

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інформаційних електронних систем

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«ПРИСТРІЙ БЕЗДРОТОВОГО КЕРУВАННЯ РАДІОЗВ'ЯЗКОВОЮ РАДІОСТАНЦІЄЮ»

Виконав: студент 2(4)-го курсу, групи РТ-23мс
спеціальності 172 – Електронні комунікації та
радіотехніка, ОП- Радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Дехтярук В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., проф., каф. ІРТС

Семенов А.О.

(прізвище та ініціали)

«11» 06 2025 р.

Рецензент: д.т.н., доц., професор каф. ІКСТ

Михалевський Д.В.

(прізвище та ініціали)

«12» 06 2025 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

«13» 06 2025 р.

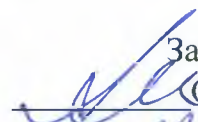
Вінниця ВНТУ - 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Інформаційних електронних систем
Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність – 172 Електронні комунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма – Радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

Олександр ОСАДЧУК


22.03. 2025 року

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Дехтяруку Владиславу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. «Пристрій бездротового керування радіозв'язковою радіостанцією»

керівник роботи Семенов Андрій Олександрович, д.т.н., проф., проф., каф. ІРТС

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "20"03 2025 року № 97

2. Строк подання студентом роботи 10 06 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: робоча частота 29,7 МГц; вихідна потужність передавача – 800 мВт; чутливість приймача 5,0 мкВ; опір навантаження 50 Ом; споживаний струм не більше 50 мА; споживана потужність не більше 135 мВт; вид модуляції – частотна; середній час напрацювання на відмову 10,0 тис. год; довговічність – не менше 50 тис. год.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Аналіз сучасного стану теорії та практики дистанційного керування. Розрахунок структурної схеми пристрою. Електричні розрахунки. Комп'ютерне моделювання. Розрахунок конструкції та надійності друкованої плати. Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Структурна схема передавача. Векторні діаграми частотної модуляції. Спектр ЧМ. Повна структурна схема приймача. Схема кінцевого каскаду. Схема каскаду попереднього підсилення. Схема електрична принципова амплітудного детектора. Досліджуваний ФВЧ. АЧХ досліджуваного ФВЧ. Ймовірність безвідмовної роботи в залежності від часу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	д.т.н., проф., професор каф. ІРТС Семенов А.О.		
Охорона праці	професор кафедри БЖДПБ, доцент, д.п.н., Дембіцька С.В.		

7. Дата видачі завдання 25.03.2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прийматка
1.	Вибір, узгодження та затвердження теми БКР	14.02.2025-28.02.2025	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	01.03.2025-19.03.2025	
3.	Розробка завдання на БКР. Затвердження теми.	20.03.2025-25.03.2025	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	26.03.2025-06.05.2025	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки . Експериментальне дослідження.	07.05.2025-18.05.2025	
6.	Розробка ілюстративної частини БКР	19.05.2025-22.05.2025	
7.	Охорона праці (ОП)	23.05.2025-25.05.2025	
8.	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини.	26.05.2025-05.06.2025	
9.	Нормоконтроль	07.06.2025-10.06.2025	
10.	Попередній захист БКР, доопрацювання, рецензування БКР	11.06.2025-15.06.2025	
11.	Захист БДР ЕК	16.06.2025-17.06.2025	

Студент


(підпис)
Дехтярук В.О.

Керівник роботи


(підпис)
Семенов А.О.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.375

Дехтярук В. О. Пристрій бездротового керування радіозв'язковою радіостанцією. Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2025. – 85 с. Українською мовою. Бібліогр.: 29 . назв; Рис.:12, Табл. – 4.

В бакалаврській кваліфікаційній роботі здійснено розроблення та дослідження пристрою бездротового керування радіозв'язковою радіостанцією. Удосконалені схемо-технічні та конструктивні реалізації пристрою. Виконаний аналіз промислових аналогів цього типу пристроїв, та здійснений огляд відомих схем пристроїв дистанційного керування радіостанціями. Проведений розрахунок характеристик підсилювачів передавального модуля, та моделювання фільтру високих частот, що дало змогу переконатися в правильності обраного схемо технічного рішення. Для створення пристрою використані сучасні інтегральні мікросхеми. Розроблений фільтр низьких частот восьмого порядку, з характеристикою Батерворта на перемикаючих конденсаторах, що виконаний в малогабаритному корпусі для поверхневого монтажу. Також, розглянуто загальний принцип роботи системи дистанційного керування радіозв'язковою радіостанцією.

Ключові слова: радіостанція, радіозв'язок, пристрій, дистанційне керування, фільтр, мікросхема.

ABSTRACT

Dekhtyaruk V. O. Device for wireless control of a radio communication radio station. Bachelor's qualification work: VNTU, 2025. 85 p. In Ukrainian. Bibliography: 29. titles; Figures: 12, Table -4.

In his bachelor's thesis, he developed and studied a device for wireless control of a radio communication station. The circuitry, technical and constructive implementations of the device were improved. An analysis of industrial analogues of this type of device was performed, and a review of known schemes for remote control of radio stations was carried out. The characteristics of the transmitting module amplifiers were calculated and the high-pass filter was modelled, which made it possible to verify the correctness of the chosen circuitry. Modern integrated circuits were used to create the device. A low-pass filter of the eighth order with Butterworth characteristic on switching capacitors was developed, which is made in a small-sized case for surface mounting. Also, the general principle of operation of the remote control system of a radio communication station is considered.

Keywords: radio station, radio communication, device, remote control, filter, microchip.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИКИ	
 ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ	11
1.1 Аналіз технічної задачі та варіантів її вирішення	11
1.2 Опис принципу дистанційного керування радіостанцією	12
2 РОЗРАХУНОК СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ.....	14
2.1 Розробка структурної схеми передавача.....	14
2.2 Вибір структури кінцевого каскаду і його активних елементів	15
2.3 Вибір схеми виходу	16
2.4 Розрахунок каскаду попереднього підсилення	16
2.5 Розробка детальної структурної схеми передавача	17
2.6 Вибір і розробка структурної схеми приймального блоку.....	18
2.7 Розрахунок параметрів джерела живлення.....	28
2.8 Розробка повної структурної схеми пристрою.....	29
3 ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ	31
3.1 Електричний розрахунок каскаду кінцевого підсилення	
потужності	31
3.2 Електричний розрахунок каскаду попереднього підсилення	36
3.3 Електричний розрахунок вхідного кола радіоприймального модуля ...	41
3.4 Електричний розрахунок амплітудного детектора	42
4 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ	46
4.1 Комп'ютерне моделювання ФВЧ	46
5 РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ ТА НАДІЙНОСТІ	
 ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ	48
5.1 Конструктивний розрахунок друкованої плати	48
5.2 Розрахунок надійності друкованої плати по раптовим відмовам	52
6 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	58
6.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	59

6.2	Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	62
6.3	Пожежна безпека.....	67
	ВИСНОВКИ.....	70
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71
	Додаток А (обов'язковий) Ілюстративний матеріал.....	75
	Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної (бакалаврської) кваліфікаційної роботи.....	84

ВСТУП

Актуальність теми.

