип регенерації з надійністю та повторюваністю сучасної схемотехніки. Саме тому запропонований у роботі модуль має високу актуальність та практичну цінність, оскільки його можна застосовувати як для індивідуального радіоаматорського приймання, так і в лабораторних практикумах закладів вищої освіти для наочної демонстрації законів радіотехніки.

Таким чином, розроблений у рамках кваліфікаційної роботи бакалавра модуль регенеративного короткохвильового приймача представляє сучасне, ефективне та збалансоване рішення, яке поєднує в собі високу чутливість, економічність, зручність налаштування та технологічну ефективність.

Під час роботи над проєктом було здійснено комплексний аналіз аналогів, вибір сучасної компонентної бази, розроблено структурну та принципову схеми, виконано ретельні розрахунки параметрів коливального контуру, вузла зворотного зв'язку та друкованого монтажу. Використання високоякісних стабілізаторів живлення забезпечило стійкість частоти до зовнішніх факторів, а модульна архітектура зробила пристрій універсальним

у застосуванні. Завдяки оптимізації аналогового тракту, створений пристрій може бути успішно використаний як самостійно, так і в складі складніших приймально-передавальних комплексів, підвищуючи ефективність моніторингу КХ-ефіру.

1 Основна частина

1.1 Аналіз технічного завдання

1.1.1 Технічне завдання

Розвиток сучасних засобів радіозв'язку супроводжується постійним удосконаленням приймальної апаратури, спрямованим на підвищення чутливості, вибірковості та надійності прийому сигналів. Незважаючи на широке впровадження цифрових технологій обробки сигналів, аналогові короткохвильові приймачі продовжують залишатися актуальними завдяки простоті конструкції, невисокій вартості та можливості прийому сигналів на значних відстанях. Особливий інтерес серед радіоаматорів та навчальних закладів викликають регенеративні приймачі, які поєднують високу чутливість із мінімальною кількістю елементів.

Технічним завданням кваліфікаційної роботи передбачено розробку модуля регенеративного короткохвильового приймача, призначеного для прийому радіосигналів у короткохвильовому діапазоні частот. Приймач повинен забезпечувати впевнений прийом радіостанцій у діапазонах від 6 до 10 МГц або від 9 до 17 МГц залежно від вибору параметрів коливального контуру. Прийом сигналів здійснюється за допомогою зовнішньої дротової антени довжиною від 10 до 15 метрів, що дозволяє забезпечити достатній рівень вхідного сигналу навіть при значній віддаленості передавальної станції.

Основною вимогою до проєктованого пристрою є забезпечення високої чутливості прийому при відносно простій схемотехнічній реалізації. Для виконання цієї вимоги до складу приймача входить підсилювач радіочастоти, регенеративний детектор та багатокаскадний підсилювач звукової частоти. Використання регенеративного детектора дозволяє значно збільшити коефіцієнт підсилення сигналу за рахунок застосування позитивного зворотного зв'язку, що підвищує чутливість та вибірковість приймача без

використання складних багатокаскадних схем.

Підсилювач радіочастоти виконує функцію попереднього підсилення прийнятого антеною сигналу та забезпечує розв’язку між антеною і регенеративним детектором. Така побудова дозволяє зменшити вплив параметрів антени на роботу коливального контуру та підвищити стабільність налаштування приймача. Регенеративний детектор є основним функціональним вузлом пристрою, оскільки саме в ньому відбувається виділення корисної інформації з високочастотного сигналу та формування звукового сигналу для подальшого підсилення.

Для відтворення прийнятої інформації передбачено використання чотирикаскадного підсилювача звукової частоти. Він забезпечує підсилення сигналу до рівня, достатнього для роботи з динамічною головкою. Вихідна потужність підсилювача становить близько 1 Вт, що забезпечує комфортне прослуховування прийнятих радіопередач у приміщенні.

Важливою вимогою технічного завдання є забезпечення стабільної роботи окремих каскадів приймача. Для цього в схемі передбачено використання RC-фільтрів та стабілізатора напруги, які знижують взаємний вплив функціональних вузлів і зменшують рівень паразитних перешкод. Стабілізація живлення особливо важлива для регенеративного детектора, оскільки навіть незначні зміни напруги можуть впливати на глибину позитивного зворотного зв’язку та стабільність прийому.

Живлення пристрою здійснюється від джерела постійної напруги 12 В. Таке рішення забезпечує мобільність конструкції та можливість автономної роботи від акумуляторної батареї. При необхідності допускається використання мережевого блоку живлення з трансформаторним джерелом напруги та випрямлячем.

При розробці конструкції необхідно забезпечити простоту монтажу, доступність елементної бази та можливість повторення пристрою в умовах навчальної лабораторії або радіоаматорської майстерні. Усі компоненти

повинні відповідати вимогам надійності, мати необхідний запас за електричними параметрами та забезпечувати довготривалу безвідмовну роботу пристрою.

Таким чином, аналіз технічного завдання показав, що для реалізації поставлених вимог доцільним є використання структури регенеративного короткохвильового приймача, яка включає підсилювач радіочастоти, регенеративний детектор, багатокаскадний підсилювач звукової частоти та стабілізоване джерело живлення. Обрана структура дозволяє забезпечити необхідні характеристики чутливості, вибірковості та якості прийому при відносно простій схемотехнічній реалізації та невеликій кількості електронних компонентів.

1.1.2 Аналіз існуючих радіоприймальних пристроїв та обґрунтування напрямку розробки

На сучасному етапі розвитку радіотехніки існують різні підходи до побудови приймачів короткохвильового (КХ) діапазону: від класичних супергетеродинних схем до цифрових методів обробки сигналів (SDR). Аналіз існуючих рішень дозволяє визначити найбільш ефективний шлях для розробки компактного та чутливого модуля.

Аналіз існуючих архітектур: Супергетеродинні приймачі: Забезпечують високу вибірковість та чутливість завдяки перенесенню сигналу на проміжну частоту. Однак, реалізація таких схем потребує складної системи гетеродинів, багатоконтурних фільтрів та значної кількості активних компонентів, що суттєво збільшує габарити та енергоспоживання пристрою. SDR-приймачі (Software Defined Radio): Використовують цифрову обробку сигналів. Вони вирізняються високою гнучкістю, проте вимагають потужної апаратної бази (АЦП, DSP або ПК), що робить їх менш придатними для розробки автономного, простого та недорогого модуля для радіоаматорських цілей. Приймачі прямого підсилення (регенеративні): Схеми на основі регенерації

(позитивного зворотного зв'язку) дозволяють отримати надвисоку чутливість при мінімальній кількості компонентів. Головною перевагою є можливість «компенсувати» втрати в коливальному контурі, що дозволяє досягти вибірковості, порівнянної з супергетеродинами, при значно меншій складності конструкції. Обґрунтування напрямку розробки: Порівняльний аналіз показав, що для створення мобільного, автономного модуля КХ-приймача архітектура регенератора є найбільш доцільною. Вибір на користь регенеративної схеми (типу 1-V-4) обґрунтований наступними факторами: Енергоефективність: Робота пристрою від низьковольтного джерела живлення (12 В) забезпечує тривалу автономну роботу. Чутливість: Ефект регенерації дозволяє приймати слабкі сигнали далеких радіостанцій, які недоступні для простих приймачів прямого підсилення без ПОЗ. Простота схемотехніки: Використання диференційного детектора та чотирикаскадного підсилювача потужності звукової частоти дозволяє спростити налагодження модуля та зменшити його собівартість. Компактність: Мінімальна кількість компонентів дозволяє розробити друковану плату з високою щільністю монтажу, що відповідає сучасним вимогам до портативної радіоапаратури. Таким чином, розробка модуля регенеративного КХ-приймача є актуальним завданням, що дозволяє поєднати класичні принципи аналогової схемотехніки з вимогами до надійності та якості прийому в польових умовах. Обраний напрямок забезпечує баланс між складністю пристрою та його технічними характеристиками, що є ключовим для поставленого технічного завдання.

1.1.3 Аналіз існуючих підходів до побудови радіоприймачів

Для обґрунтування технічних рішень у даній кваліфікаційній роботі було проаналізовано три типи радіоприймальних пристроїв КВ-діапазону, що використовуються в сучасній практиці.

Підхід №1: Класичний регенеративний приймач на польовому транзисторі (типу «QRP Regenerative Receiver») Це «класика» аматорського

радіо. Схема базується на одному каскаді, що виконує функції підсилювача РЧ та детектора.

Рисунок 1.1 Класичний регенеративний приймач на польовому транзисторі

Мінімальна кількість компонентів, надзвичайна простота, можливість живлення від батарейки (9 В).

Низька стабільність частоти («вибігання» частоти при нагріванні), схильність до випромінювання сигналу в антену, відсутність буферного каскаду. Висновок: Не відповідає сучасним вимогам до стабільності, але є еталоном простоти. 2.

Підхід №2: Супергетеродинний приймач аматорського класу Приймачі з перетворенням частоти (наприклад, на базі мікросхем серії NE602 або TA7358).

Рисунок 1.2 Супергетеродинний приймач ;

Висока вибірковість за сусіднім каналом, стабільна робота налаштування, відсутність «заводок» при роботі.

Велика складність схеми, потреба в дефіцитних кварцових фільтрах або котушках індуктивності з жорсткими допусками, висока вартість реалізації вузла налаштування. Висновок: Занадто складний для портативного модуля, який має бути доступним у повторенні.

Підхід №3: Адаптивний регенеративний модуль (обраний тип розробки) розробка поєднує в собі переваги регенератора (висока чутливість) та сучасні схемотехнічні покращення: диференційний детектор, буферний підсилювач на вході та багатокаскадний підсилювач потужності звукової частоти.

Висока чутливість (за рахунок диференційної схеми), відсутність «паразитного» випромінювання (завдяки буферному каскаду), якісний звук на виході (чотирикаскадний УМЗЧ).

Потребує ретельного налаштування «порогової» точки генерації.

Висновок: Аналіз показує, що розроблюваний модуль є найбільш збалансованим рішенням. Він позбавлений недоліків варіанту №1 за рахунок введення буферного каскаду (РЧ), та значно технологічніший за варіант №2, що робить його придатним для використання в умовах аматорського радіозв'язку та автономної роботи.

1.2 Розробка структурної схеми

Для побудови сучасного, але водночас енергоефективного та конструктивно доступного радіоприймального пристрою, що працює в короткохвильових піддіапазонах КВ1 (6...10 МГц) та КВ2 (9...17 МГц), було проведено системно-технічний аналіз існуючих архітектур РПУ. Основними критеріями вибору структури були: забезпечення високої реальної чутливості, селективності за сусіднім каналом, стабільності частоти налаштування та мінімізація кількості дефіцитних чи дорогих компонентів. У результаті аналізу як базовий було обрано регенеративний метод демодуляції ВЧ-сигналів, а загальну архітектуру модуля спроєктовано за класичною функціональною формулою 1-V-4. Дане інженерне рішення розшифровується як радіоприймач прямого підсилення, що містить: один каскад попереднього підсилення радіочастоти (УРЧ); один регенеративний детектор (відеодетектор «V»); чотири послідовні каскади підсилення звукової частоти (УЗЧ). Розробка та обґрунтування такої конфігурації обумовлені необхідністю вирішення низки фундаментальних фізичних проблем, притаманних регенеративним системам: усунення дестабілізуючого впливу зовнішнього антенно-фідерного пристрою на контур, виключення паразитного випромінювання ВЧ-коливань в ефір, а також забезпечення високої вихідної потужності низькочастотного тракту для узгодження з сучасними динамічними головками або головними телефонами (навушниками). На основі проведених теоретичних досліджень було розроблено структурну схему модуля, яку представлено на рис. 1.3.

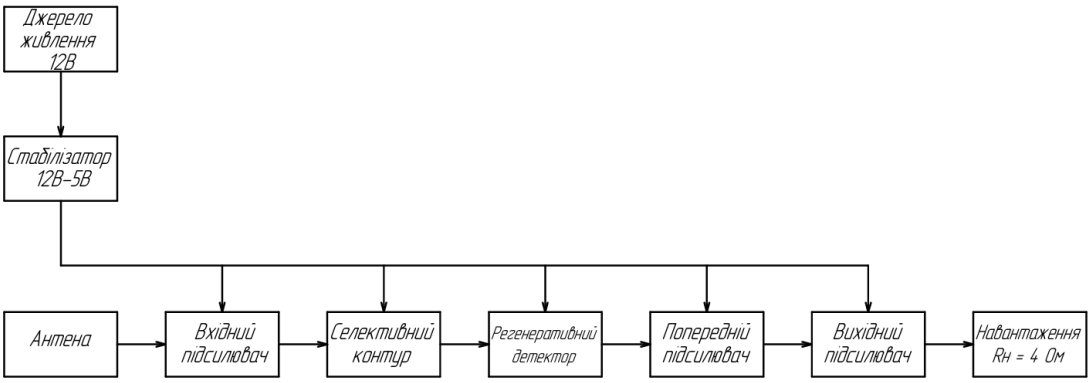


Рисунок 1.3 – Структурна схема;

1. Вхідний пристрій та антенно-фідерне узгодження. Первинне вловлювання просторових електромагнітних хвиль здійснюється зовнішньою нерезонансною електричною антеною типу «длинний провід» (еквівалентна фізична довжина провідника становить 10...15 метрів). Головною проблемою безпосередньої інтеграції таких антен у радіоприймальні контури є їх висока і нестабільна власна ємність (яка сильно змінюється під дією поривів вітру, опадів або зміни положення тіла оператора відносно фідерної лінії) та низький активний опір. Для уникнення критичного шунтування коливального контуру, внесення паразитної реактивності та погіршення еквівалентної добротності, вхідний пристрій модуля реалізує схему дуже слабкого ємнісного зв'язку. Сигнал подається через роздільний конденсатор надмалого номіналу, що дозволяє виділити корисну ЕРС радіосигналу та передати її на наступний каскад без погіршення селективних властивостей приймача.

2. Буферний підсилювач радіочастоти (УРЧ). Даний функціональний блок побудовано на активному елементі з високим вхідним опором (польовому транзисторі) і виконує дві найважливіші технічні задачі: Попереднє підсилення та оптимізація відношення сигнал/шум (SNR): слабкі високочастотні сигнали КВ-ефіру підсилюються по напрузі, що нівелює втрати у вхідних колах і суттєво підвищує реальну чутливість радіоприймача

на верхніх межах робочого діапазону. Буферизація та зворотна розв'язка (ізоляція): УРЧ виступає в ролі односпрямованого ізолюючого бар'єру між антеною та основним селективним регенеративним контуром. Оскільки каскад має високий вихідний опір і мізерно малу прохідну ємність, будь-які коливання параметрів антени більше не впливають на частоту налаштування приймача, повністю ліквідуючи явище «вибігу частоти». Крім того, УРЧ надійно блокує просачування власних високочастотних коливань регенератора (коли той працює в режимі автогенерації або на його межі) назад в антенне полотно. Це виключає перетворення приймача на паразитне джерело радіозавад та забезпечує виконання суворих стандартів електромагнітної сумісності (ЕМС).

3. Регенеративний детектор з короткохвильовим коливальним контуромЯвляє собою головний енергетичний та інформаційний вузол модуля. На відміну від типових діодних або простих однотранзисторних детекторів, цей блок реалізовано за високостабільною симетричною топологією на основі диференціальної пари транзисторів. До одного з плечей диференціального підсилювача підключається високодобротний коливальний контур, побудований на базі стабільної індуктивності та конденсатора змінної ємності (КЗЄ), за допомогою якого здійснюється точне налаштування на потрібну радіостанцію в межах обраного піддіапазону.Функціонал даного блоку поєднує два паралельні фізичні процеси:Регенерація контуру: введення регульованого позитивного зворотного зв'язку (ПОС) компенсує активні втрати енергії в котушці індуктивності та на друкованій платі. Це дозволяє штучно збільшити еквівалентну добротність контуру в тисячі разів. В результаті смуга пропускання звужується до одиниць кілогерц, забезпечуючи колосальну вибірковість за сусіднім каналом. Лінійне вольтметричне детектування: високочастотний амплітудно-модульований (АМ) сигнал випрямляється і згладжується самими переходами транзисторів диференціальної пари, перетворюючись на низькочастотний сигнал звукової

частоти (ЗЧ).

4. Електронний блок керування бар'єром регенерації Ефективність і чутливість регенеративного приймача досягають свого максимуму в мікроскопічній зоні — безпосередньо перед точкою зриву в автогенерацію (так званий «бар'єр регенерації»). Якщо підхід до цієї точки буде різким, відбудеться жорсткий зрив системи в режим генерації, що супроводжуватиметься свистом та блокуванням корисного сигналу. Для реалізації максимально «м'якого» та плавного керування в модулі застосовано передову схему електронного регулювання ПОС постійним струмом. Замість винесення чутливих ВЧ-провідників на передню панель пристрою до ручки керування, регулювання здійснюється за допомогою зміни постійної напруги зміщення на варикапній матриці, що інтегрована безпосередньо в ланцюг зворотного зв'язку детектора. Зміна ємності варикапів дозволяє оператору з високою точністю дозувати рівень ПОС, адаптуючи приймач для прийому як звичайного амплітудного мовлення (АМ), так і аматорського телеграфу (CW) чи односмугового сигналу (SSB).