В даний час однією з найбільших проблем є підвищення мобільності використання радіостанцією всіх пристроїв, включаючи радіостанцію. Це викликано бажанням мати систему, яка є максимально універсальною щодо управління та кількості сервісних функцій, щоб ви могли швидко та легко керувати радіостанцією, не перебуваючи безпосередньо біля станції.

Сьогодні пристрої бездротового керування є звичним явищем у будь-якому портативному пристрої. Вони дозволяють змінювати характер налаштувань під час процесу відтворення, що призводить до збільшення мобільності та швидкості керування.

Одним із основних напрямків дистанційного керування радіостанцією є цифрове оновлення цих пристроїв, що максимально розширить спектр послуг, які пропонують ці пристрої.

Застосування методу бездротової передачі даних, використання сучасних схемотехнічних рішень і значимість проблеми, на вирішення якої спрямована ця розробка, визначають її сучасність і важливість.

Аналіз сучасного стану за тематикою роботи.

У сфері бездротових технологій управління існує кілька проблем:

- Є системи, які за повним набором функціональних можливостей повністю задовольняють споживачів, як аматорів, так і професіоналів, але вартість значна і доступна тільки професійним користувачам на промисловому рівні;

- При незначному підвищенні якості вартість систем зростає значно більше, ніж кількість додаткових функцій. Ця невідповідність змушує виробників йти на компроміс щодо якості та ціни. Будь-яке сучасне електронне творіння, створюючи продукти, намагається підвищити дизайн, ефективність роботи та економічну цінність продукту. І це часто буває при

вирішенні питань, пов'язаних з випуском нового продукту в загальне використання, на перше місце ставлять його економічні показники;

- конструктивні особливості промислових зразків бездротових пристроїв дистанційного керування радіостанцією, яка здійснює зв'язок по радіо, мають невідповідності, які розробники вирішують шляхом компромісу;

- Останнім часом увага приділяється розробці нових принципів остворення цих пристроїв. Ці принципи вирішують існуючі суперечності між конструктивними та економічними цілями.

Розроблена система складається з двох основних компонентів:

- модуль бездротового приймача звукових та керуючих сигналів;
- приймально-маніпуляційний модуль, який приймає та обробляє передані сигнали.

Враховуючи особливості електромагнітної сумісності, слід вибирати простий режим роботи цього пристрою та використовувати значну різницю частот каналів радіозв'язку зі станцією та пристроєм керування.

Метою роботи є розроблення та дослідження пристрою бездротового керування радіозв'язковою радіостанцією.

Об'єктом дослідження є процес перетворення радіосигналів в електричні сигнали керування в каскадах пристрою бездротового керування радіо-зв'язковою радіостанцією.

Предмет дослідження – частотні та часові параметри і характеристики електричних сигналів керування.

Для досягнення поставленої мети в бакалаврській кваліфікаційній роботі будуть розв'язані такі задачі:

- здійснити аналіз сучасних досягнень у техніці дистанційного керування;
- обрати компоненту базу та розробити структурну схему пристрою;
- зробити розрахунки структурної схеми пристрою;
- здійснити електричні розрахунки каскадів пристрою;
- здійснити комп'ютерне схемотехнічне моделювання каскадів пристрою;

- виконати розділ безпеки життєдіяльності.

Методи дослідження ґрунтуються на використанні: елементів теорії електричних кіл і сигналів, теорії аналогових електронних пристроїв і аналогової схемотехніки, теорії комп'ютерного моделювання радіотехнічних пристроїв.

Новизна одержаних результатів:

- 1) Отримав подальший розвиток метод бездротової передачі даних,
- 2) Нові схемотехнічні рішення каскадів пристрою з використанням сучасної елементної бази.

Структура і обсяг роботи. Бакалаврська кваліфікаційна робота складається зі вступу, 6 розділів, висновків, додатків, списку використаних джерел і додатків.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИКИ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ

1.1 Аналіз технічної задачі та варіантів її вирішення

Сьогодні відомо кілька основних методів створення бездротових пристроїв дистанційного керування. Серед них найпоширенішими є такі.

Перший варіант звичайний для обладнання певного класу, наприклад концертин і студійних інструментів. Цей тип обладнання, як правило, оснащений повним цифровим керуванням звуком і сигналами, що надсилаються для керування ним. В результаті управління здійснюється за допомогою спеціалізованого процесорного блоку або ПК з відповідним програмним забезпеченням, який має багато функцій. Цей варіант забезпечує найбільший ступінь контролю, але апаратне забезпечення складне і дороге, а програмне забезпечення вимагає додаткового навчання оператора.

Другий варіант поширений для обладнання середньої складності, що спеціалізується на певній галузі. Бездротові пристрої дистанційного керування зазвичай будуються на основі цифрової обробки та керування. Висока якість управління забезпечується в першу чергу ефективним вибором параметрів і атрибутів, які можна змінювати дистанційно. Такий підхід має істотні недоліки: пристрої досить дорогі та складні у проектуванні, а наявність цифрового керування та специфічної програмної асоціації з певним типом пристрою не дозволяє використовувати його для іншого обладнання;

Третій варіант поширений для машин, призначених для широкого використання. Найновіші доповнення базуються на традиційних схемних рішеннях – використовується схема, яка використовує DTMF для керування кодом. Це дозволяє вибирати канали. Цей підхід має низку пов'язаних проблем для розробників, рішенням яких є компроміс між покращенням керування функцій і погіршенням інших властивостей бездротових пристроїв дистанційного керування;

Четвертий варіант пропонує альтернативні способи, що дозволяють створювати бездротові пристрої дистанційного керування зі станцією радіозв'язку, яка має кращий техніко-економічний склад, тобто більш високе співвідношення ціни та якості. Головним недоліком цього підходу є те, що неясно, чи виправдані будуть витрати на новий розвиток і чи обраний шлях є найефективнішим.