5. Попередній підсилювач звукової частоти (УЗЧ) Низькочастотний сигнал, що виділяється регенеративним детектором, має амплітуду порядку одиниць мілівольт і високий вихідний опір. Для його первинного підсилення та узгодження рівнів застосовано попередній УЗЧ, виконаний на польовому транзисторі. Високий вхідний опір цього каскаду повністю виключає ефект шунтування детектора, зберігаючи незмінними його режими роботи по постійному струму. Окрім підсилення напруги, в даному блоці виконується важлива задача фільтрації: паралельно навантаженню інтегровано частотно-залежний конденсатор, який спільно з внутрішнім опором каскаду формує активний фільтр нижніх частот (ФНЧ). Він обрізає надлишкові високі частоти, ефірний шум, високочастотні продукти детектування та інтерференційні свисти сусідніх станцій, обмежуючи спектр частот чіткими рамками мовного стандарту (до 3,4...4 кГц), що суттєво підвищує розбірливість мови.

6. Кінцевий підсилювач потужності звукової частоти (УПП) Завершальний тракт структурної схеми являє собою потужний багатокаскадний підсилювач, розрахований на роботу з низькоомним навантаженням. Його головна задача — забезпечити значне підсилення сигналу по струму та розвинути вихідну потужність, достатню для якісної розкачки динамічної акустичної системи (динаміка) або низькоомних головних телефонів оператора. Для стабілізації параметрів, уникнення температурного дрейфу струму спокою вихідних транзисторів та мінімізації нелінійних спотворень типу «сходинки» (які часто виникають у двотактних схемах), весь блок УПП охоплений глибоким загальним динамічним негативним зворотним зв'язком (НЗЗ) через спеціальний резистивний дільник. Це гарантує лінійність амплітудної характеристики, м'яке («транзисторно-лінійне») звучання та надійний захист всього звукового тракту від самозбудження.

1.3 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми

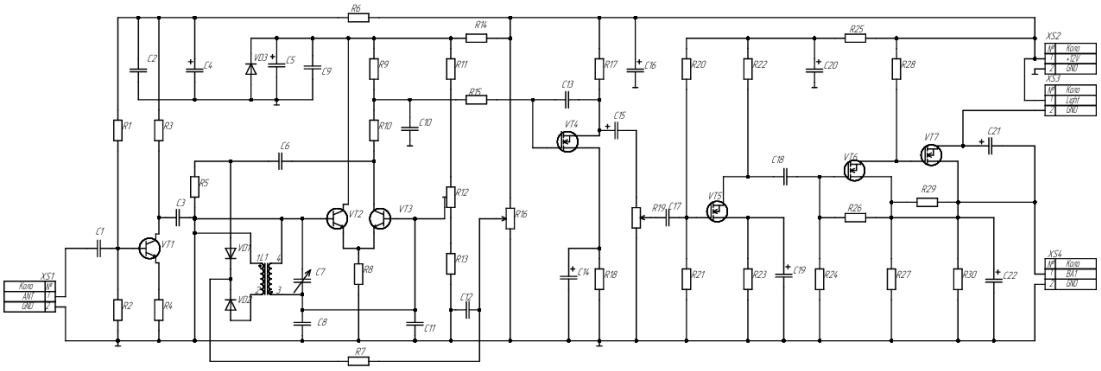


Рисунок 1.4 – Схема електрична принципова;

Проєктування електричної принципової схеми модуля регенеративного короткохвильового приймача базується на декомпозиції загальної структури 1-V-4 на чотири окремі функціональні вузли:

Вузол попереднього підсилення радіочастоти (УРЧ);

Вузол диференціального регенеративного детектора;

Вузол електронного регулювання бар'єра позитивного зворотного зв'язку (ПОС);

Вузол багатокаскадного підсилювача звукової частоти (УЗЧ).

Основним інженерним завданням проєктування є забезпечення стійкості режимів роботи за постійним струмом (точок спокою активних компонентів), стабілізації частоти та забезпечення необхідних параметрів підсилення у високочастотному та низькочастотному трактах.

1.3.1 Розрахунок вузла підсилювача радіочастоти (УРЧ)

Вузол попереднього підсилення РЧ реалізовано на польовому транзисторі VT1 типу КП303Е із керованим p-n переходом та каналом n-типу. Цей каскад виконує функцію активного буфера між зовнішньою антеною «довгий провід» та високодобротним контуром детектора.

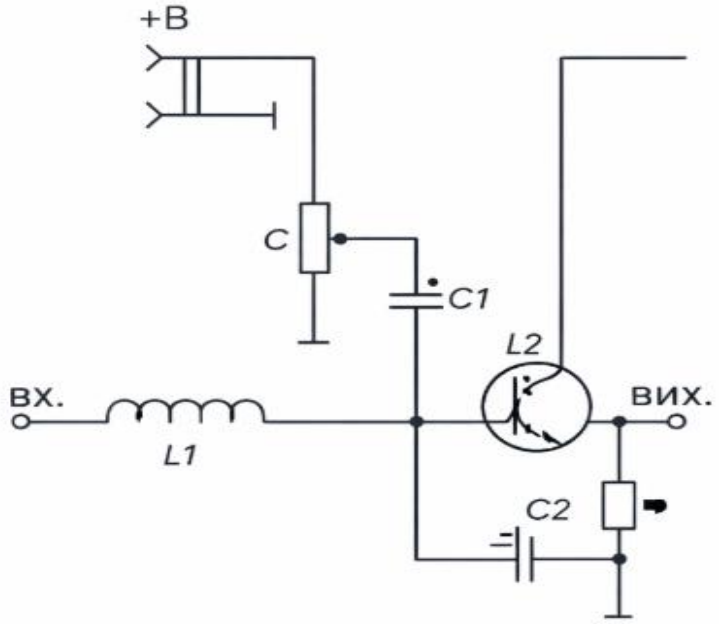


Рисунок 1.5 Вузол попереднього підсилення радіочастоти (УРЧ);

Задамо початкові умови для розрахунку точки спокою (режиму за постійним струмом):

Напруга живлення модуля: $U_{жив}$=9 В;

Оптимальний струм стоку транзистора VT1 у лінійній області:

$$I_{c0}=2 \text{ мА}=2\cdot10^{-3} \text{ А}; \quad (1.1)$$

Необхідна напруга стабілізуючого зміщення затвор-виток для транзистора з літери «Е»:

$$U_{зв0}=-1,0 \text{ В}.$$

Резистор R1 зв'язує затвор із шиною «земля», забезпечуючи нульовий потенціал затвора по постійному струму ($U_з$=0 В).

Опір R1обирається великим для виключення шунтування входу: R_1=1 МОм.

Розрахуємо опір резистора автоматичного зміщення R2 у ланцюзі витоку:

$$R_2=\frac{|U_{зв0}|}{I_{c0}}=\frac{1,0 \text{ В}}{2\cdot10^{-3} \text{ А}}=500 \text{ Ом} \quad (1.2)$$

Згідно з номінальним рядом Е24 приймаємо стандартне значення:

$$R_2=510 \text{ Ом}.$$

Конденсатор С2 усуває від'ємний зворотний зв'язок (ВЗЗ) по високій частоті. Розрахунок ведеться для найнижчої робочої частоти першого діапазону $f_{мін}$=6 МГц де реактивний опір X_{C2} має бути щонайменше в 10 разів меншим за опір R2 :

$$X_{C2}\leq0,1\cdot R_2=0,1\cdot510=51 \text{ Ом} \quad (1.3)$$

$$C_2\geq\frac{1}{2\pi\cdot f_{мін}\cdot X_{C2}}=\frac{1}{2\cdot3,14\cdot6\cdot10^{6}\cdot51}\approx520\cdot10^{-12} \text{ Ф} \quad (1.4)$$

Обираємо високочастотний керамічний конденсатор з номіналом C_2=1000 пФ=1 нФ.

1.3.2 Розрахунок вузла регенеративного детектора

Детекторний вузол реалізовано за симетричною диференціальною схемою на транзисторах VT2 та VT3 типу КТ3102Е. Вхідний короткохвильовий коливальний контур складається з котушки індуктивності L1 та конденсатора змінної ємності (КЗЄ)C_8.

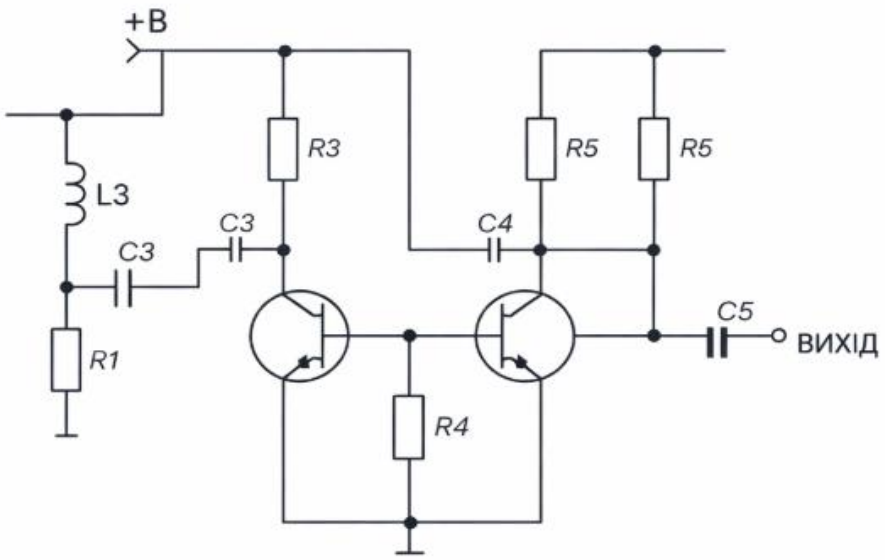


Рисунок 1.6 Вузол диференціального регенеративного детектора;

Розрахуємо параметри контуру для першого піддіапазону КВ1 (6...10 МГц). Межі зміни ємності КЗЄ становлять C_8=10...270 пФ. Враховуючи паразитну ємність монтажу друкованої плати та вхідну ємність транзистора $C_{пар}$≈15 пФ, сумарна мінімальна ємність контуру дорівнює:

$$C_{мін}=C_{8_мін}+C_{пар}=10+15=25 \text{ пФ} \quad (1.5)$$

За формулою Томсона визначимо необхідну індуктивність котушки L1 для забезпечення резонансу на верхній частоті діапазону $f_{макс}$=10 МГц:

$$L_1=\frac{1}{(2\pi\cdot f_{макс})^2\cdot C_{мін}}=\frac{1}{(2\cdot 3{,}14\cdot 10\cdot 10^6)^2\cdot 25\cdot 10^{-12}}\approx 10{,}14\cdot 10^{-6}\ \text{Гн} \quad (1.6)$$

Приймаємо конструктивне значення індуктивності: L_1=10 мкГн.

Перевіримо нижню межу частоти при максимальній ємності КЗЄ($C_{8_макс}$=270 пФ):

$$C_{макс}=C_{8_макс}+C_{пар}=270+15=285\ \text{пФ} \quad (1.7)$$

$$f_{нижн}=\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1\cdot C_{макс}}}=\frac{1}{2\cdot 3{,}14\cdot\sqrt{10\cdot 10^{-6}\cdot 285\cdot 10^{-12}}}\approx 2{,}98\ \text{МГц} \quad (1.8)$$

Діапазон зміни ємності КЗЄ повністю перекриває робочу смугу частот 6...10 МГц із необхідним інженерним запасом. Струм спокою диференціальної пари налаштовується підстроювальним резистором R_{12} = 4,7 кОм в межах 0,5...1,5мА для досягнення оптимальної крутизни вольтметричного детектування.

1.3.3 Розрахунок вузла електронного регулювання бар'єра ПОС

Регулювання позитивного зворотного зв'язку реалізовано зміною напруги на варикапній матриці VD1, VD2 (типу КВ109). Вони включені зустрічно-послідовно для нейтралізації прямого детектування ВЧ-сигналу. Керуюча напруга змінюється потенціометром R16 у межах $U_{кер}$=1...8 В, при цьому загальна ємність матриці змінюється від $C_{вар_макс}$=80 пФ до $C_{вар_мін}$=20 пФ.

Зв'язок варикапного вузла з контуром здійснюється через конденсатор C_3=5,1 пФ.

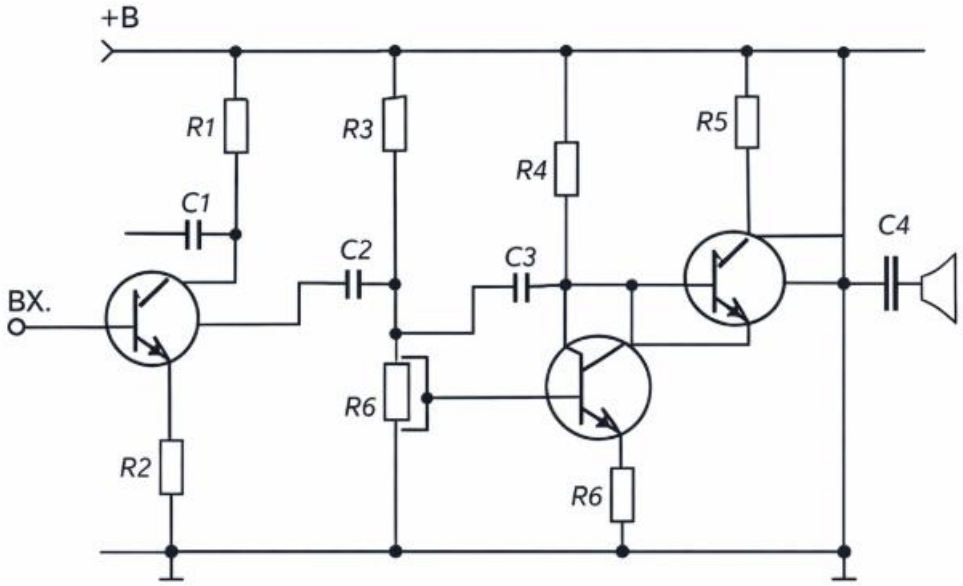


Рисунок 1.7 Вузол електронного регулювання бар'єра позитивного зворотного зв'язку (ПОС);

Розрахуємо межі зміни ємності $C_{вн}$, яка безпосередньо вноситься у коливальний контур. При максимальній ємності варикапів ($U_{кер}$=1 В):

$$C_{вн_макс}=\frac{C_3\cdot C_{вар_макс}}{C_3+C_{вар_макс}}=\frac{5{,}1\cdot 80}{5{,}1+80}=\frac{408}{85{,}1}\approx 4{,}79 \text{ пФ} \qquad (1.9)$$

При мінімальній ємності варикапів ($U_{кер}$=8 В):

$$C_{вн_мін}=\frac{C_3\cdot C_{вар_мін}}{C_3+C_{вар_мін}}=\frac{5{,}1\cdot 20}{5{,}1+20}=\frac{102}{25{,}1}\approx 4{,}06 \text{ пФ} \qquad (1.10)$$

Діапазон перебудови ємності регулювання становить:

$$\Delta C_{вн}=C_{вн_макс}-C_{вн_мін}=4{,}79-4{,}06=0{,}73 \text{ пФ} \qquad (1.11)$$

Такий звужений діапазон зміни внесеної ємності ($\Delta C \leq 1$пФ) гарантує винятково плавне, мікроскопічне дозування енергії зворотного зв'язку, що дозволяє утримувати приймач безпосередньо на порозі генерації без зривів та ефірного свисту.

1.3.4 Розрахунок вузла підсилювача звукової частоти

Тракт низької частоти виконано за чотирьохкаскадною схемою на транзисторах VT4 (польовий, КП303А) та VT5, VT6, VT7 (біполярні, КТ3102/КТ3107).

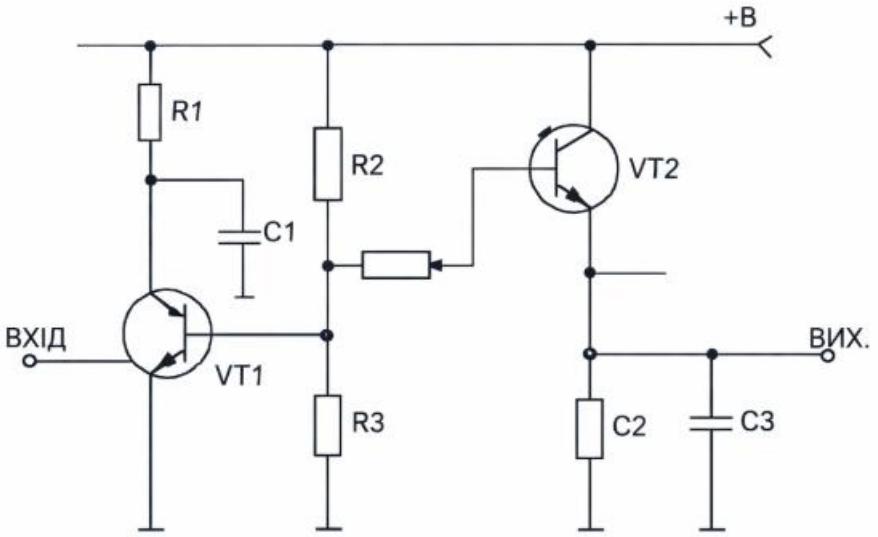


Рисунок 1.8 Вузол багатокаскадного підсилювача звукової частоти (УЗЧ);

Стабілізація першого каскаду ЗЧ (VT4): Для лінійної роботи попереднього підсилювача напруга на стоці відносно витоку має становити $U_{св} \geq 1$ В

При заданому струмі спокою $I_{с0_зч}=0{,}5$ мА та напрузі зміщення затвора 0,5 В, опір резистора у витоку R17 становить:

$$R_{17}=\frac{|U_{зв}|}{I_{с0_зч}}=\frac{0{,}5\ \text{В}}{0{,}5\cdot 10^{-3}\ \text{А}}=1000\ \text{Ом}=1\ \text{кОм} \qquad (1.12)$$

Розрахунок елементів формування АЧХ (ФНЧ): Для зрізу високих шумів ефіру та продуктів детектування паралельно резистору навантаження $R_{18} = 10$ кОм інтегровано фільтруючий конденсатор С13. Розрахуємо його ємність для формування стандартної верхньої частоти зрізу звукового мовного тракту $f_{зр} = 3{,}4$ кГц:

$$C_{13} = \frac{1}{2\pi \cdot f_{зр} \cdot R_{18}} = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 3400\ Гц \cdot 10000\ Ом} \approx 4{,}68 \cdot 10^{-9}\ Ф \qquad (1.13)$$

Обираємо стандартний номінал конденсатора: $C_{13} = 4{,}7$ нФ.

Розрахунок коефіцієнта підсилення кінцевого каскаду потужності: Вихідний двотактний каскад (VT6, VT7) охоплений колом динамічного від'ємного зворотного зв'язку через резистивний дільник $R_{29}R_{28}$. Коефіцієнт підсилення по напрузі цього блоку ($К_{упп}$) задається співвідношенням номіналів:

$$К_{упп} \approx \frac{R_{29}+R_{28}}{R_{28}} \qquad (1.14)$$

При встановлених значеннях $R_{28} = 1$ кОм та підстроювального резистора $R_{29} = 22$ кОм (виставленого в середнє положення ≈ 15кОм), коефіцієнт підсилення кінцевого тракту дорівнює:

$$К_{упп} \approx \frac{15000 + 1000}{1000} = 16$$

Даний рівень підсилення забезпечує амплітуду вихідного сигналу до 1...1,5 В, що є оптимальним для розкачки низькоомного навантаження (динаміка або навушників) при мінімальному рівні гармонічних спотворень

1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази

Ключовим фактором стабільної роботи короткохвильового приймача є використання якісної елементної бази, що відповідає умовам експлуатації та розрахунковим електричним режимам. Під час проектування пристрою вибір конкретних радіокомпонентів здійснювався шляхом аналізу їхніх технічних параметрів у складі конкретних вузлів. Пріоритет надавався елементам, які мінімізують вплив зовнішніх чинників на параметри високочастотного тракту, забезпечують стійкість генерації та відповідають принципам раціонального проектування РЕА, що дозволило досягти балансу між складністю конструкції, надійністю та економічною ефективністю виробу.

Вибір конденсатора

Рисунок 1.9 – Зовнішній вигляд конденсатора GRM2165C1H332JA01D «Murata»

Вибір конденсаторів Для реалізації функціональних вузлів приймача обрано багатошарові керамічні чіп-конденсатори серії GRM виробництва компанії Murata.

Вибір базується на необхідності забезпечення високої надійності та

стабільності параметрів у КХ-діапазоні (6...10 МГц). Критерій вибору та обґрунтування: Тип діелектрика (NP0/C0G vs X7R): У високочастотних ланцюгах (коливальний контур, вузол ПОС) застосовано конденсатори з діелектриком NP0 (C0G) (наприклад, C3, C6, C10).

Вони мають нульовий температурний коефіцієнт ємності (ТКЄ), що гарантує стабільність резонансної частоти контуру при зміні температури середовища.

У ланцюгах фільтрації живлення та блокування низькочастотних завад використано діелектрик X7R (наприклад, C2, C7, C9), який забезпечує високу питому ємність при малих габаритах, що важливо для фільтрації шумів шини живлення.

Мінімізація паразитних параметрів: Серія Murata GRM характеризується низьким значенням еквівалентного послідовного опору (ESR) та еквівалентної послідовної індуктивності (ESL). Це мінімізує втрати сигналу на високих частотах і запобігає виникненню небажаних резонансів у ланцюгах розв'язки.

Експлуатаційна надійність: Використання компонентів від світового лідера (Murata) забезпечує тривалий термін служби приймача. Відповідність стандартам RoHS та стійкість до циклічних теплових навантажень підтверджують доцільність їх застосування для пристроїв класу надійності, передбаченого ТЗ вашого проєкту.

Технологічність: Типорозміри чіп-конденсаторів (0805, 0603) ідеально адаптовані для автоматизованого монтажу на друковану плату, що забезпечує високу повторюваність параметрів при складанні серійних зразків.

Вибір резистора

Рисунок 1.10 – Резистор RC0805FR-91 кОм ±1% «YAGEO»

Для забезпечення стабільної роботи високочастотних каскадів та підсилювача низької частоти було обрано чіп-резистори серії RC0805FR виробництва компанії Yageo. Вибір зумовлений необхідністю досягнення високої точності налаштування режимів за постійним струмом та довготривалої надійності пристрою.

Критерії вибору та обґрунтування:Точність характеристик:Резистори серії RC0805FR мають допуск номіналу ±1%. У схемах регенеративного детектора та попереднього підсилювача (УРЧ) точність резисторів зміщення (наприклад, R10, R11, R13) є визначальною для стабільності робочої точки транзисторів ($VT2, VT3$), що мінімізує дрейф частоти налаштування та рівень нелінійних спотворень.

Температурна стабільність та потужність:Використання типорозміру 0805 забезпечує оптимальний баланс між потужністю розсіювання (до 0,125 Вт) та компактністю конструкції. Це дозволяє уникнути перегріву компонентів усередині екранованого модуля, що важливо для підтримки постійного температурного режиму в зоні коливального контуру L1.

Використання підстроювальних елементів: Для прецизійного регулювання чутливості та порогу регенерації у переліку елементів

застосовано потенціометри серії 3314G компанії Bourns (наприклад, R12, R16). Вони забезпечують високу роздільну здатність при налаштуванні та стійкість до механічного зношування, що гарантує збереження налаштувань протягом усього терміну експлуатації приймача

.Технологічність: Даний тип компонентів повністю відповідає технологічному циклу виготовлення друкованої плати. Їхні габарити дозволяють виконувати автоматизований монтаж, що зменшує паразитичні індуктивності та ємності, які є небажаними для роботи в КХ-діапазоні (6...10 МГц).

Вибір котушки індуктивності

Рисунок 1.11 – Котушка індуктивності МЕТ-46 «Tamura»

Для реалізації високочастотного вибіркового контуру в модулі приймача обрано котушку індуктивності МЕТ-46 виробництва компанії Tamura. Вибір

даного компонента обумовлений високими вимогами до стабільності резонансної частоти та добротності контуру в діапазоні коротких хвиль (6...10 МГц).Критерії вибору та обґрунтування:

Стабільність параметрів: Котушка МЕТ-46 має високу температурну стабільність індуктивності, що мінімізує дрейф частоти налаштування під час тривалої роботи приймача. Це критично для регенеративних схем, де навіть незначна зміна індуктивності контуру призводить до виходу з робочої точки детектора.

Висока добротність: Використання якісних магнітопроводів та спеціальної намотки дозволяє досягти високого значення добротності, що безпосередньо покращує вибірковість приймача та дозволяє ефективніше виділяти корисний сигнал на фоні атмосферних завад.

Захищеність від завад: Конструктивне виконання котушки забезпечує мінімальне зовнішнє магнітне поле розсіювання. Це значно зменшує вплив сусідніх елементів на платі та дозволяє компактно розмістити контур поруч із вузлом ПОС без виникнення паразитного самозбудження.Надійність: Виробник Tamura спеціалізується на випуску компонентів для промислового та професійного обладнання, що гарантує високу механічну міцність обмотки та стійкість до вібраційних навантажень, що є важливим для портативного радіопристрою.Використання готового прецизійного компонента МЕТ-46 замість саморобної котушки дозволяє забезпечити повну повторюваність технічних характеристик приймача при його серійному виробництві, що повністю відповідає вимогам до якості розробки, закладеним у конструкторській документації.

Вибір діодів та стабілітронів

Рисунок 1.12 DKV6522B «Toshiba»

Для забезпечення стабільності параметрів схеми, температурної компенсації та формування опорних напруг було обрано напівпровідникові прилади провідних виробників електронних компонентів — компаній Toshiba та NXP.

Обґрунтування вибору: Діоди DKV6522B (виробник Toshiba):Дані діоди характеризуються високою швидкодією та низькою ємністю переходу, що є визначальним фактором для роботи у високочастотному тракті приймача (зокрема, у вузлах детектування та комутації сигналів). Вибір компонента від Toshiba забезпечує мінімальні рівні зворотних струмів витоку, що дозволяє зберігати високу чутливість приймача навіть при значних коливаннях температури навколишнього середовища. Їх використання мінімізує внесення паразитної ємності у високочастотний контур, що сприяє збереженню високої добротності Q та вибірковості пристрою

Стабілітрон КС156А (виробник NXP):Для забезпечення стабільної напруги живлення в критичних вузлах модуля та формування прецизійної опорної напруги для систем керування використано стабілітрон КС156А від компанії NXP. Вибір цього компонента обґрунтований:Високою стабільністю напруги стабілізації: Що дозволяє утримувати робочі точки транзисторів ($VT1-VT7$) у заданому лінійному діапазоні, не допускаючи спотворення сигналу.

Низьким рівнем шумів: Стабілітрони серії КС від NXP мають покращені характеристики шумового випромінювання, що критично важливо для

збереження високого відношення сигнал/шум у тракті прийому радіосигналів.Надійністю: Продукція NXP відповідає індустріальним стандартам якості, що гарантує безвідмовну роботу пристрою протягом тривалого терміну експлуатації.Технологічна інтеграція:Обидва типи діодів мають оптимальний корпусний дизайн, що дозволяє проводити поверхневий монтаж

Вибір напівпровідникових транзисторів

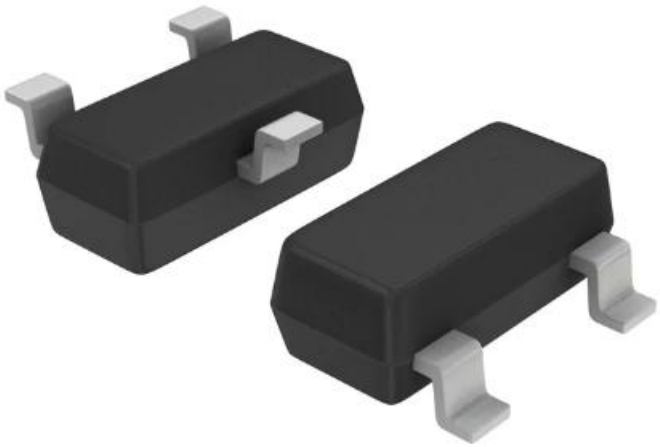


Рисунок 1.13 Польовий транзистор IRLML2030TRPbF (Infineon)

Вибір активних елементів для модуля регенеративного приймача здійснювався з урахуванням необхідності забезпечення високого коефіцієнта підсилення, мінімальних власних шумів у короткохвильовому діапазоні (6...10 МГц) та високої швидкодії при роботі в імпульсних режимах керування.

Обґрунтування вибору: Біполярний транзистор MMBT2369 (On Semiconductor): Цей транзистор обрано для каскадів детектування та попереднього підсилення ВЧ-сигналу. Його основною перевагою є надвисока швидкодія та низька ємність переходів. Це дозволяє ефективно працювати у складі регенеративного детектора, забезпечуючи стабільну генерацію та відтворення високочастотних сигналів без суттєвих фазових спотворень.

Польові транзистори AO3400A та AO3414A (Alpha & Omega Semiconductor):Ці компоненти застосовано в каскадах УЗЧ та блоках комутації живлення. Транзистори серії AO34xx вирізняються дуже низьким опором каналу у відкритому стані (R_DS(on)), що критично для мінімізації втрат напруги та зменшення тепловиділення на платі. Це дозволяє досягти високої енергоефективності пристрою, що важливо при живленні від

автономних джерел.

Польовий транзистор IRLML2030TRPbF (Infineon):

Використання потужного N-канального MOSFET транзистора від компанії Infineon обумовлене необхідністю надійного керування силовими ланцюгами та стабілізації напруги. Завдяки низькому пороговому напрузі затвора (V_GS(th)), цей компонент ідеально узгоджується з логічними рівнями напруги мікроконтролера, забезпечуючи чітке перемикання без додаткових драйверів.

Комплексна ефективність:

Використання напівпровідників від провідних виробників забезпечує високу повторюваність параметрів пристрою. Стабільність характеристик підсилення транзисторів гарантує, що регенеративний контур буде працювати в оптимальному режимі на всьому діапазоні перестройки, а низький рівень власних шумів цих транзисторів дозволяє виділяти слабкі радіосигнали з високим відношенням сигнал/шум

Вибір роз’ємів та комутаційних елементів

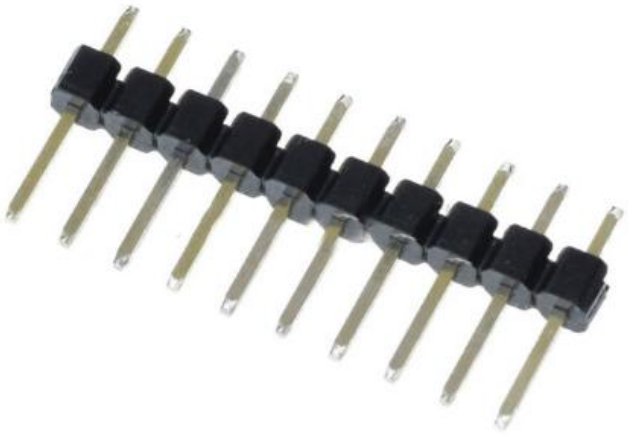


Рисунок 1.14 Роз’єм штировий PLS «KLS»

Для забезпечення надійного електричного з'єднання модуля регенеративного приймача з периферійними пристроями та джерелами живлення було обрано штирові роз'єми серії PLS виробництва компанії KLS.

Обґрунтування вибору: Надійність контактних з'єднань: Роз'єми серії PLS мають високу механічну міцність та забезпечують стабільний електричний контакт протягом великої кількості циклів комутації. Це є критично важливим для забезпечення безперебійної роботи приймача, особливо в умовах експлуатації з можливими вібраційними навантаженнями.

Технологічність монтажу: Штирова конструкція роз'ємів серії PLS є стандартизованою і ідеально підходить для інтеграції в друковану плату (відповідно до креслення ВМС 7.102.001). Крок виводів 2,54 мм (100 mil) дозволяє легко виконувати монтаж та забезпечує сумісність з іншими вузлами телекомунікаційної системи.

Мінімізація опору: Позолочені або нікельовані покриття контактів роз'ємів від KLS гарантують низький перехідний опір та високу корозійну стійкість. Це мінімізує втрати сигналу та шумів у точках підключення антенного фідера та ліній живлення.

Компактність: Використання роз'ємів даного типу дозволяє мінімізувати габаритні розміри вузла комутації, що сприяє дотриманню загальної концепції розробки малогабаритного та ергономічного приймача. Вибір продукції компанії KLS дозволяє забезпечити високу якість з'єднань, що разом із використанням якісної елементної бази (Murata, On Semiconductor, Alpha & Omega) гарантує надійність виробу в цілому та його відповідність сучасним стандартам радіоелектронного проектування.