1.2 Опис принципу дистанційного керування радіостанцією

До складу бездротового передавача мовних і керуючих сигналів входять мікрофонний підсилювач, генератор тональної частоти, мікшер і радіомодуль.

Мікрофонний підсилювач призначений для посилення мовного сигналу до рівня, достатнього для нормальної роботи передавача радіостанції. Мікрофонний підсилювач базується на класичній схемі із загальним емітером, у цій конструкції використовується буферний каскад, щоб узгодити вхідний опір модулятора, і він має частотно-залежний зворотний зв'язок. Функція зворотного зв'язку подібна до фільтра низьких частот першого порядку, ця функція обмежує частотний діапазон на початковому етапі композиції мовного сигналу, щоб забезпечити вузьку смугу частот FM.

Генератор тональної частоти має частоту 5 кГц і побудований за схемою RC-генератора з фазообертаючою ланкою, яка забезпечує зсув фази на 180 градусів, це дозволяє забезпечити фазовий баланс між генератором і збудженням, і генератор збуджується на частоті, близькій до резонансної. Цей механізм необхідний для керування переходом від режиму прийому до режиму передачі на цій радіостанції.

Радіомодуль призначений для передачі голосу і сигналів управління по радіоканалу і побудований з використанням мікросхеми FM-трансмітера MC2833P, що підвищує надійність трансмітера.

Приймально-керуючий модуль, який приймає і обробляє сигнали, що передаються, має наступні компоненти: FM-приймач, попередній підсилювач звукової частоти, фільтр низьких частот 8-го порядку, тактовий генератор 300 кГц, фільтр високих частот другого порядку, піковий детектор, ключ управління.

Приймач призначений для прийому сигналу від модуля передачі управління і виконаний на мікросхемі TDA7088T з низькою частотою 70 кГц.

Попередній радіочастотний підсилювач відповідає за посилення сигналу, необхідного для роботи мікросхеми фільтра низьких частот.

Фільтр низьких частот восьмого порядку використовується для усунення частоти керуючого тону на 5 кГц, а частота зрізу фільтра становить 3 кГц. Використовується мікросхема фільтра низьких частот Butterworth зі спеціальною конструкцією під назвою MAX294EWE.

Генератор 300 кГц виробляє прямокутний сигнал, який контролює частоту, на якій обрізається мікросхема фільтра низьких частот, це реалізовано на мікросхемі NE555.

Фільтр високих частот відповідає за видалення сигналу управління тембром 5 кГц і зменшення витоку сигналу в схеми голосового керування. На основі подвійного операційного підсилювача LM358.

Піковий детектор розпізнає наявність сигналу управління тембром, який потім перетворюється в постійну напругу, яка перемикає клавішу управління.

Ключ керування — це відкрита каскадна система, яка функціонує як сигнал для активації радіостанції для передачі.

2 РОЗРАХУНОК СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ

2.1 Розробка структурної схеми передавача

Передавач, який необхідно створити, повинен мати два основних компоненти: модулятор і тракт для радіочастоти.

У радіочастотному тракті передавача виробляється частотно-модульований радіосигнал певного складу, який подається на вхід антенного фідерного тракту (AFT). Що стосується прийому частотно-модульованих коливань, то існує кілька варіантів: пряма модуляція через варикап, який є частиною схеми збудника, і непряма модуляція через фазовий метод. У цьому випадку збудник безпосередньо модулюється, для цього використовується внутрішній генератор схеми передавача. Це мінімізує дрейф частоти температури носія. Всі компоненти виготовляються за єдиним технологічним процесом, що зменшує різницю між їх характеристиками та підвищує стабільність температури генератора.

Мікросхема передавача містить два додаткових транзистора, один з яких призначений для роботи в якості попереднього підсилювача. Другий як кінцевий підсилювач потужності.

Попередні ланки схем підсилення підсилюють сигнал до рівня, необхідного для подачі його на вхід кінцевого каскаду. Вихідна схема повинна з'єднувати кінцевий каскад із трактом живлення антени, а також мінімізувати додаткове випромінювання, яке виникає поза діапазоном.

Таким чином, структурна схема радіопередавача, що будується, матиме такий склад (рисунок 2.1).

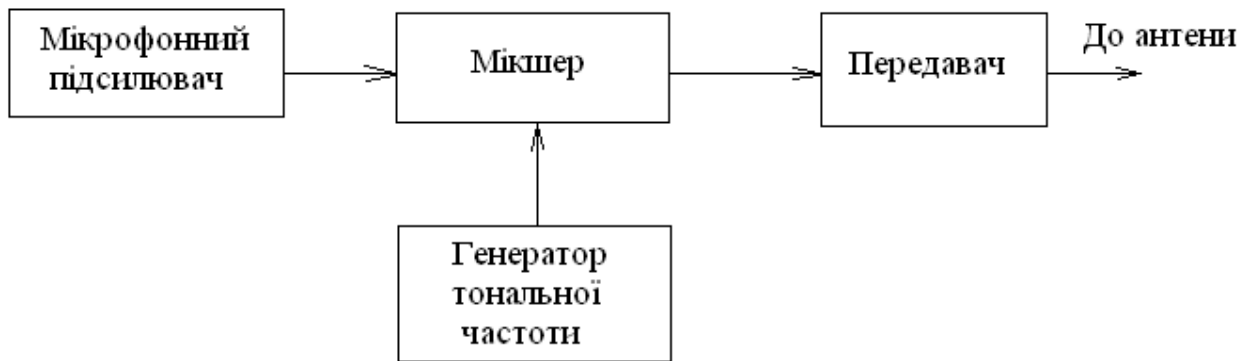


Рисунок 2.1 – Схема електрична структурна передавача

2.2 Вибір структури кінцевого каскаду і його активних елементів

Обчислимо потужність кінцевого каскаду з урахуванням втрат енергії у схемі виходу

$$P_{вих} = \frac{P_{A\max}}{\eta_{AFC}} [Вт], \quad (2.1)$$

$$P_{вих} = \frac{10}{0,85} = 11,75 (мВт).$$

Виберемо режим роботи транзисторів підсилювача вихідного каскаду з пороговим струмом $Q=90^\circ$. Ми будемо використовувати один вихідний перетворювач.

Ми будемо використовувати внутрішній транзистор мікросхеми з такими властивостями [12].

Опір насичення на високих частотах; $r_{нас} = 0,25 Ом$;

Коефіцієнт статичної передачі струму в колі з СЕ $h_{21e} = 200...250$;

Гранична частота $f_{zp} = 600 МГц$;

Ємність колекторного переходу $C_k = 3,3 нФ$;

Максимально допустимі параметри:

Постійна напруга на переході колектор-емітер $U_{кбодп} = 15 В$;

Постійна напруга на переході база-емітер $U_{бедоп} = 4В$;

Постійний струм колектора $I_k = 150 \text{ мА}$;

Потужність розсіювання на колекторі $P_{\text{дон}} = 10 \text{ мВт}$;

Коефіцієнт передачі по потужності $K_p = 5$ при потужності $P = 10 \text{ мВт}$; напрузі живлення $E_k = 5 \text{ В}$ і частоті $f = 29,7 \text{ МГц}$.

Обчислимо потужність, яка потрібна для збудження кінцевого каскаду підсилювача потужності

$$P_{\text{зб.кк}} = \frac{P_{\text{вих}}}{K_{\text{ркк}}} [\text{Вт}], \quad (2.2)$$

$$P_{\text{зб.кк}} = \frac{11,75}{5} = 2,35 (\text{мВт}).$$

2.3 Вибір схеми виходу

Масою вихідного каскаду передавача є антена. Розрізняють прості і складні схеми вихідного каскаду. У простій схемі в якості вихідного каскаду використовується проста схема з розподіленими параметрами, яка є паралельною вхідному каскаду. Ця схема зазвичай використовується в малопотужних радіопередавачах, які мають простий вихідний каскад, недоліком цього є відсутність фільтрації вищих гармонік і складність отримання необхідного еквівалентного опору для антени. У складному вихідному каскаді передавача антена активується проміжним контуром, який з'єднує антену з колектором транзистора.

Оскільки передавач малопотужний, а гармоніки вищого порядку вихідного сигналу мають малу потужність, доцільно використовувати просту вихідну схему.

2.4 Розрахунок каскаду попереднього підсилення

Давайте розберемося з потужністю перед фінальним етапом, враховуючи втрату зв'язку

$$P_{вих} = \frac{P_{зб.кк}}{\eta_{АФС}} [Вт], \quad (2.3)$$

$$P_{вих} = \frac{2,35}{0,85} = 2,76.$$

Виберемо режим роботи транзистора вихідного каскаду підсилювача з порогом струму колектора $Q=180^\circ$.

Ми будемо використовувати внутрішній транзистор мікросхеми з такими властивостями:[13]

Опір насичення на високих частотах $r_{нас} = 0,25 \text{ Ом}$;

Коефіцієнт статичної передачі струму в колі з СЕ $h_{21e} = 200 \dots 250$;

Гранична частота $f_{zp} = 600 \text{ МГц}$;

Ємність колектора $C_k = 3,3 \text{ нФ}$;

Максимально допустимі параметри:

Постійна напруга на переході колектор-емітер $U_{кбодп} = 15 \text{ В}$;

Постійна напруга на переході база-емітер $U_{бедп} = 4 \text{ В}$;

Постійний струм колектора $I_k = 150 \text{ мА}$;

Потужність розсіювання на колекторі $P_{кдоп} = 10 \text{ мВт}$;

Коефіцієнт передачі за потужністю $K_p=5$ при потужності $P=10 \text{ мВт}$; напрузі живлення $E_k=5 \text{ В}$; частоті $f=29,7 \text{ МГц}$;

Обчислимо потужність, яка необхідна для збудження передостаннього каскаду підсилювача потужності:

$$P_{зб.кк} = \frac{2,76}{5} = 0,55 (\text{мВт}).$$

2.5 Розробка детальної структурної схеми передавача

Отримавши результати попереднього розрахунку передавача, можна легко побудувати його уточнену структурну схему (рисунок 2.2).

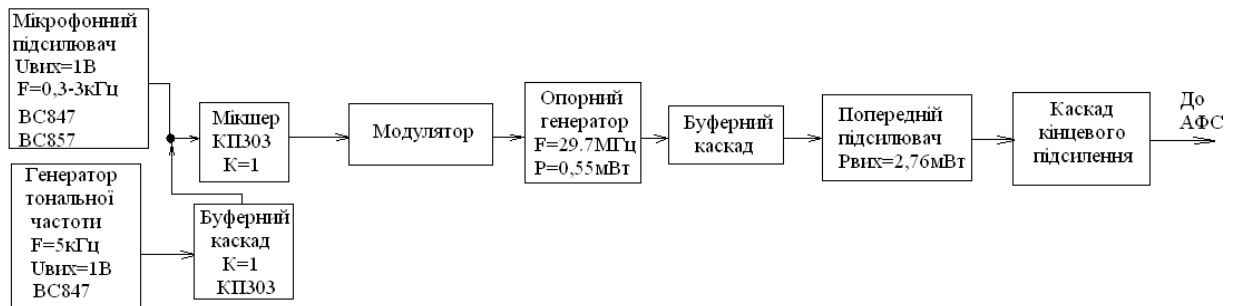


Рисунок 2.2 - Уточнена структурна схема блоку передавача

Частота несучої походить від внутрішнього осцилятора. Частота модуляції змінюється на внутрішньому варикапі модулятора чіпа передавача. Частота, на якій працює схема, становить 29,7 МГц. Процес збільшення сигналу до певної величини здійснюється в передфінальній каскаді на внутрішньому транзисторі.

Тракт прямого зв'язку антени та придушення додаткових випромінювань, які не знаходяться в смузі, досягаються за допомогою простої схеми, яка виводить.

Трансмітер живиться від акумулятора напругою +9В. Немає вимог до стабільності при напрузі +5 В, це тому, що він живиться від батареї, тому додаткові контролери напруги не потрібні. На основі наведеної вище структурної схеми в наступних розділах буде створено електричну принципову схему передавача.

2.6 Вибір і розробка структурної схеми приймального блоку

2.6.1 Аналіз і основні характеристики АМ сигналу

Як сигнал, що використовується для перенесення інформації, зазвичай використовується гармонічний або періодичний імпульс, частота якого залежить від закону зміни вимірюваної величини. Частота базується на амплітуді параметра вимірювання, а зміна частоти – на швидкості зміни параметра вимірювання. Системи, які використовують FM, мають більший ступінь завадостійкості та кращі метрологічні властивості порівняно з системами, які використовують АМ.