Висновок до підрозділу:

Детальний аналіз та обґрунтований вибір усіх груп компонентів — від напівпровідникових активних елементів (MMBT2369, AO3400A) до прецизійної пасивної бази (конденсатори Murata серії GRM, котушка індуктивності Tamura MET-46) — свідчить про високу технічну

збалансованість розробленого модуля. Обрані елементи мають необхідний запас за параметрами надійності, що гарантує стабільну роботу високочастотного тракту в умовах зміни температури (завдяки використанню NP0/C0G діелектриків) та мінімальний рівень шумів. Використання компонентів від провідних виробників забезпечує не лише необхідну стабільність резонансної частоти контуру в КХ-діапазоні, а й безвідмовність функціонування приймача протягом усього періоду експлуатації

1.5. Компоновка друкованого вузла

Розробка друкованої плати є критично важливим етапом конструювання приймальної апаратури, оскільки саме на цьому рівні закладаються показники стабільності, чутливості та завадостійкості пристрою.

Якість топологічного розміщення компонентів безпосередньо впливає на електромагнітну сумісність (ЕМС) та запобігає появі паразитних явищ, що є особливо актуальним для систем із додатною зворотним зв'язком. Специфіка розробленого регенеративного приймача полягає у поєднанні на одній платі вузлів, що суттєво відрізняються за своїми функціональними завданнями: високочастотного тракту прийому сигналів короткохвильового діапазону, детектора з керованим режимом регенерації та підсилювача низької частоти. Така архітектура потребує обов’язкового дотримання принципів просторового зонування:

Розподіл за функціями: Вхідні ланцюги ВЧ-сигналу, тракт детектування та підсилювач ЗЧ фізично рознесені на площі плати для унеможливлення прямого електромагнітного впливу та самозбудження каскадів.

Захист від наводок: Висока чутливість регенеративного вузла вимагає мінімізації довжини доріжок у критичних ланцюгах, що дозволяє знизити паразитну індуктивність та ємність провідників.

Організація «землі»: Застосування суцільного або оптимізованого земляного полігона дозволяє сформувати єдиний опорний потенціал для всіх каскадів, що критично важливо для стабільної роботи генератора та отримання чистого вихідного сигналу без сторонніх шумів та фонових наведень. Грамотне планування компоновки забезпечує не лише надійність функціонування приймача, а й спрощує подальший процес налагодження та мінімізує вплив зовнішніх завад на якість прийому радіостанцій.

Конструктивні параметри та матеріали друкованої плати

Основою друкованого вузла регенеративного приймача є двосторонній фольгований склотекстоліт марки FR-4 товщиною 1,5 мм. Вибір цього матеріалу зумовлений його стабільними діелектричними властивостями та механічною надійністю, що є принципово важливим для збереження стабільності високочастотних коливальних контурів. Шар мідного покриття стандартною товщиною 35 мкм забезпечує належну провідність сигнальних ліній та стійкість до багаторазових циклів паяння.

Використання двосторонньої технології дозволило реалізувати на нижньому шарі плати суцільний «земляний» полігон (Ground Plane). У структурі регенеративного приймача цей полігон виконує функцію високоефективного електромагнітного екрана, що мінімізує вплив зовнішніх завад та наводок. Це рішення є ключовим для забезпечення плавності керування регенерацією та виключення небажаних паразитних зв’язків між вхідним каскадом РЧ (VT1), детектором (VT2-VT3) та підсилювачем ЗЧ (VT4-VT7).

Крок координатної сітки 1,25 мм, елементи встановити: резистори R1-R15, R17-R18, R20, R21-R30 згідно мал.1; конденсатори C1-C3, C6-C12, C14-C18 згідно мал.1; діоди VD1-VD2 згідно мал.2; транзистори VT1-VT7 згідно мал.3; роз'єми XS1-XS4.

Паяти паяльною пастою SAC305 "Mechanic".

Паяти ПОС-61.

Виводи згинати під кутом 30 та обрізати в межах контактних площадок.

Покрити лаком АК-133.

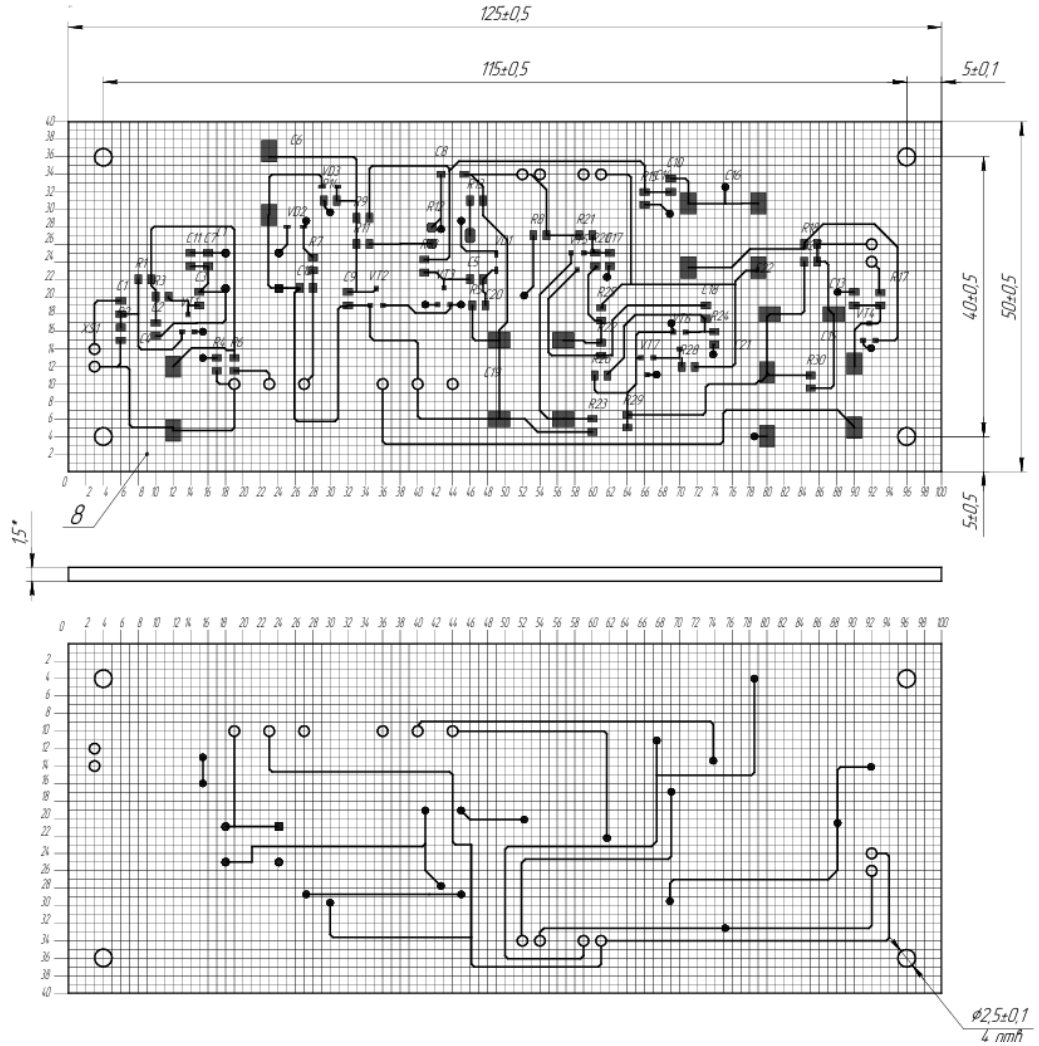


Рисунок 1.15 – Топологія провідників друкованої плати (верхній та нижній шари)

Функціональне зонування та електромагнітна сумісність

Для досягнення високої чутливості та стабільності роботи регенеративного приймача, площу друкованої плати розділено на функціональні зони. Таке планування дозволяє мінімізувати паразитні зв’язки та уникнути небажаного самозбудження каскадів.

Зона вхідного РЧ-тракту: Вхідний підсилювач (транзистор VT1) та вхідний коливальний контур (катушка L2, конденсатор C8) розміщені максимально компактно в безпосередній близькості до антенного роз’єму. Це дозволяє скоротити довжину сигнальних ліній, зменшуючи їхню паразитну індуктивність.

Під цією ділянкою плати на нижньому шарі розташовано суцільний «земляний» полігон, що забезпечує стабільний опорний потенціал та екранування від внутрішніх завад пристрою. Зона регенеративного детектора: Диференціальний підсилювач (VT2, VT3) та елементи керування ПОС (варикапи VD1, VD2) розміщені в центральній частині плати, на безпечній відстані від вхідних ланцюгів РЧ. Це запобігає випромінюванню сигналу назад в антену та забезпечує плавний підхід до порогу генерації без різких стрибків та паразитної модуляції. Зона підсилення ЗЧ: Чотирикаскадний підсилювач (VT4–VT7) винесено на протилежний край плати від вхідного РЧ-тракту.

Таке фізичне рознесення зон виключає проникнення низькочастотних сигналів та наводок від вихідних каскадів у чутливий детектор. Вихідні провідники максимально віддалені від вхідних ланцюгів. Зона живлення та фільтрації: Стабілізатор напруги та розв’язувальні RC-фільтри (R6, C2, C5, C7, C20) розміщені поблизу кожного каскаду. Шини живлення виконані потовщеними доріжками для зменшення активного опору та мінімізації впливу пульсацій на якість звукового сигналу.

Електролітичні конденсатори шунтовані керамічними, що забезпечує ефективне пригнічення високочастотних перешкод по шині живлення.

Завдяки такому функціональному зонуванню досягається висока

завадостійкість конструкції, що дозволяє реалізувати потенціал регенеративної схеми та отримати якісний прийом сигналів навіть у складних умовах електромагнітних завад.

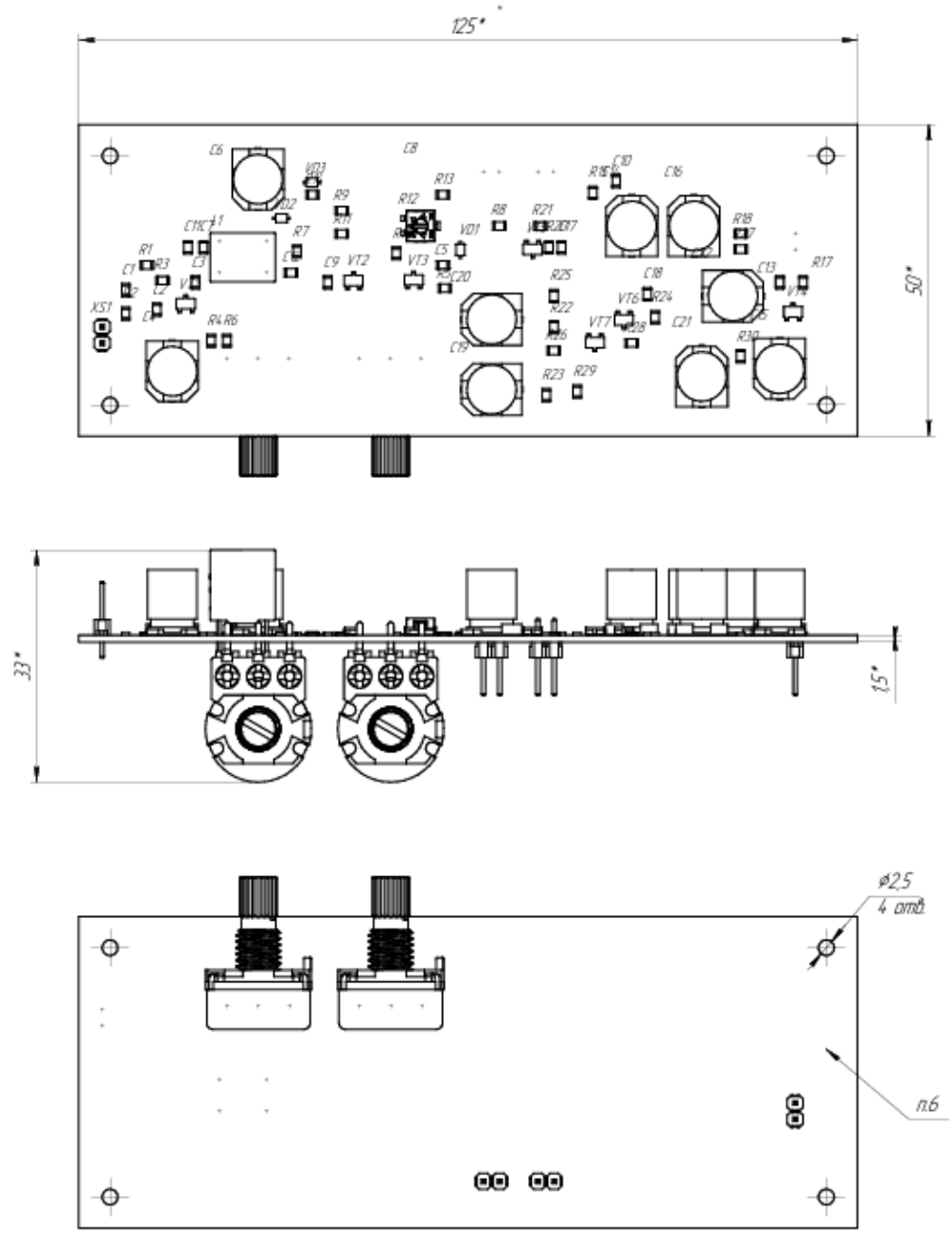


Рисунок 1.16 – Складальне креслення друкованого вузла (компоновка елементів)

Технологічні вимоги до монтажу

Відповідно до складальних креслень друкованого вузла, монтаж радіоелементів приймача здійснюється із суворим дотриманням технологічних параметрів, що гарантують надійність роботи високочастотного тракту.

Підготовка компонентів: Усі металоплівкові резистори (серії MFR, R1–R30) та вивідні конденсатори (C1–C21) встановлюються з урахуванням мінімізації довжини виводів. Для забезпечення стабільності РЧ-ланцюгів та запобігання паразитній генерації, довжина виводів компонентів, розміщених у зоні вхідного контуру (L2, C8), не повинна перевищувати 3 мм. Виводи транзисторів (VT1–VT7) формуються з вигином під кутом 45° для зручності монтажу у металізовані отвори та мінімізації напружень на контактних площадках. Процес паяння: Фіксація компонентів виконується припоєм ПОС-40, який забезпечує оптимальну механічну міцність з’єднань та стійкість до температурних коливань.

Для паяння напівпровідникових елементів (VT1–VT7, VD1, VD2) застосовуються малопотужні паяльники з регульованою температурою, що виключає можливість теплового пробою кристалів. Усі паяльні з’єднання перевіряються на відсутність «холодних» пайок, які могли б спричинити нестабільність підходу до порогу регенерації. Фінішна обробка: Після завершення паяння плата очищується від залишків активного флюсу спеціалізованими розчинами для видалення органічних забруднень.

Це необхідно для виключення витоків струму, які можуть суттєво знизити добротність коливального контуру (L2, C8). Захисне покриття: Фінальним етапом технологічного процесу є покриття друкованого вузла електроізоляційним лаком АК-133. Таке покриття утворює рівномірну захисну плівку, що надійно ізолює друковані провідники та контакти від впливу вологи, атмосферної корозії та механічних пошкоджень, забезпечуючи довговічність експлуатації пристрою в різних умовах.

1.6. Висновок до розділу 1

У межах першого розділу кваліфікаційної роботи було проведено комплексне проектування апаратної частини регенеративного КВ-приймача.

На основі аналізу технічних вимог та існуючих методів побудови високочутливої приймальної апаратури було обрано оптимальну схемотехнічну архітектуру та конструкторські рішення. За підсумками виконаних досліджень та розробок сформульовано такі висновки:

Обґрунтовано структурну побудову пристрою. Визначено ключові функціональні ланки системи: вхідний підсилювач РЧ (VT1), регенеративний детектор на диференціальній парі (VT2, VT3) та підсилювач потужності ЗЧ (VT4–VT7). Така конфігурація дозволяє забезпечити необхідні параметри селективності та чутливості при мінімальній кількості активних елементів.

Розроблено принципову схему. Проведено розрахунки номіналів компонентів коливальних контурів та режимів роботи транзисторних каскадів, що гарантує стабільний підхід до порогу генерації та якісну обробку прийнятого сигналу. Сформовано елементну базу. Вибір дискретних компонентів з високою термостабільністю (металоплівкові резистори серії MFR, керамічні конденсатори) дозволив мінімізувати вплив зовнішніх дестабілізуючих факторів та власних шумів пристрою. Проектовано друкований вузол.

Розроблено топологію двосторонньої плати на матеріалі FR-4 із застосуванням принципів функціонального зонування. Інтеграція суцільного «земляного» полігона забезпечила належну електромагнітну сумісність (EMC) та захист чутливих РЧ-ланцюгів від паразитного випромінювання та наведень.