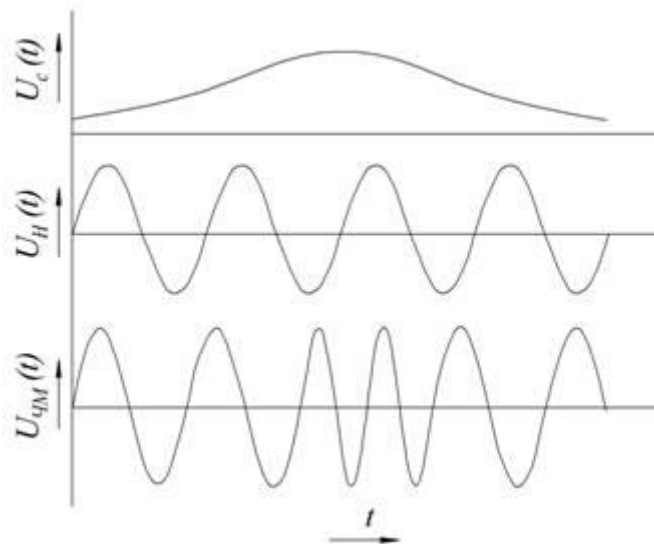


Рисунок 2.3 – Векторні діаграми частотної модуляції

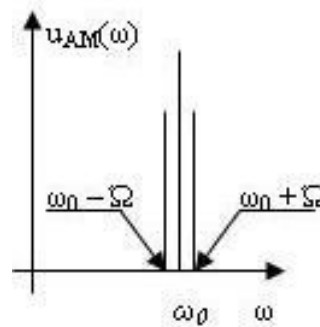


Рисунок 2.4 – Спектр ЧМ

Орієнтовна смуга пропускання високочастотного тракту визначається за співвідношенням [2]

$$\Delta F_{2\text{ пч}} = (1,1 \dots 1,2) \Delta F_c, \quad (2.4)$$

де ΔF_c – це реальна ширина спектру прийнятого сигналу.

Тоді реальна ширина спектру приймача при ЧМ модуляції буде

$$\Delta F_c = 2F_{\text{max}} = 8000 \text{ (Гц)}.$$

З урахуванням цього матимемо

$$\Delta F_{\text{пч}} = 1,2 \cdot 8000 = 9600 \text{ (Гц)}.$$

Смуга пропускання частот загального радіотракту під час прийому, що дозволяє здійснювати пошук і коригування, визначається реальною шириною спектру прийнятого сигналу і запасом, який залежить від частотної точності радіотракту

$$\Delta F_{\text{рт}} = \Delta F_{\text{с}} + 2 \Delta f_{\text{рл}}, \quad (2.5)$$

де ΔF – справжня ширина реальної частини радіоспектру, її необхідно передати на вхід відповідного детектора.

$\Delta f_{\text{рл}}$ - різниця частот між приймальною станцією та частотою налаштування приймача, або в більш загальному сенсі різниця між двома частотами. стабільність частоти лінії.

Щоб забезпечити можливість прийому з пошуком, пропускну здатність приймача повинна враховувати неточність початкової установки частоти передавача і приймача, а також нестабільність частот усіх трактів приймача. Як наслідок, частотна точність лінії, враховуючи невизначеність первинних блоків структурної діаграми, включена в [14]

$$\Delta f_{\text{рл}} = \sqrt{\Delta f_{\text{с}}^2 + \Delta f_{\text{ТПЧ}}^2}, \quad (2.6)$$

де $\Delta f_{\text{Г1}}$, $\Delta f_{\text{Г2}}$ - це частоти першого і другого гетеродина відповідно;

$\Delta f_{\text{ТПЧ1}}$, $\Delta f_{\text{ТПЧ2}}$ - це нестабільність тракту проміжної частоти.

Частота гетеродина нестабільна. Величина її нестабільності

$$\Delta f_{\text{Г}} = \delta_{\text{Г}} \cdot f_{\text{Г.мах}}, \quad (2.7)$$

де $\delta_{\text{Г}}$ - це частота, відносно якої гетеродин нестійкий;

$f_{\text{Г.мах}}$ - це найвища частота гетеродина при його крайньому значенні.

2.6.2 Вибір та обґрунтування загальної конструкції пристрою

Отриманий сигнал залежить від типу роботи радіоприймального пристрою та методу виявлення.

Залежно від конструкції високочастотного тракту радіоприймачі поділяються на два основних типи: приймачі прямого підсилення та супергетеродинні приймачі.

Первинна обробка прийнятого сигналу здійснюється в трьох основних ланках радіоприймального пристрою: високочастотному (ВЧ) тракті, детекторі і низькочастотному (НЧ) тракті.

У прямих підсилювачах, які приймають високу частоту, шлях, який є високочастотним, складається з селективного вхідного контуру (VK) і підсилювача радіочастоти (RFA), він має мінімальну кількість блоків, необхідних для виконання функцій радіоприймального пристрою. Унікальним атрибутом цього приймача є те, що частота сигналу, отриманого на частоті приймача, безпосередньо підсилюється і вибирається як частота приймача. Недоліком цього є наявність низької частотної вибіркової для сусіднього каналу, смуга пропускання приймача більша, ніж ширина спектру прийнятого сигналу.

Можливі дві різні схеми приймачів прямого підсилення:

1) Прямий підсилювач із позитивним зворотним зв'язком (мал. 1.1) має три істотні обмеження:

- додавання нової ручки регулювання;
- зменшення смуги пропускання приймача внаслідок підвищення чутливості;
- збільшення викривлення, яке не є лінійним через позитивне сам відгук.

Основні характеристики цього приймача такі:

- площинність коефіцієнта прямокутності $K_p(100) = 5 \dots 100$;
- чутливість $U_{vx} = 50 \dots 200$ мкВ;
- великий коефіцієнт нелінійних спотворень.

Відповідно до технічних характеристик необхідний рівень чутливості 3 мкВ, який цей приймач не може виконати.