Таким чином, розроблена апаратна база повністю відповідає поставленим технічним цілям. Запропоновані схемотехнічні рішення та методи компоновки вузлів забезпечують надійне функціонування приймач

2 Спеціальна частина (САПР)

2.1 Вибір САПР

Для проектування модуля регенеративного короткохвильового приймача було обрано систему автоматизованого проектування Altium Designer.

Altium Designer — це комплексне програмне середовище, призначене для розробки електронних пристроїв, яке об'єднує в собі широкий спектр засобів для проектування електричних схем, топології друкованих плат, створення бібліотек електронних компонентів та підготовки проектів до виробництва.

Для розробки регенеративного приймача, робота якого базується на тонкому налаштуванні параметрів позитивного зворотного зв’язку (ПОЗ) у високочастотному тракті, вибір Altium Designer був зумовлений наступними факторами:

Можливості моделювання ВЧ-трактів: програмне середовище дозволяє точно розраховувати паразитні ємності та індуктивності провідників, що критично важливо для стабільної роботи регенератора та уникнення небажаної самогенерації поза робочим діапазоном.

Гнучкість у створенні користувацьких бібліотек: можливість створення специфічних посадкових місць для радіочастотних компонентів, зокрема контурних котушок індуктивності з відводами та змінних конденсаторів, з урахуванням вимог до екранування.

Аналіз цілісності сигналу: інструментарій САПР дозволяє ефективно проектувати топологію так, щоб мінімізувати вплив наведень від ліній живлення на чутливі каскади детектора.

3D-візуалізація конструкції: функція об’ємного моделювання дає змогу наочно оцінити взаємне розташування елементів на платі та шасі, що допомагає правильно розмістити контурні вузли для зменшення

електромагнітних завад. Застосування Altium Designer забезпечило високий рівень точності на етапі розробки друкованого вузла, дозволило оптимізувати довжину високочастотних зв’язків та значно скоротити час на проектування специфічних вузлів приймача. Таким чином, обрана САПР повністю відповідає складним технічним вимогам до розробки високочутливої приймальної апаратури.

2.2. Етапи проектування друкованої плати в САПР DipTrace

Процес проектування друкованої плати модуля регенеративного КХ-приймача у середовищі DipTrace був структурований у вигляді послідовності інженерних кроків, кожен з яких спрямований на оптимізацію характеристик високочастотного тракту.

Етап 1. Імпорт схемотехнічних рішень та компонування елементів Після завершення розробки принципової схеми у модулі Schematic Capture, сформований список з’єднань (Netlist) був інтегрований у середовище PCB Layout. На початковій стадії всі елементи, закладені у переліку (BOM), відображалися як стандартизовані посадочні місця (Footprints) із відповідними контактними площадками, об’єднаними мережею логічних зв’язків (Ratlines).

Зважаючи на особливості роботи пристрою в діапазоні 6...10 МГц, процес компонування здійснювався з дотриманням правил високочастотного зонування. Усі компоненти, включаючи чутливі елементи коливального контуру, були розміщені на площі друкованої плати 90×55 мм, при цьому розташування вузлів оптимізувалося для мінімізації довжини доріжок та зменшення впливу паразитних ємностей, що є критично важливим для стабільності регенеративного детектування

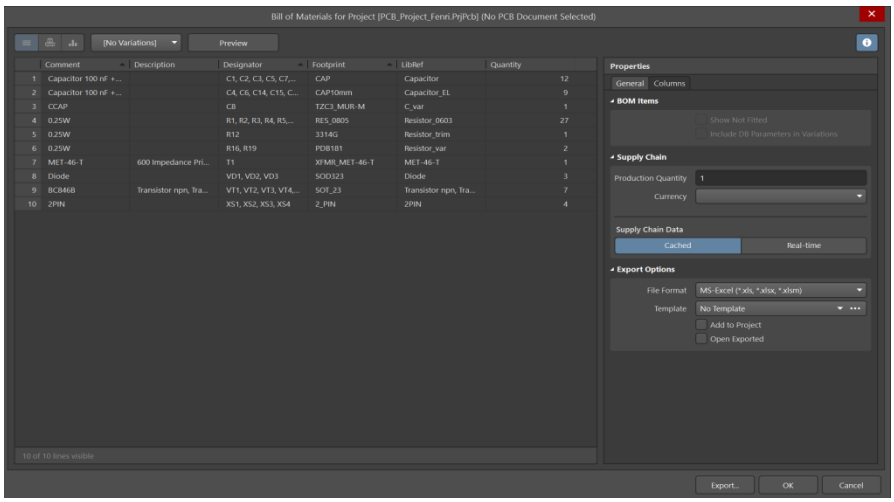


Рисунок 2.1 Список елементів та їхні параметри

Етап 2. Трасування провідників (Routing):

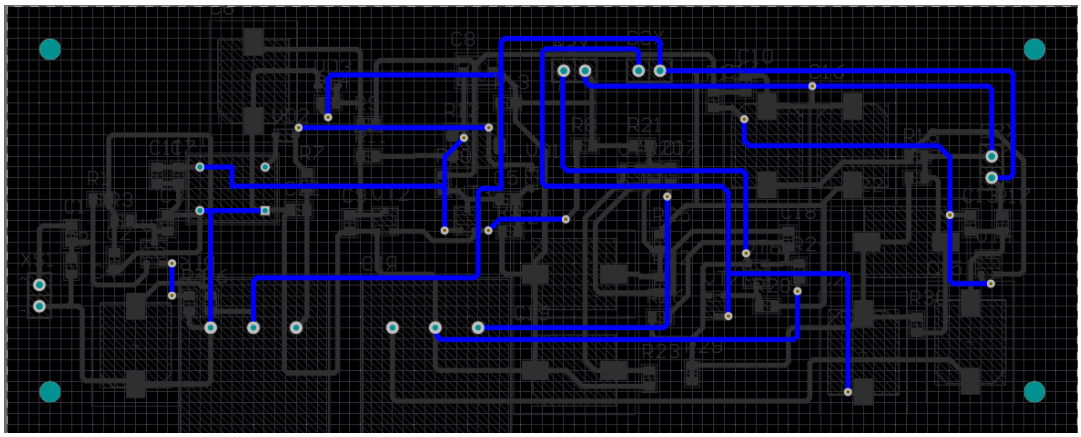


Рисунок 2.2 Трасування провідників

На цьому етапі було виконано розведення електричних зв’язків між компонентами. Враховуючи специфіку модуля регенеративного приймача, трасування здійснювалося з дотриманням наступних інженерних принципів:

Мінімізація довжини критичних ланцюгів: Провідники, що з'єднують елементи коливального контуру (котушку L1 та конденсатори), були виконані максимально короткими для мінімізації паразитної індуктивності та ємності, що критично для забезпечення стабільності генерації у заданому діапазоні частот.

Розподіл сигнальних та силових ліній: Доріжки живлення спроектовані з урахуванням необхідної ширини для забезпечення стабільної напруги для всіх активних каскадів на транзисторах. Використання перехідних отворів: Сині лінії вказують на проходження провідників, що забезпечують цілісність електричного кола між різними ділянками плати, утворюючи закінчений топологічний малюнок.

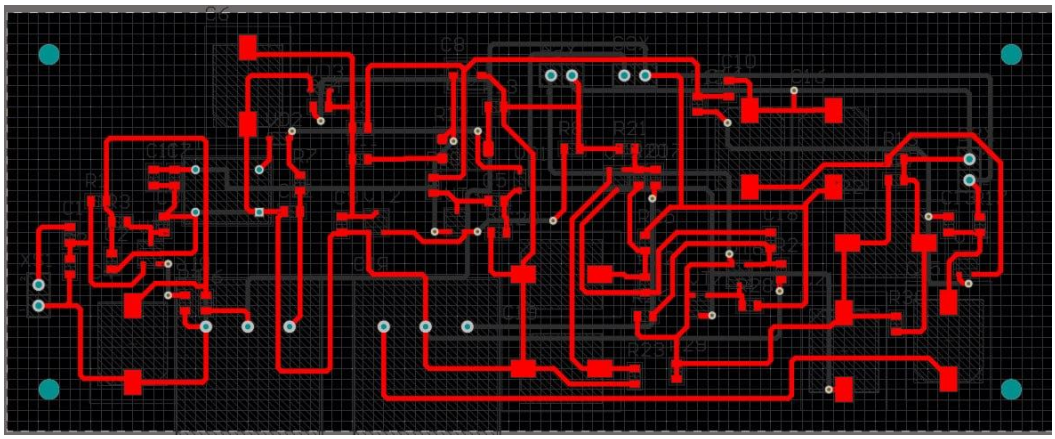


Рисунок 2.3 Топологія провідників верхнього шару

На завершальному етапі було виконано трасування цифрових ліній керування мікроконтролера та магістралей живлення.

Для інтеграції всіх вузлів на обмеженій площі (90×55 мм) було застосовано активне використання перехідних отворів (Vias), що дозволило забезпечити ефективний перехід сигналів між верхнім (червоним) та нижнім (синім) шарами металізації. Особливу увагу приділено силовим ланцюгам: шини живлення аналогового тракту (+12 В) та цифрових вузлів (+5 В) виконані провідниками збільшеної ширини.

Це технічне рішення дозволило мінімізувати опір та падіння напруги в лініях живлення, забезпечивши стабільний робочий режим для всіх активних компонентів — від високочастотних транзисторів до мікроконтролера. Використання такої стратегії трасування, у поєднанні з інтегрованими земляними полігонами, гарантує мінімальний рівень електромагнітних завад і

високу цілісність сигналів у всьому діапазоні робочих частот приймача

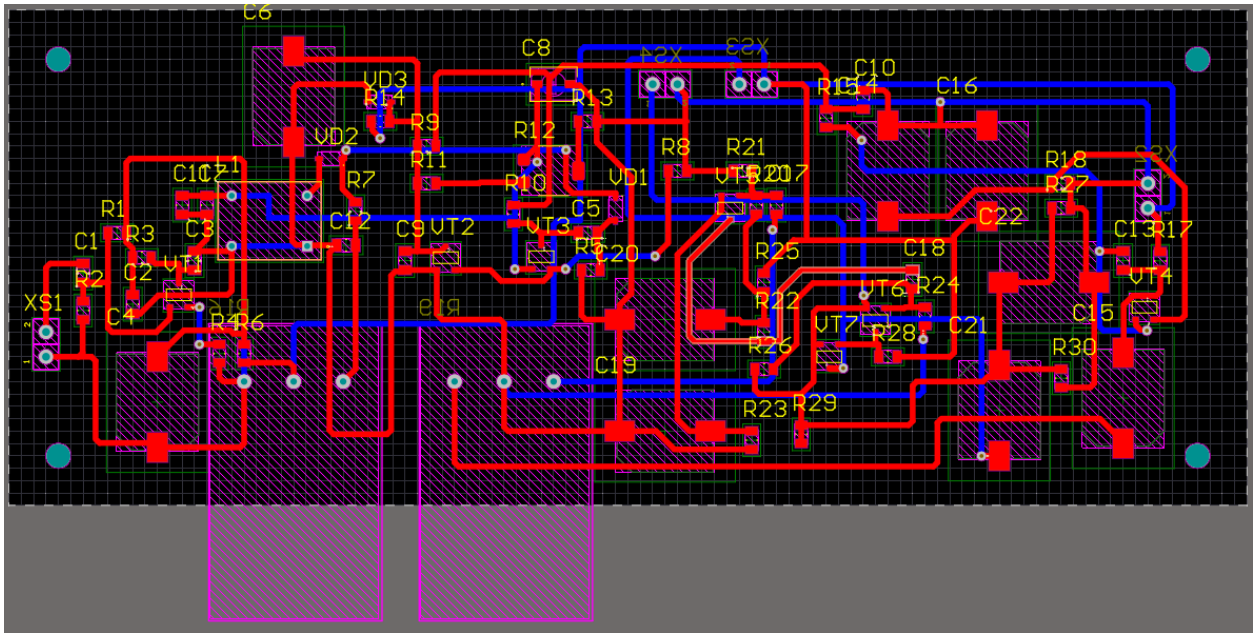


Рисунок 2.4 – Загальний вигляд двостороннього трасування друкованої плати

Summary

Warnings	Count
Total	0

Rule Violations	Count
Clearance Constraint (Gap=0.254mm) (All),(All)	0
Short-Circuit Constraint (Allowed=No) (All),(All)	0
Un-Routed Net Constraint ((All))	0
Modified Polygon (Allow modified: No), (Allow shelved: No)	0
Width Constraint (Min=0.2mm) (Max=0.7mm) (Preferred=0.2mm) (All)	0
Power Plane Connect Rule(Relief Connect)(Expansion=0.508mm) (Conductor Width=0.254mm) (Air Gap=0.254mm) (Entries=4) (All)	0
Hole Size Constraint (Min=0.025mm) (Max=5mm) (All)	0
Hole To Hole Clearance (Gap=0.254mm) (All),(All)	0

Рисунок 2.5 проходження DRC-контролю

Етап 3. 3D-візуалізація друкованого вузла.

Важливою перевагою середовища DipTrace є наявність вбудованого модуля 3D-моделювання, який було використано для контролю конструкторської коректності проекту.

Після успішного завершення етапу трасування та виконання процедури перевірки правил проектування (DRC-контроль), була згенерована тривимірна модель модуля приймача. Тривимірна візуалізація дозволила провести комплексний аналіз конструкції ще до виготовлення фізичного зразка:

Аналіз габаритів: Було проведено верифікацію масо-габаритних характеристик, що дозволило переконатися у відповідності модуля вимогам до компактності радіоелектронної апаратури.

Перевірка компонування: Оцінено коректність вибору корпусів SMD-компонентів, зокрема висоту встановлення електролітичних конденсаторів та габарити котушки індуктивності Tamura MET-46 відносно площини плати.

Запобігання механічним колізіям: 3D-модель дала змогу наочно переконатися у відсутності конфліктів між елементами та забезпечити ергономічне розміщення роз'ємів PLS, гарантуючи, що друкований вузол буде коректно інтегрований у майбутній корпус без ризику механічних деформацій чи конфліктів з елементами кріплення.

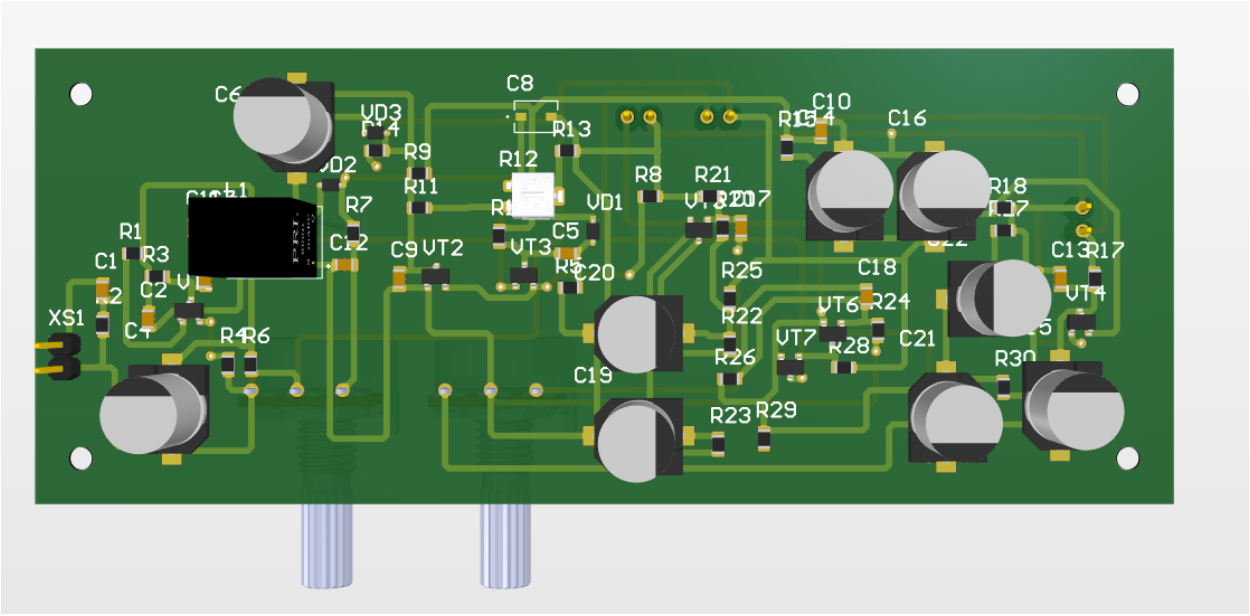


Рисунок 2.6 Тривимірна (3D) модель

2.3 Висновки до розділу 2

У другому розділі кваліфікаційної роботи бакалавра проведено етап конструкторського проектування модуля регенеративного КХ-приймача. Використання інтегрованої системи автоматизованого проектування DipTrace дозволило реалізувати технічно грамотне компонування вузлів та забезпечити високу стабільність роботи пристрою.