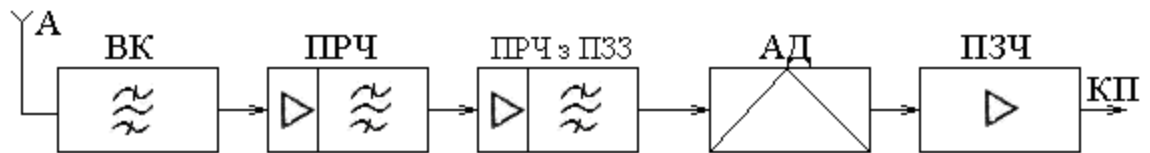


Рисунок 2.5 – Загальна структурна схема приймача прямого підсилення з позитивним зворотним зв'язком

На рисунку 2.5 показано наступні компоненти:

Вхідна схема: ВК,

ВК - це підсилювач радіочастотного каналу;

ПРЧ - це підсилювач радіочастоти з позитивним зворотним зв'язком;

АД - це детектор (амплітудний детектор);

ПЗЧ - це підсилювач звукової частоти;

КП - це кінцевий пристрій.

2) Приймач із супервідновленням (Рис. 1.2) легко побудувати, але будь-який зовнішній сигнал спричинить збудження гетеродина, тому цей тип приймача використовується лише на УКХ-станціях, які знаходяться в зоні прямої видимості без інших присутніх станцій, і лише для розмови.

Основні характеристики цього приймача такі:

- прямокутність коефіцієнта $K_p = 50 \dots 1000$;
- чутливість $U_{вх} = 2,5 \dots 50,0$ мкВ;
- Дуже великий коефіцієнт нелінійних спотворень.

Як видно, цей приймач є широкосмуговим і має високий коефіцієнт нелінійних спотворень, тому використовувати його недоцільно.

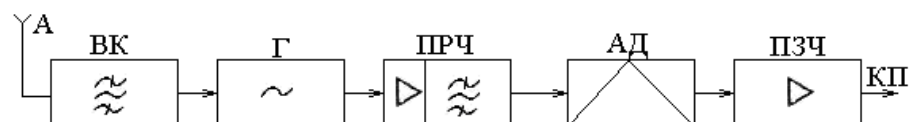


Рисунок 2.6 – Загальна структурна схема надрегенеративного приймача

На рисунку 2.5 показано наступні компоненти:

Г - це гетеродин;

ВК - це підсилювач радіочастотного каналу;

ПРЧ - це підсилювач радіочастоти з позитивним зворотним зв'язком;

АД - це детектор (амплітудний детектор);

ПЗЧ - це підсилювач звукової частоти;

КП - це кінцевий пристрій.

Коли частота прийому фіксована або досить низька, прямий підсилювач вільний від цих недоліків. Ця властивість є основою методу супергетеродинного приймача, найпростіша блок-схема якого зображена на рис. 2.6.

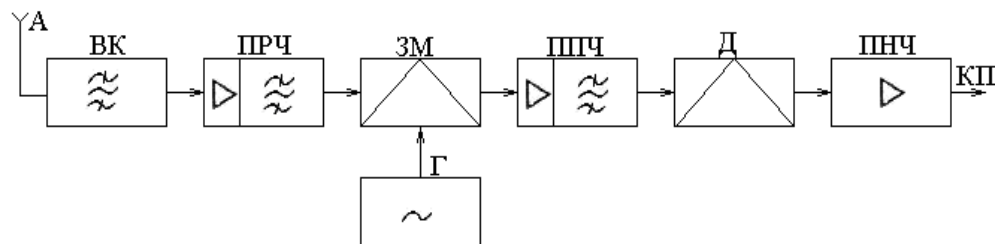


Рисунок 2.7 – Загальна структурна схема супергетеродинного приймача

Загальна структурна схема супергетеродинного приймача складається з таких блоків (рисунок 2.7):

ВК - це вхідне коло;

ПРЧ - це підсилювач радіочастоти;

ЗМ - цесмішувач;

ППЧ - це підсилювач проміжної частоти;

Д - це детектор;

ПНЧ - це підсилювач низької частоти;

Г - це гетеродин.

Супергетеродинний приймач — це гібридна система, яка поєднує каскад, який перетворює потужність у частоту, і прямий підсилювач, який

працює на певній частоті. Обов'язки цього одержувача делегуються ПФУ та наступним етапам.

Супергетеродинний приймач також зазнав негативного впливу. Зокрема, це наявність додаткових каналів отримання (паразитної) інформації та можливість появи комбінації свистків. Крім того, гетеродинний малопотужний передавач може негативно вплинути на прийом найближчих радіопристроїв.

Проте при конструюванні супергетеродинного приймача всі перелічені недоліки можуть бути значною мірою зменшені, а їх основне зменшення досягається раціональним вибором проміжної частоти і режиму роботи каскаду перетворювача. Переваги супергетеродинного приймача можна охарактеризувати як єдиний тип приймача, який може забезпечити високий коефіцієнт підсилення і вибірковість у всіх діапазонах радіочастот. Зокрема, основними параметрами є:

- Коефіцієнт прямокутності $K_p(100)$ становить 1,5...2,5.
- Чутливість $U_{vx} = 0,2 \dots 10$ мкВ;
- відносно невелика величина нелінійних спотворень.

Конкретну структурну схему, яка детально описує склад і взаємодію шляхів пристрою, можна отримати лише після попереднього розрахунку.

2.6.3 Просторове поділ робочої частоти на менші смуги.

Оскільки радіоприймальний блок працює на одній заздалегідь визначеній частоті, немає необхідності розділяти робочу частоту на окремі діапазони.

Призначений приймач матиме лише один доступний канал із частотою

$$f = 29,7 \text{ МГц.}$$

2.6.4 Розподіл заданої нерівномірності АЧХ у смузі пропускання по трактах приймача

Загальний коефіцієнт частотних спотворень

$$M_{\text{заг}} = M_{\text{ПЗЧ}} + M_{\text{ВЧ}}, \quad (2.8)$$

де $M_{\text{ПЗЧ}}$ - це частотні спотворення, що вносяться підсилювачем звукової частоти, дБ;

$M_{\text{ВЧ}}$ - це частотні спотворення, що вносить високочастотний тракт, дБ.

Частотні спотворення, що вносить високочастотний тракт із рахуванням подвійного перетворення частоти мають значення

$$M_{\text{ВЧ}} = M_{\text{БК}} + M_{\text{ПРЧ}} + M_{\text{ЗМ1}} + M_{\text{ППЧ1}} + M_{\text{ЗМ2}} + M_{\text{ППЧ2}}, \quad (2.9)$$

де $M_{\text{БК}}$ - це частотні спотворення, які внесені вхідним колом;

$M_{\text{ПРЧ}}$ - це частотні спотворення, які внесені підсилювачем радіочастоти;

$M_{\text{ЗМ1,2}}$ - це частотні спотворення, які внесені змішувачем, $M_{\text{ЗМ1,2}} = 1 \dots 2 \text{ дБ}$;

$M_{\text{ППЧ1,2}}$ - це частотні спотворення, які внесені підсилювачем проміжної частоти, $M_{\text{ППЧ1,2}} = 1 \dots 3 \text{ дБ}$;

Частотні спотворення у вхідному колі та в підсилювачі радіочастоти ми не враховуємо унаслідок того, що дані кола використані лише для настроювання частоти приймача. А тому ці електричні кола забезпечуватимуть вибірність за дзеркальним каналом.