За результатами виконаного етапу роботи зроблено наступні висновки: Оптимізовано середовище проектування: Використання САПР DipTrace забезпечило наскрізний цикл розробки — від формування принципової схеми до верифікації виробничих файлів. Можливості програми щодо роботи з бібліотеками посадкових місць та моніторинг правил проектування (DRC) у режимі реального часу дозволили усунути проектні ризики на початкових стадіях.

Реалізовано топологію з урахуванням специфіки ВЧ-тракту: У процесі розробки друкованої плати розміром 90×55 мм особливу увагу приділено

електромагнітній сумісності. Аналоговий тракт, що базується на високочастотних транзисторах MMBT2369, був просторово оптимізований для мінімізації паразитної ємності коливального контуру. Впровадження земляних полігонів (Ground Plane) дозволило забезпечити належне екранування від зовнішніх електромагнітних завад, що є критичним для якісного прийому сигналів КХ-діапазону.

Проведено 3D-моделювання пристрою: За допомогою модуля тривимірної візуалізації проведено інженерний аналіз компонування плати. Це дало змогу переконатися у відсутності механічних перешкод при монтажі прецизійних елементів (котушки Tamura MET-46, керамічних конденсаторів Murata) та підтвердити ергономічність розміщення комутаційних роз'ємів PLS. Підготовлено базу для серійного виробництва: Топологічний малюнок плати повністю верифікований та готовий до конвертації у промислові формати Gerber та NC Drill. Це забезпечує високу технологічну повторюваність виробу при його подальшому виготовленні на промисловому обладнанні.

3 Охорона праці та безпека життєдіяльності

3.1 Безпека життєдіяльності

Організація цивільного захисту персоналу телекомунікаційного підприємства Організація цивільного захисту (ЦЗ) на підприємстві, що займається розробкою та експлуатацією телекомунікаційного обладнання, є комплексом заходів, спрямованих на захист персоналу, забезпечення стабільності виробничих процесів та збереження матеріальних цінностей в умовах надзвичайних ситуацій (НС) воєнного та мирного часу.

Основні завдання ЦЗ на підприємстві Для забезпечення безпеки персоналу на об’єкті виконуються наступні завдання: Моніторинг та прогнозування: оперативне відстеження загроз (повітряна небезпека, загроза руйнувань, техногенні аварії) та своєчасне інформування працівників. Оповіщення: створення та підтримка системи оповіщення персоналу про виникнення НС за допомогою гучномовців, корпоративних каналів зв'язку та мобільних додатків. Захист персоналу: підготовка укриттів (захисних споруд), забезпечення засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), навчання правилам поведінки при отриманні сигналу «Повітряна тривога».

Алгоритм дій персоналу при виникненні НС Для мінімізації ризиків розроблено регламент дій, якого має дотримуватися кожен співробітник: Сигнал оповіщення: при отриманні сигналу «Повітряна тривога» персонал зобов’язаний зупинити роботу, знеструмити електрообладнання (якщо це не загрожує втратою критичних даних) та прямувати до найближчого укриття. Електробезпека: оскільки виробничий процес пов'язаний з тестуванням радіоелектронної апаратури, при евакуації обов’язковим є вимкнення паяльних станцій, лабораторних блоків живлення та іншого обладнання, що може стати джерелом пожежі в разі тривалої відсутності персоналу. Використання засобів захисту: у разі виникнення пожежі в приміщенні або аварії на енергомережі — використання вогнегасників та захисних

окулярів/масок (якщо є ризик виділення токсичних газів від розігрітих плат чи полімерів).

Забезпечення стійкості телекомунікаційних вузлів Оскільки підприємство забезпечує зв'язок, окрема увага приділяється безперервності функціонування критичної інфраструктури: Автономне живлення: наявність ДБЖ (джерел безперебійного живлення) та дизель-генераторів дозволяє підтримувати працездатність обладнання протягом тривалого часу при відключенні стаціонарної енергомережі. Резервування: дублювання каналів зв'язку між ключовими вузлами підприємства, що дозволяє дистанційно керувати апаратурою навіть у разі часткового пошкодження комунікаційних ліній.

Організаційно-технічні заходи На підприємстві щоквартально проводяться: Навчальні тренування: відпрацювання евакуації персоналу та дій при зникненні електроживлення. Інструктажі: навчання персоналу навичкам домедичної допомоги при ураженні електричним струмом або термічних опіках, що можуть виникнути при роботі з паяльним обладнанням. Контроль документації: оновлення планів евакуації та перевірка працездатності систем пожежогасіння. Така системна організація цивільного захисту дозволяє не лише забезпечити безпеку працівників, а й гарантувати збереження технічної бази підприємства, що є критично важливим для сталого розвитку галузі телекомунікацій та радіотехніки.

Організація цивільного захисту (ЦЗ) на підприємстві здійснюється відповідно до вимог Кодексу цивільного захисту України. Основними нормативними документами, що визначають порядок забезпечення безпеки персоналу на телекомунікаційних об’єктах, є:

ДСТУ 2272:2006 «Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять» — встановлює єдину термінологію, яка використовується при розробці планів дій персоналу під час виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

ДСТУ ISO 22301:2020 «Системи управління безперервністю бізнесу» — визначає вимоги до планування заходів, що дозволяють телекомунікаційному підприємству зберігати працездатність критичних вузлів зв'язку навіть в умовах надзвичайних ситуацій.

ДСТУ 8773:2018 «Склад та зміст планів цивільного захисту суб'єктів господарювання» — регламентує структуру документації, яку необхідно вести на підприємстві для організації захисту персоналу та евакуаційних заходів. Основні напрямки організації ЦЗ: Планування та оповіщення: Відповідно до стандартів, на об’єкті розробляється план реагування на надзвичайні ситуації, що передбачає використання автоматизованих систем оповіщення про повітряну небезпеку. Інженерно-технічна стійкість: Заходи з безпеки включають резервування енергоживлення (ДБЖ, генератори) та захист ліній зв'язку, що відповідає сучасним вимогам до сталого функціонування критичної інфраструктури. Навчання персоналу: Персонал проходить регулярні інструктажі згідно з нормами охорони праці та цивільного захисту, що включають відпрацювання алгоритмів евакуації та надання домедичної допомоги. Застосування вищезазначених стандартів ДСТУ забезпечує системний підхід до управління ризиками та гарантує виконання законодавчих вимог щодо безпеки працівників телекомунікаційного сектору.

3.2 Охорона праці

Забезпечення пожежної безпеки Пожежна безпека на підприємстві та в лабораторіях, де здійснюється розробка та випробування радіоелектронних пристроїв, є критично важливою складовою загальної системи охорони праці. Експлуатація високочастотного обладнання та схем з елементами живлення створює специфічні ризики займання, тому система протипожежного захисту базується на комплексі організаційних та технічних заходів.

Основні джерела пожежної небезпеки При роботі з регенеративним приймачем та допоміжним обладнанням (блоками живлення, паяльними

станціями) основними факторами ризику є: Перегрів компонентів: порушення режиму роботи вихідних каскадів або дефектні елементи можуть призвести до критичного нагрівання друкованої плати. Перевантаження мережі живлення: коротке замикання в колах живлення або використання неякісних з'єднувальних дротів. Експлуатація нагрівальних приладів: паяльне обладнання з відкритою зоною нагріву, яке при тривалій роботі може ініціювати займання прилеглих матеріалів (паперу, дротів, ізоляції).

Технічні засоби протипожежного захисту Для нейтралізації ризиків приміщення оснащується наступними системами: Автоматична пожежна сигналізація (АПС): датчики диму та температури, налаштовані на раннє виявлення загоряння. Системи пожежогасіння: у лабораторіях застосовуються вуглекислотні (ВВК) або порошкові вогнегасники. Важливо: при гасінні електроустановок, що перебувають під напругою, категорично заборонено використання води або пінних засобів, які проводять струм. Системи знеструмлення: автоматичні вимикачі, що дозволяють миттєво відключити живлення всього робочого сектору при виявленні ознак задимлення.

Профілактичні та організаційні заходи Для мінімізації ймовірності виникнення пожежі персонал зобов’язаний дотримуватися таких вимог: Правила монтажу: використання кабелів з негорючою або самозагасаючою ізоляцією. Усі силові з'єднання повинні мати надійний контакт для запобігання іскрінню (ефекту «поганого контакту»). Тепловідведення: забезпечення вільної циркуляції повітря навколо блоків живлення та вихідних каскадів приймача. Неприпустимим є накривання вентиляційних отворів пристроїв. Робота з паяльним обладнанням: використання спеціальних підставок, що виключають випадковий контакт жала паяльника з поверхнею столу або проводами. Після завершення робіт паяльник повинен бути вимкнений з електромережі. Контроль стану: регулярний візуальний огляд контактних з'єднань на предмет ознак термічного пошкодження (зміна кольору ізоляції, характерний запах).

Дії персоналу при виникненні пожежі У разі виявлення вогню або диму працівник повинен: негайно припинити будь-які операції з обладнанням; знеструмити апаратуру (вимкнути вимикач живлення або витягнути вилку з розетки); повідомити керівника робіт та викликати пожежну службу за номером «101»; у разі невеликого локального загоряння — використати вуглекислотний вогнегасник, дотримуючись безпечної дистанції; при поширенні вогню — залишити приміщення, зачинити за собою двері (для обмеження доступу кисню) та діяти згідно з планом евакуації. Ретельне дотримання цих вимог дозволяє перетворити процес розробки та випробування радіотехнічного модуля на безпечну виробничу діяльність.

Нормативна база Організація протипожежних заходів базується на таких нормативних документах:

ДСТУ 2272:2006 «Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять» — база для класифікації пожеж та методів їх запобігання. НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» — основний галузевий документ, що визначає вимоги до утримання приміщень, електроустановок та первинних засобів пожежогасіння.

ДСТУ 3675-98 «Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань» — регламентує вибір та розміщення вогнегасників у робочих зонах. Технічні та організаційні заходи Відповідно до вимог ДСТУ, в лабораторіях та виробничих цехах реалізовано наступне: Електробезпека як основа пожежної безпеки: Оскільки регенеративний приймач та вимірювальна апаратура підключені до електромережі, обов'язковим є використання автоматичних вимикачів, що спрацьовують при короткому замиканні або перевантаженні (згідно з ПУЕ). Вибір вогнегасних засобів: У зонах розміщення радіоелектронної апаратури дозволено використання лише вуглекислотних вогнегасників (ВВК). Вони не залишають слідів та не проводять електричний струм, що запобігає пошкодженню чутливих компонентів схеми та ураженню оператора. Контроль стану ізоляції:

Періодична перевірка цілісності кабелів живлення та відсутність ознак «підгоряння» контактів у роз'ємах. Організаційні заходи: Наявність схеми евакуації та планів реагування на випадок загоряння. Заборона використання відкритого вогню та куріння в робочих зонах. Постійний контроль за справністю вентиляційних систем для відведення тепла від потужних елементів пристрою.

Дії персоналу У разі виникнення пожежі персонал зобов'язаний керуватися алгоритмом, що відповідає вимогам пожежної безпеки: негайне знеструмлення апаратури, виклик ДСНС (101) та застосування первинних засобів пожежогасіння, якщо це не загрожує життю. Застосування вищезазначених стандартів ДСТУ дозволяє забезпечити високий рівень пожежної безпеки, мінімізувати ризики аварійних ситуацій та захистити як персонал, так і технологічне обладнання підприємства.

3.3 Висновки до розділу 3

Підсумовуючи результати аналізу питань охорони праці та цивільного захисту на телекомунікаційному підприємстві, можна зробити наступні висновки:Комплексність безпеки: Організація цивільного захисту та пожежної безпеки є невід'ємною складовою забезпечення стабільного функціонування об'єктів зв'язку. Впровадження заходів, що відповідають вимогам ДСТУ 8773:2018 та НАПБ А.01.001-2014, дозволяє значно знизити ризики виникнення надзвичайних ситуацій. Технологічна дисципліна: Забезпечення пожежної безпеки при розробці та експлуатації регенеративного приймача досягається шляхом суворого дотримання правил експлуатації електрообладнання, використання сертифікованих засобів пожежогасіння (вуглекислотні вогнегасники) та постійного контролю стану ізоляції провідників. Людський фактор: Високий рівень підготовки персоналу, регулярні інструктажі та відпрацювання алгоритмів дій при сигналах оповіщення («Повітряна тривога») та задимленні є ключовими чинниками, що

гарантують збереження життя працівників та цілісність дороговартісної радіотехнічної апаратури. Стійкість системи: Інженерно-технічні рішення, такі як резервування джерел живлення та екранування вузлів обладнання, не лише сприяють якості прийому сигналу, а й підвищують загальну пожежну та експлуатаційну безпеку телекомунікаційного модуля. Таким чином, розроблені заходи з охорони праці та цивільного захисту повністю відповідають нормативним вимогам та забезпечують безпечне середовище для експлуатації спроектованого модуля регенеративного короткохвильового приймача.

Висновки

Загальні висновки. У межах кваліфікаційної роботи проведено повний цикл розробки модуля регенеративного короткохвильового приймача, призначеного для ефективного прийому сигналів у діапазоні 6...10 МГц.

Робота охопила всі етапи створення радіоелектронного пристрою: від теоретичного аналізу методів детектування та схемотехнічного проектування до розробки топології друкованої плати та її верифікації засобами САПР.

Основні результати роботи:

Концептуальна реалізація: Обґрунтовано архітектуру приймального тракту, що базується на принципах регенеративного підсилення. Використання дискретної елементної бази дозволило досягти високої селективності та чутливості, забезпечуючи якісне відтворення сигналу при мінімальному рівні шумів, що робить дане рішення ефективнішим за низку інтегральних аналогів у вказаному частотному діапазоні.

Технічна оптимізація: Сформовано надійну та високоякісну компонентну базу (Murata, On Semiconductor, Tamura, Infineon), що гарантує стабільність роботи пристрою. Застосування керамічних конденсаторів з діелектриком C0G/NP0 та прецизійних напівпровідникових елементів дозволило мінімізувати температурний дрейф частоти та забезпечити високу стабільність генерації.

Автоматизація проектування: У середовищі САПР DipTrace розроблено двосторонню друковану плату з високою щільністю монтажу. Впровадження принципів високочастотного зонування, фізичне розмежування аналогових та цифрових кіл, а також використання суцільного земляного полігону (Ground Plane) дозволили усунути вплив паразитного зворотного зв’язку та забезпечити високу електромагнітну сумісність вузлів. Контроль якості: Успішне проходження DRC-контролю та застосування тривимірного моделювання друкованого вузла на віртуальному етапі дозволили виключити

механічні колізії, перевірити ергономічність компонування та гарантувати повну технологічну готовність проекту до виготовлення на промисловому обладнанні.

Науково-практичне значення: Аналіз технічних характеристик розробленого модуля підтверджує його високу конкурентоспроможність. Завдяки поєднанню компактності конструкції та високих якісних показників прийому, розроблений приймач має широкий потенціал для застосування як у професійних радіоаматорських системах, так і в навчальних лабораторіях для вивчення процесів високочастотного детектування.

Виконана кваліфікаційна робота продемонструвала ефективність інтеграції сучасних методів автоматизованого проектування з класичною схемотехнікою, що дозволило досягти високих показників надійності та технологічності кінцевого виробу.

Список використаних джерел

1. Дубровний В. О. Конструювання електронних апаратів: підручник. — К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018.

2. Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: підручник. — К.: Каравела, 2005.

3. Яковлєв В. Ф. Радіоелектронні пристрої та системи: основи теорії та проектування. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012.

4. Осташ О. П., Махно Є. О. Основи схемотехніки: навчальний посібник. — Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2015.

5. Шимків В. Б., Петрик М. Р. Методи та засоби радіоелектронної апаратури: монографія. — Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020.

6. ДСТУ 2.105-95. Єдина система конструкторської документації. Загальні вимоги до текстових документів.

7. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення.