Отже отримаємо

$$M_{\text{ВЧ}} = 1,5 + 1 + 1,5 + 1,5 = 5,5 \text{ дБ}.$$

Тоді частотні спотворення, які вносить низькочастотний тракт, будуть відповідно дорівнювати

$$M_{\text{ПЗЧ}} = M_{\text{заг}} - M_{\text{ВЧ}} [\text{дБ}], \quad (2.10)$$

$$M_{\text{ПЗЧ}} = 6 - 5,5 = 0,5 (\text{дБ}).$$

2.6.5 Початковий вибір компонентів, які посилюють і перетворюють

Ми будемо використовувати підсилювач радіочастоти на внутрішньому транзисторі мікросхеми приймача TDA7088T, який має такі властивості.

- напруга колектор-емітер = 15 В;
- сила струму, що протікає через колектор, становить 20 мА; це те саме, що є.
- опір насичення $R = 1 \text{ Ом}$;
- крутизна робочої точки $S = 7 \text{ мА/В}$;
- вхідна ємність 5 пФ;
- втрачена потужність $P_{\text{роз}} = 10 \text{ мВт}$.

Гетеродини, ми дослідимо практичність використання конкретного внутрішнього транзистора з такими властивостями:

- напруга колектор-емітер = 15 В;
- сила струму, що протікає через колектор, становить 20 мА; це те саме, що є.
- опір насичення $R = 1 \text{ Ом}$;
- крутизна робочої точки $S = 7 \text{ мА/В}$;
- вхідна ємність 5 пФ;
- втрати потужності $P_{\text{роз}} = 10 \text{ мВт}$.

2.6.6 Розрахунок дійсної чутливості та необхідного підсилення для високочастотного лінійного тракту приймача

Обчислимо коефіцієнти шуму приймача, прийнявши його наближено рівним коефіцієнту шуму першого каскаду [2]

$$K_{\text{ШВХ}} = \left(1 + \frac{1}{\frac{r_{\text{ex}}}{r_{\text{к}}}} \right) \cdot K_{\text{ШТР}}, \quad (2.11)$$

$$K_{ШВХ} = \left(1 + \frac{1}{\frac{50}{2}} \right) \cdot 1,3 = 1,35.$$

де $K_{ШТР}$ - це коефіцієнт шуму транзистора підсилювача радіочастоти (1 дБ або 1,1 раза);

$r_{ВХ}$ - це активний опір антенного кола, що рівний 50 Ом,

$r_{к}$ - це власний активний (хвильовий) опір коливального контуру.

Обчислимо величину реальної чутливості [2]

$$E_{AP} = 0,125 \gamma_{очм} \sqrt{r_A \cdot \Delta F_{np} \cdot K_{Ш}}, [\text{мкВ}], \quad (2.12)$$

$$E_{AP} = 0,125 \cdot 6,6 \sqrt{0,050 \cdot 6,6 \cdot 1,35} = 0,5 \text{ (мкВ)}.$$

де r_A - це активний опір антенного входу 50 Ом.

Обчислимо величину необхідного коефіцієнта підсилення високочастотного тракту приймача

$$K_{п.твч} = \frac{U_{m.вх}}{\sqrt{2} E_{mз}} * 10^6, \quad (2.13)$$

де $U_{m.вх}$ – це напруга на вході детектора.

За співвідношенням (1.19) матимемо

$$K_{п.твч} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{2} \cdot 5 \cdot 10^{-6}} * 10^6 = 88 \text{ дБ}.$$

2.6.7 Розрахунок підсилення трактів радіочастоти і проміжної частоти та уточнення його структури

Обчислимо величину коефіцієнта передачі по напрузі одноконтурного вхідного кола:

$$K_{BK} = 0,01 \cdot Q_c = 0,01 \cdot 166 = 2,2 \text{ дБ.}$$

Обчислимо величину коефіцієнта підсилення на верхній частоті

$$K_{\min} = \frac{K_{cm}}{k_o}, \quad (2.14)$$

де $K_{ст}$ – це коефіцієнт стійкого підсилення.

$$K_{cm} = 0,42 \sqrt{\frac{S}{2\pi \cdot f_{\max} \cdot C_{12}}} [\text{дБ}], \quad (2.15)$$

Матимемо

$$K_{cm} = 0,42 \sqrt{\frac{7 \cdot 10^{-3}}{2\pi \cdot 121,5 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-12}}} = 20 \text{ дБ.}$$

$$K_{\min} = \frac{20}{1,8} = 11,2.$$

Обчислимо величину коефіцієнту підсилення преселектора

$$K_{трч} = K'_{прч} \cdot K'_{вк} = 20 + 2,2 = 22,2$$

2.7 Розрахунок параметрів джерела живлення

Радіоприймач, який проектується, віднесений до класу стаціонарних. А тому як джерело живлення доцільно використати акумуляторний блок живлення з вихідною напругою 9 В.

Обчислимо величину загального струму, який споживається від джерела живлення [14],

$$I_{\text{спож}} = I_{\text{прч}} + I_{\text{зм1}} + I_{\text{ппч}} + I_{\text{д}} + I_{\text{зм2}} + I_{\text{ппч2}} \text{ (мА)}, \quad (2.16)$$

Матимемо

$$I_{\text{спож}} = 8 + 5 + 4 + 3 + 5 + 4 = 29 \text{ (мА)}.$$

Тоді потужність джерела живлення з урахуванням коефіцієнта запасу

$$P_{дж} = K_{зап} \cdot I_{спож.} \cdot U_{ж}; \quad (2.17)$$

де $K_{зап}$ - це коефіцієнт запасу, що обирається в межах 1,1..4,0.

Таким чином

$$P_{дж} = 4 \cdot 29 \cdot 10^{-3} \cdot 12 = 1,1 \text{ (Вт)}.$$

2.8 Розробка повної структурної схеми пристрою

На основі розрахунків з попереднього розділу ми створимо повну структурну схему супергетеродинного приймача, пристрою дистанційного керування радіостанцією, яка призначена для трансляції інформації, для частоти FM з одним перетворенням частоти.