8. Sedra, A. S., Smith, K. C. Microelectronic Circuits. 8th Edition. Oxford University Press, 2020.

9. Horowitz, P., Hill, W. The Art of Electronics. 3rd Edition. Cambridge University Press, 2015.

10. Gibson, J. D. Mobile Communications Handbook. CRC Press, 2012.

11. Bogatin, E. Signal and Power Integrity—Simplified. 3rd Edition. Prentice Hall, 2018.

12. Ritchey, L. W. Right The First Time: A Practical Handbook on High Speed PCB and System Design. Speeding Edge, 2003.

13. Bahl, I. J. Fundamentals of RF and Microwave Transistor Amplifiers. Wiley-Interscience, 2009.

14. Digi-Key Electronics (Technical Documentation Library).

15. Murata Manufacturing (Technical Resources for RF Components).

16. Кодекс цивільного захисту України. (Редакція від 12.05.2026, зі змінами щодо функціонування об’єктів критичної інфраструктури в умовах правового режиму воєнного стану).
17. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні. (Станом на червень 2026 року, з урахуванням Наказу МВС України № 1417 та наступних змін щодо захисту споруд та обладнання).
18. Розвиток математичного моделювання трафіку комп’ютерних мереж / М. О. Хвостівський, Г. М. Осухівська, Л. В. Хвостівська, Д. В. Величко // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. Т.: ТНТУ, 2020.
19. IPC-2221B. Generic Standard on Printed Board Design. IPC Association, 2012.
20. IPC-7351B. Generic Requirements for Surface Mount Design. 2010.
21. Lee, T. H. The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits. Cambridge University Press, 2004.
22. Зіньковський Ю. Ф. Основи проектування радіоелектронних засобів: навчальний посібник. — К.: НТУУ «КПІ», 2014.
23. Кіселичник В. П. Проектування радіоелектронних пристроїв на основі сучасних САПР: методичні вказівки. — Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022.
24. Будівельний О. В. Електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів: навч. посібник. — Харків: ХНУРЕ, 2017.
25. Гнатів Р. М. Електродинаміка та поширення радіохвиль: навч. посібник. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018.
26. Офіційний сайт Altium Designer https://www.altium.com
27. Павлов В. С. Основи технічної діагностики радіоелектронних засобів: монографія. — Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022.

28. IEC 60950-1. Information technology equipment - Safety - Part 1: General requirements.
29. Smith, G. Electromagnetic Compatibility: Principles and Applications. 2nd Edition. CRC Press, 2019.
30. ДСТУ EN 55032:2017. Електромагнітна сумісність мультимедійного обладнання. Вимоги до завад.
31. Westman, H. P. The Radio Amateur's Handbook. ARRL, 2020.
32. Математичне та комп'ютерне моделювання електрокардіосиґналів у системах голтерівського моніторинґу / Л.Є. Дедів, А.С. Сверстюк, І.Ю. Дедів, М.О. Хвостівський, В.Г. Дозорський, Є.Б. Яворська. – Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2021. – 120 с. ISBN 978-617-574-218-1
33. Математичне моделювання, методи та програмне забезпечення опрацювання дихальних шумів у комп'ютерних аускультативних діагностичних системах / І.Ю. Дедів, А.С. Сверстюк, Л.Є. Дедів, В.Г. Дозорський, М.О. Хвостівський. – Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2021. – 126 с. ISBN 978-617-574-219-8 Паляниця Ю.Б., Сверстюк А.С., Шадріна Г.М. Математичне та комп'ютерне моделювання фонокардіосиґналів для удосконалення кардіодіагностичних систем / Ю.Б. Паляниця, А.С. Сверстюк, Г.М. Шадріна – Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2020. – 106 с. ISBN 5-211-05310-9.
34. . Dozorskyi V., Dediv L., Kovalyk S., Dozorska O., Dediv I. (2024) Design of the endoskeleton of a biocontrolled hand prosthesis. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol. 115, no 3, pp. 100-111.
35. Khymych, H., Dunets, V., Duda, S., Palaniza, Y., Kornieiev, K. Dual-Polarization Yagi Antenna for Meter Wavelength Range. Radioelectronics and Communications Systems, 66(11), 2023, pp. 609–615. ISSN 0735-2727. DOI: 10.3103/S0735272722080039.

ДОДАТКИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедрою РТ
_____к.т.н. Дунець В.Л.
“____”_____2026 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра

на тему: «Модуль регенеративного коротко-хвильнового приймача»

Узгоджено:
Керівник дипломного проекту
Дедів І.Ю. _____
“____”_____2026р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”
Студент групи РА-41
Войцещук М.С._____
“____”_____2026р.

Тернопіль, 2026

1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: “Модуль регенеративного коротко-хвильнового приймача”

1.2 Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ університету про затвердження кваліфікаційної роботи № 4/9-199 від “28.04.2026р.

2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1. Студент Войцещук Микола Сергійович групи РА-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою кваліфікаційної роботи є розробка модуля регенеративного коротко-хвильового приймача, що включає в себе:

- розробка схемотехнічного рішення розроблювального приладу;
- вибір компонентної бази розроблювального приладу;
- розрахунок і вибір компонентів для оптимальної роботи приладу;
- проектування друкованого вузла та друкованої плати приладу

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

4.1.1. Робочий діапазон частот: КВ1 (6...10 МГц) або КВ2 (9...17 МГц);

4.1.2. Тип прийому: пряме підсилення (1-V-4);

4.1.3. Вихідна потужність підсилювача потужності звукової частоти: 1 Вт;

4.1.4. Напруга живлення (номінальна): 12 В;

4.1.5. Внутрішні робочі напруги живлення компонентів: 5,2 В (стабілізована для детектора), 3,3 В (на стоці VT7);

4.1.6. Тип антени: зовнішня електрична (провід довжиною 10...15 м);
4.1.7.Конструктивні особливості: збірна конструкція на металевому шасі (272х185х35 мм) з навісним монтажем.

5 ВИМОГИ ДО ДОКУМЕНТАЦІЇ

5.1 Конструкторська документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

5.2. Комплект конструкторської документації повинен складатися з:

- пояснювальна записка;
- структурна схема приладу;
- електрична принципова схема приладу;
- друкована плата приладу;
- друкований вузол.

6 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

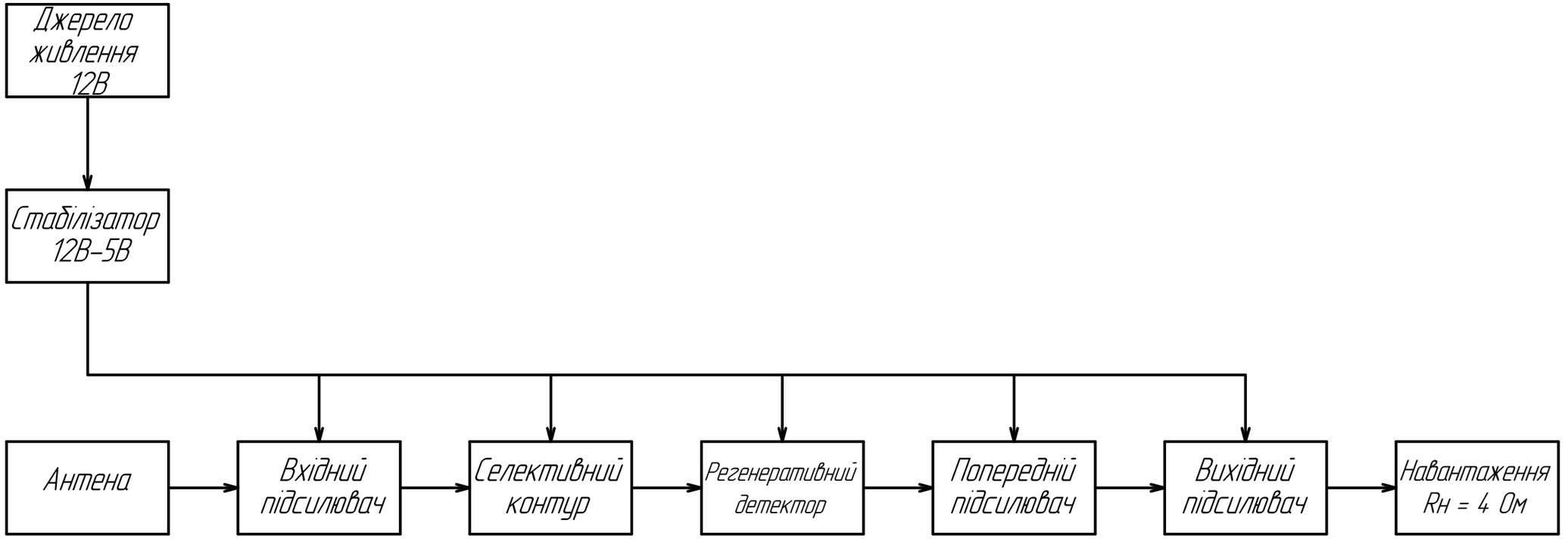
Таблиця 6.1 – Стадії та етапи виконання КР

№ етапу	Назва етапу виконання КР	Термін виконання
1	Розробка та затвердження технічного завдання	
2	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи	
3	Розробка структурної схеми приладу	
4	Розробка схеми електрично принципової	
5	Розрахунок основних вузлів у схемі приладу	
6	Вибір компонентної бази приладу	
7	Компоновка друкованого вузла	
8	Створення допоміжної документації	
9	Розділ охорони праці та безпеки життєдіяльності	
10	Нормоконтроль	
11	Перевірка роботи на анти плагіат	
12	Попередній захист КР	
13	Захист КР	

Термін виконання кваліфікаційної роботи узгоджується з керівником і з графіком виконання.

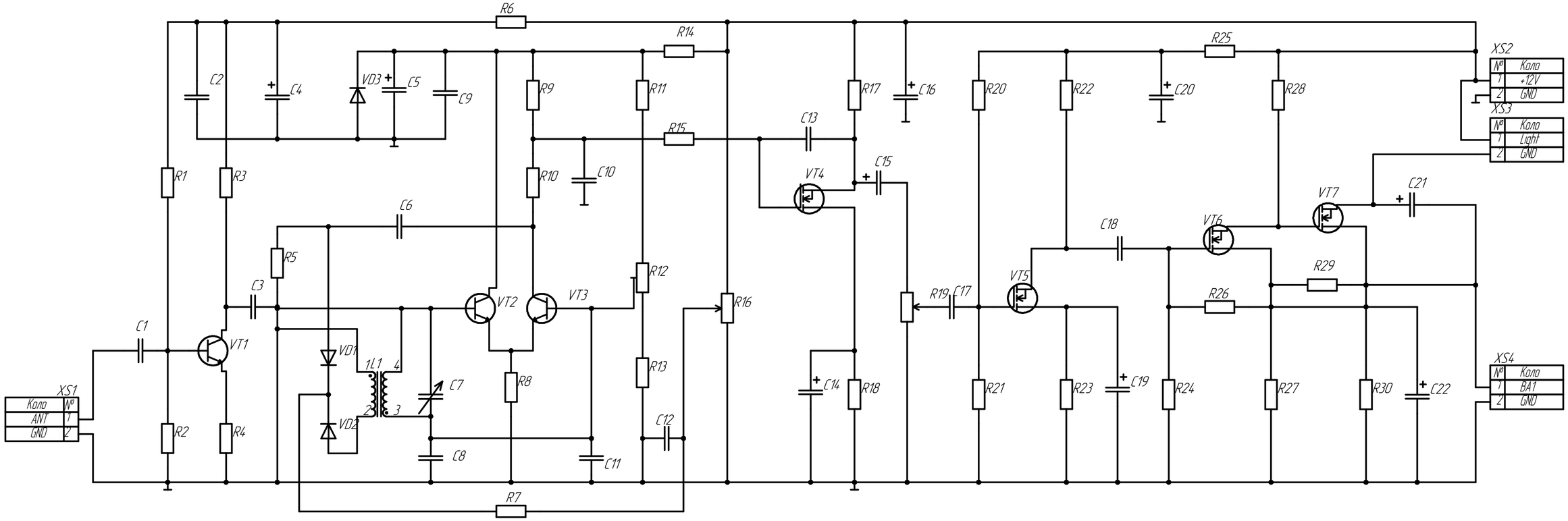
7 ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

7.1 Під час виконання дипломного проекту в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення



					ВМС 2.000.001 Е1		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Модуль регенеративного коротко-хвильового приймача	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.		Войцещук М.С.					–	
Перев.		Дедів І.Ю.			Схема електрична структурна	Аркуш	Аркушів 1	
Т.контр.						ТНТУ ім. І.Пулюя група РА-41		
Н.контр.		Хвостівська Л.В.						
Затв.		Дунець В.Л.						

Формат А3



					ВМС 2.000.001 Е3	
					Модуль регенеративного коротко-хвильового приймача	Літ. / Маса / Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		–
Розроб.		Войцещук М.С.			Схема електрична принципова	Арк. / Аркушів 1
Перев.		Дедів І.Ю.				ТНТУ ім. І.Пулюя група РА-41
Т.контр.						
Н.контр.		Хвостівська Л.В.				
Затв.		Дунець В.Л.				

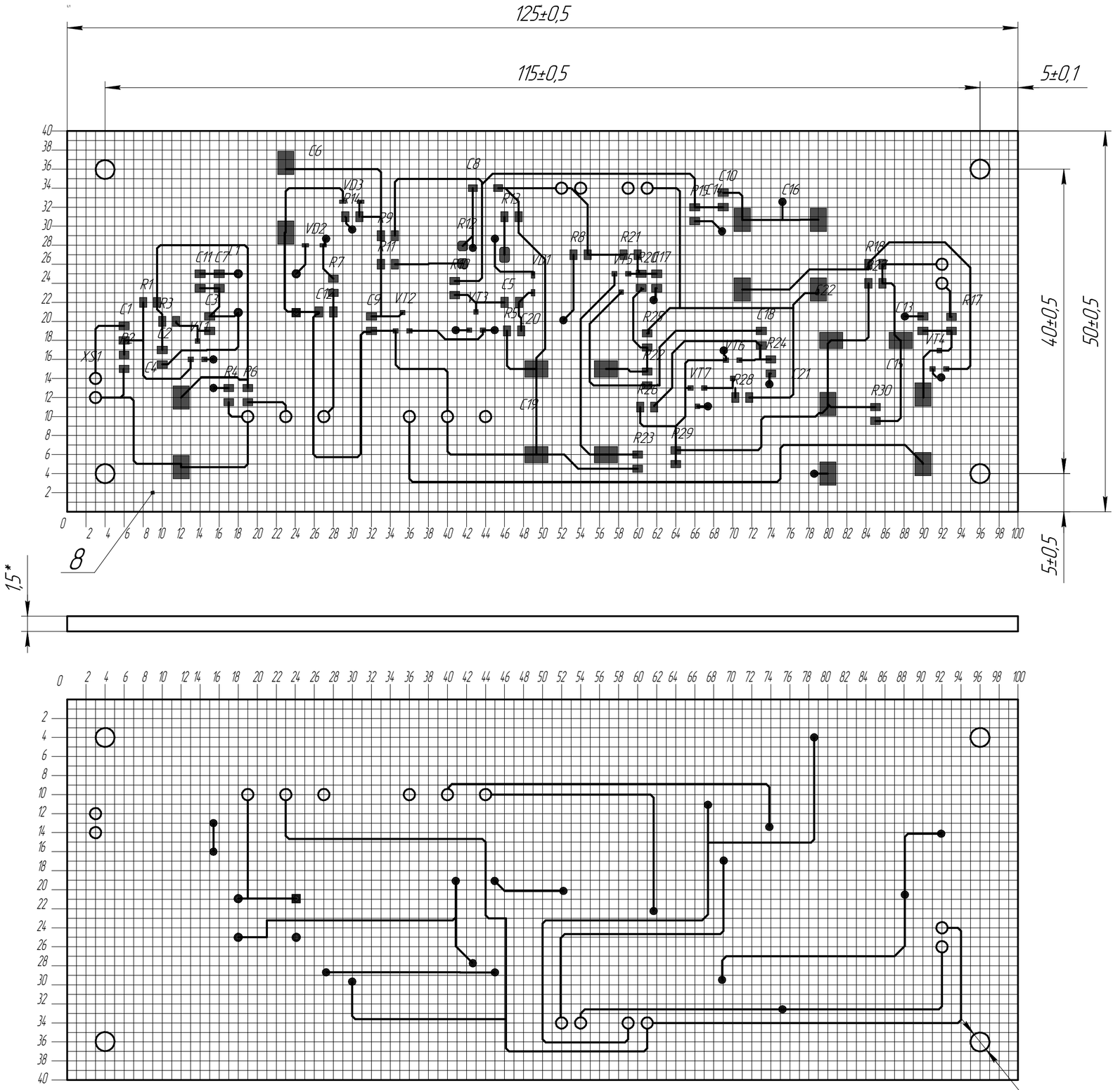
Формат А2

Поз. позн.	Назва	Кіл.	Примітка
	Модуль регенеративного коротко-хвильового приймача		
	Конденсатори		
C1	GRM2165C1H332JA01D «Murata»	1	
C2	GRM219R71H684KA01D «Murata»	1	
C3	GRM2165C1H5R1CD01D «Murata»	1	
C4	SC010-47мкФ-16V±20% «Yageo»	1	
C5	SC010-100мкФ-16V±20% «Yageo»	1	
C6	GRM2165C1H470JA01D «Murata»	1	
C7	GRM219R71H684KA01D «Murata»	1	
C8	TZB4R500 «Murata»	1	
C9	GRM219R71H684KA01D «Murata»	1	
C10	GRM2165C1H332JA01D «Murata»	1	
C11	GRM219R71H224KA01D «Murata»	1	
C12	GRM219R71H154KA01D «Murata»	1	
C13	GRM2165C1H332JA01D «Murata»	1	
C14	SC010-200мкФ-10V±20% «Yageo»	1	
C15	SC010-100мкФ-16V±20% «Yageo»	1	
C16	SC010-470мкФ-16V±20% «Yageo»	1	
C17, C18	GRM219R71H205KA01D «Murata»	2	
C19-C20	SC010-200мкФ-10V±20% «Yageo»	2	
C21	SC010-1000мкФ-16V±20% «Yageo»	1	
C22	SC010-2200мкФ-10V±20% «Yageo»	1	
L1	Котушка індуктивності МЕТ-46 «Татига»	1	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВМС 2.000.001 ПЕЗ		
Розробив		Войцещук М.С.			Модуль регенеративного коротко-хвильового приймача Перелік елементів	Літ.	Аркуш 1 / Аркушів 4
Перевірив		Дедів І.Ю.				н	
Рецензор						ТНТУ, ФПТ каф. РТ гр. РА-41	
Н. Контр.		Хвостівська Л.В.					
Затвер.		Дунець В.Л.					

Поз. позн.	Назва	Кіл.	Примітка
	Резистори		
R1	RC0805FR-91 кОм ±1% «YAGEO»	1	
R2	RC0805FR-2 кОм ±1% «Yageo»	1	
R3	RC0805FR-750 Ом ±1% «Yageo»	1	
R4	RC0805FR-200 Ом ±1% «Yageo»	1	
R5	RC0805FR-91 кОм ±1% «Yageo»	1	
R6	RC0805FR-39 Ом ±1% «Yageo»	1	
R7	RC0805FR-4.3 кОм ±1% «Yageo»	1	
R8	RC0805FR-91 кОм ±1% «Yageo»	1	
R9	RC0805FR-4.3 кОм ±1% «Yageo»	1	
R10	RC0805FR-4.7 кОм ±1% «Yageo»	1	
R11	RC0805FR-2 кОм ±1% «Yageo»	1	
R12	3314G-1 кОм «Bourns»	1	
R13	RC0805FR-1 кОм ±1% «Yageo»	1	
R14	RC0805FR-750 Ом ±1% «Yageo»	1	
R15	RC0805FR-9.1 кОм ±1% «Yageo»	1	
R16	PD181 4.7 кОм «Bourns»	1	
R17	RC0805FR-470 Ом ±1% «Yageo»	1	
R18	RC0805FR-200 Ом ±1% «Yageo»	1	
R19	PD181 4.7 кОм «Bourns»	1	
R20	RC0805FR-91 кОм ±1% «Yageo»	1	
R21	RC0805FR-33 кОм ±1% «Yageo»	1	
R22	RC0805FR-750 Ом ±1% «Yageo»	1	
R23	RC0805FR-110 Ом ±1% «Yageo»	1	
R24	RC0805FR-300 кОм ±1% «Yageo»	1	
R25	3314G-51 Ом «Bourns»	1	
R26	RC0805FR-91 кОм ±1% «Yageo»	1	
R27	RC0805FR-1 кОм ±1% «Yageo»	1	

Поз. позн.	Назва	Кіл.	Примітка
R28	RC0805FR-110 Ом ±1% «Yageo»	1	
R29	RC0805FR-1 кОм ±1% «Yageo»	1	
R30	RC0805FR-15 Ом ±1% «Yageo»	1	
	Діоди		
VD1, VD2	DKV6522B «Toshiba»	2	
VD3	KC156A «NXP»	1	
	Транзистори		
VT1-VT3	MMBT2369 «On semiconductor»	1	
VT4	AO3400A «Alpha & Omega»	1	
VT5, VT6	AO3414A «Alpha & Omega»	2	
VT7	Транзистор IRLML2030TRPbF «Infineon»	1	
XS1-XS3	Роз'єм штировий PLS «KLS»	3	



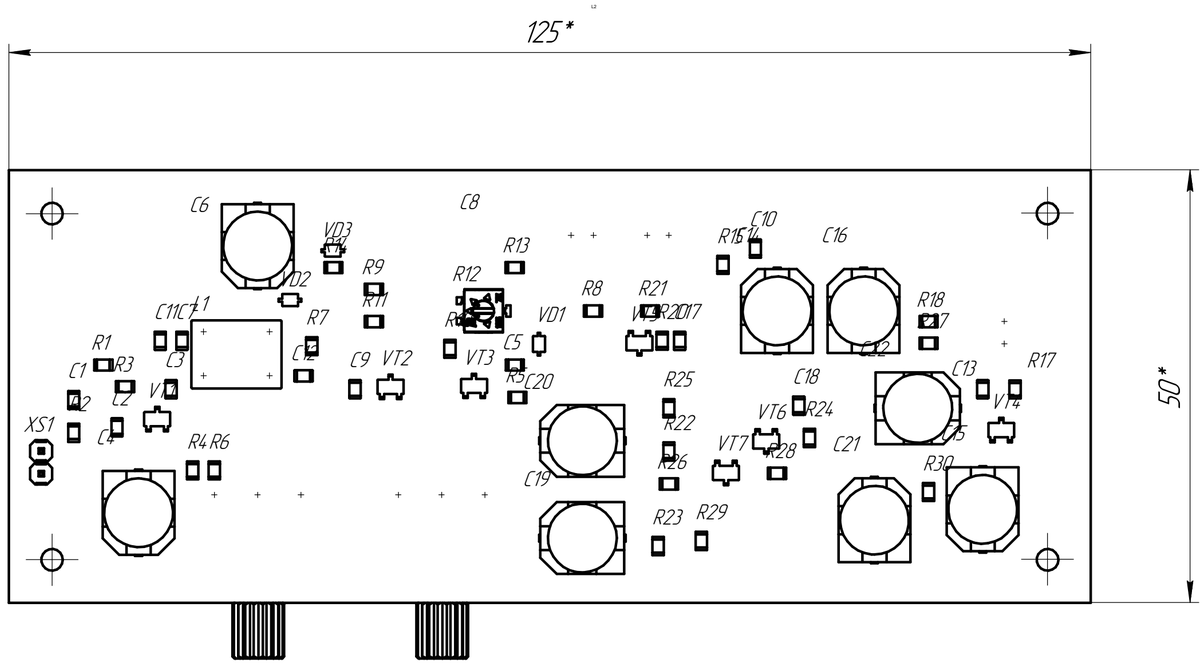
Таблиця отворів

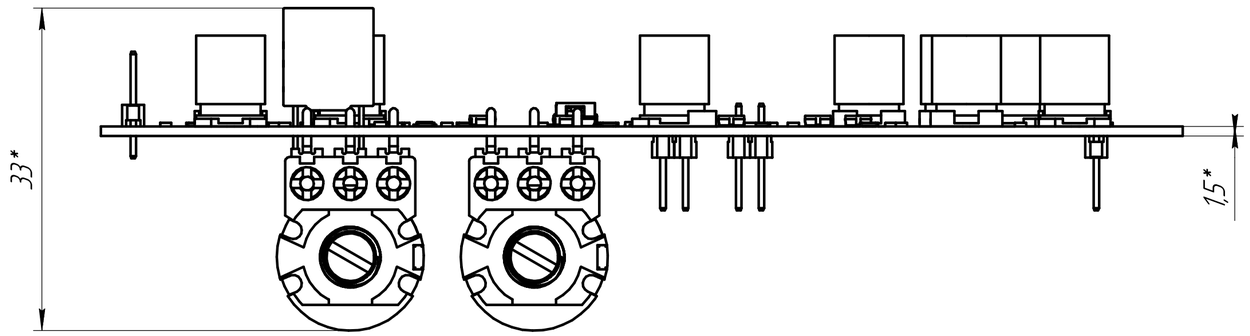
Позначення отвору	Діаметр отвору	Діаметр конт. площадки	Наявність металізації	К-ть отворів
○	0.7	1.5	металіз.	22
●	0.3	0.7	металіз.	18
▬	–	1.3x1	–	98
⬭	–	1x2	–	12

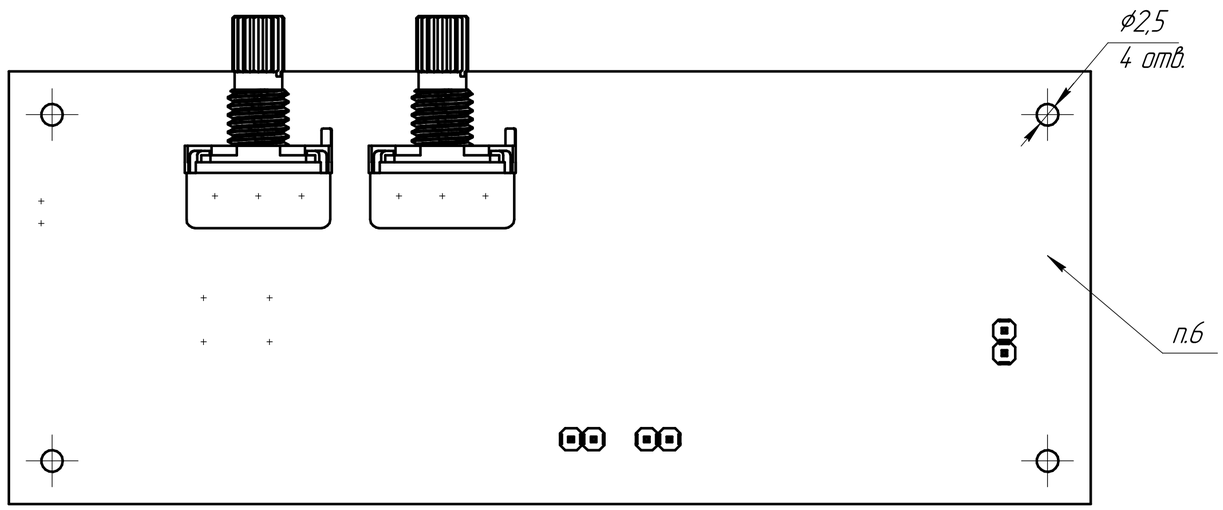
1. *Розміри для довідок;
2. Клас точності 3
3. Крок координатної сітки 1.25 мм.
4. Плату виготовляти електрохімічним методом.
5. Параметри отворів–див.Таблицю отворів.
6. Мінімальна ширина друкованих провідників 0.7 мм
7. Мінімальна відстань між друкованими провідниками 0.3 мм.
8. Плату маркувати фарбою ТН ПФ–01 біла ТУ 29–02–889–88шрифтом 2.5 ПР. 4.1.
9. Контактні площадки покрити припоєм ПОС–40

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	ВМС 7.102.001			
Розроб.		Войцещук М.С.			Плата друкована	Літ.	Маса	Масштаб
Перев.		Дедів І.Ю.					0,3	2,5:1
Т.контр.						Арк.	Аркушів 1	
Н.контр.		Хвостівська Л.В.			СФ–2–35–ІКП	ТНТУ, ФПТ каф. РТ гр. РА–41		
Затв.		Дунець В.Л.						

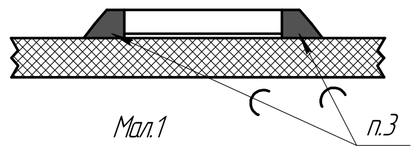
Формат А2



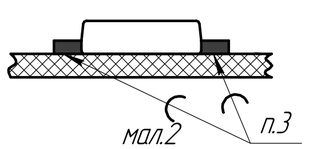




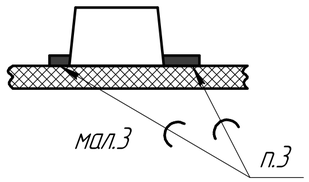
4:1



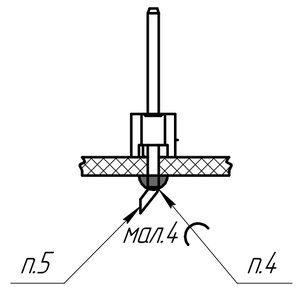
4:1



4:1



4:1



1. * Розміри для довідок
2. Крок координатної сітки 1,25мм, елементи встановити: резистори R1–R15, R17–R18, R20, R21–R30 згідно мал.1; конденсатори C1–C3, C6–C12, C14–C18, згідно мал.1; діоди VD1–VD2 згідно мал.2; транзистори VT1–VT7 згідно мал.3; роз'єми XS1–XS4 згідно мал.4;
3. Паяти паяльною пастою SAC305 "Mechanic"
4. Паяти ПОС–61
5. Виводи згинати під кутом 30 та обрізати в межах контактних площадок
6. Покрити лаком АК–133
7. Позначення елементів показано умовно

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	ВМС 2.000.001 СК		
Розроб.		Войцещук М.С.			Вузол друкований модуля регенеративного коротко–хвильового приймача Складальне креслення	Літ.	Маса 0,4	Масштаб 2:1
Перев.		Дедів І.Ю.				Арк.	Аркушів 1	
Т.контр.						ТНТУ, ФПТ каф. РТ гр. РА–41		
Н.контр.		Хвостівська Л.В.						
Затв.		Дунець В.Л.						

Формат А2

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Прим.
				Документація		
А3			ВМС 2.000.001 Е3	Схема електрична принципова		
А4			ВМС 2.000.001 ПЕ3	Перелік елементів		
А2			ВМС 2.000.001 СК	Друкований вузол		
				Деталі		
А2		1	ВМС 7.102.001	Плата друкована	1	
				Інші вироби		
				Конденсатори		
		2		GRM2165C1H5R1CD01D «Murata»	1	C3
		3		GRM2165C1H470JA01D «Murata»	1	C6
		4		GRM2165C1H332JA01D «Murata»	3	C1, C10, C13
		5		GRM219R71H154KA01D «Murata»	1	C12
		6		GRM219R71H224KA01D «Murata»	1	C11
		7		GRM219R71H684KA01D «Murata»	3	C2, C7, C9
		8		GRM219R71H205KA01D «Murata»	2	C17,C18
		9		SC010-4.7мкФ-16V±20% «Yageo»	1	C4
		10		SC010-100мкФ-16V±20% «Yageo»	1	C5
		11		SC010-200мкФ-10V±20% «Yageo»	3	C14,C19,C20
		12		SC010-470мкФ-16V±20% «Yageo»	1	C16
		13		SC010-1000мкФ-16V±20% «Yageo»	1	C21
		14		SC010-2200мкФ-10V±20% «Yageo»	1	C22
		15		TZB4R500 «Murata»	1	C8

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВМС 2.000.001 СП		
Розроб.		Войцещук М.С.			Вузол друкований	Літ.	Аркуш 1 / Аркушів 3
Перевір.		Дедів І.Ю.				Н	ТНТУ, ФПТ каф. РТ гр. РА-41
Н Контр.		Хвостівська Л.В.					
Затверд.		Дунець В.Л.					

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Прим.
		16		Котушка індуктивності МЕТ-46	1	L1
				«Татига»		
				Резистори		
		17		RC0805FR-15 Ом ±1% «Yageo»	1	R31
		18		RC0805FR-39 Ом ±1% «Yageo»	1	R6
		19		RC0805FR-110 Ом ±1% «Yageo»	2	R23, R28
		20		RC0805FR-200 Ом ±1% «Yageo»	2	R4, R18
		21		RC0805FR-470 Ом ±1% «Yageo»	1	R17
		22		RC0805FR-750 Ом ±1% «Yageo»	3	R3, R14, R22
		23		RC0805FR-1 кОм ±1% «Yageo»	3	R13,R27,1R29
		24		RC0805FR-2 кОм ±1% «Yageo»	2	R2, R11
		25		RC0805FR-4.3 кОм ±1% «Yageo»	2	R7, R9
		26		RC0805FR-4.7 кОм ±1% «Yageo»	1	R10
		27		RC0805FR-9.1 кОм ±1% «Yageo»	1	R15
		28		RC0805FR-33 кОм ±1% «Yageo»	1	R21
		29		RC0805FR-91 кОм ±1% «Yageo»	5	R1, R5 ,R8
						R20, R6
		30		RC0805FR-300 кОм ±1% «Yageo»	1	R24
		31		3314G-51 Ом «Bourns»	1	R25
		32		3314G-1 кОм «Bourns»	1	R12
		33		PD181 4.7 кОм «Bourns»	2	R16, R19
				Діоди		
		34		DKV6522B «Toshiba»	2	VD1, VD2
		35		KC156A «NXP»		VD3
				Транзистори		
		36		MMBT2369 «On semiconductor»	3	VT1-VT3
		37		AO3400A «Alpha & Omega»	1	VT4
		38		AO3414A «Alpha & Omega»	2	VT5, VT6

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.ьк.	Прим.
		39		Транзистор IRLML2030TRPbF	1	VT7
				«Infineon»		
		40		Роз'єм штировий PLS «KLS»	3	XS1–XS3

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВМС 2.000.001 СП	Арк. 3