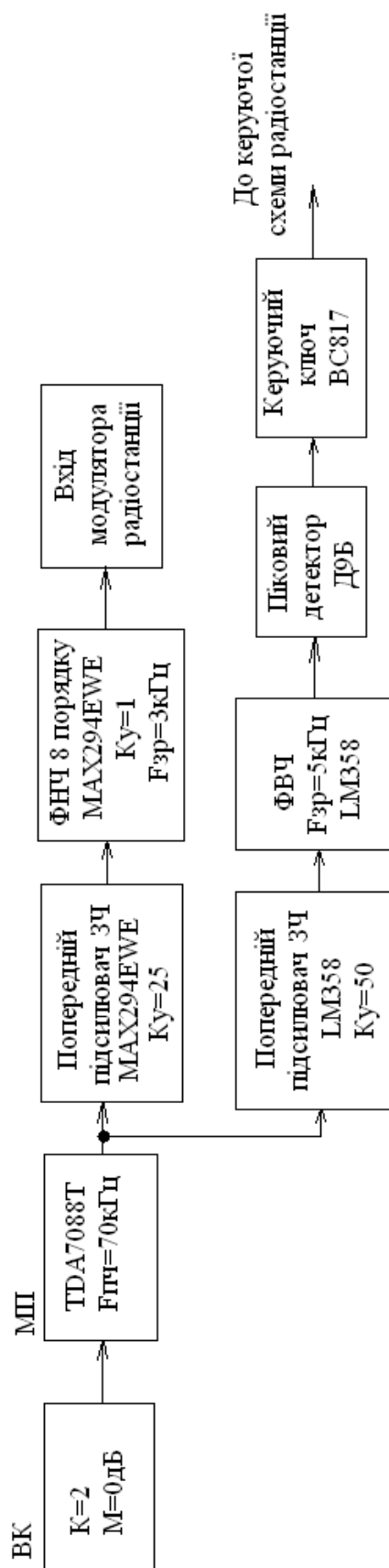


Рисунок.2.8 - Повна структурна схема приймача

3 ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

3.1 Електричний розрахунок каскаду кінцевого підсилення потужності

Каскад кінцевого підсилення потужності передавача виконаний у вигляді лише одного каскаду на транзисторній мікросбірці. Транзистор включено по схемі спільний емітер. Електричні розрахунки каскаду кінцевого підсилення потужності проведемо на робочій частоті $f_p = 29,7$ МГц.

Вихідні дані для розрахунку:

- потужність $P_1 = 11,75$ мВт;
- робоча частота $f_p = 29,7$ МГц;
- напруга живлення $E_k = 9$ В;
- кут відсікання колекторного струму $\theta = 90^\circ$.

Коефіцієнти Берга при $\theta = 90^\circ$ складають $\alpha_0 = 0,32$; $\alpha_1 = 0,5$.

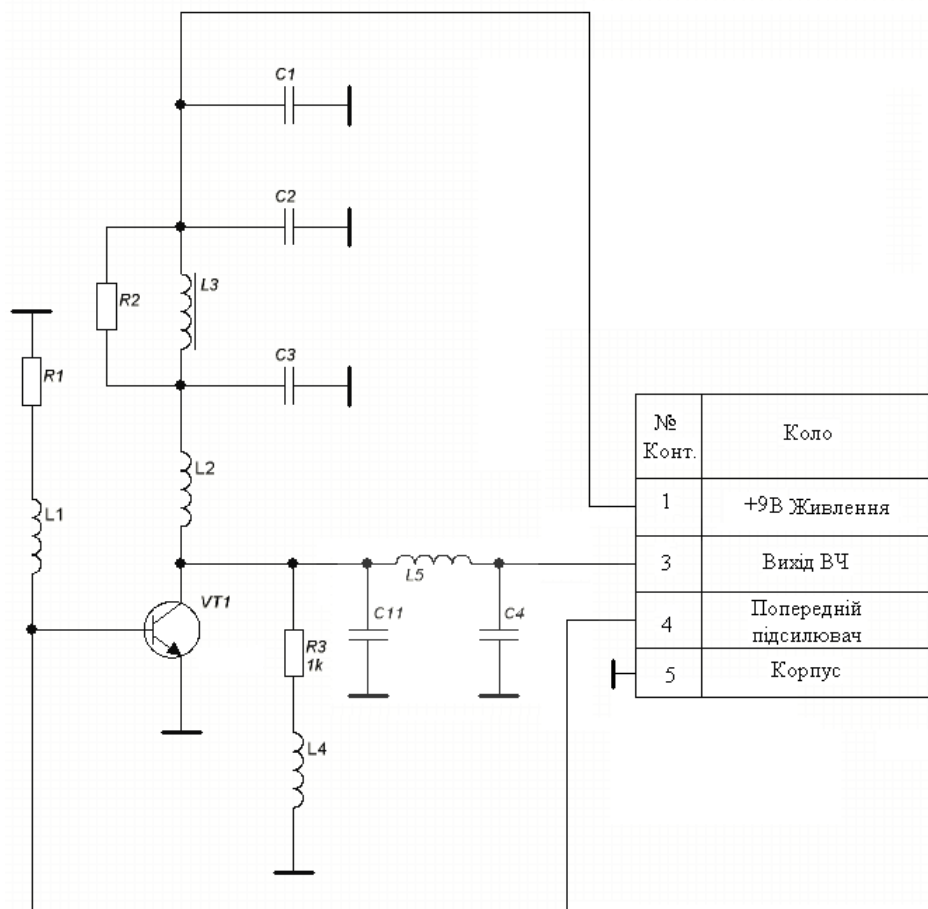


Рисунок 3.1 – Електрична схема каскаду кінцевого підсилення потужності

Обчислимо параметри елементів вихідного кола схеми підсилювача.

Амплітуда напруги на контурі

$$U_K = E_K \cdot \left(0,5 + 0,5 \cdot \sqrt{1 - \frac{8 \cdot r_{nac} \cdot P_1}{\alpha_1 \cdot E_k^2}} \right) [B], \quad (3.1)$$

$$U_K = 9 \cdot \left(0,5 + 0,5 \cdot \sqrt{1 - \frac{8 \cdot 0,25 \cdot 0,01}{0,5 \cdot 9^2}} \right) \approx 4,5(B),$$

Максимальна напруга колектора

$$E_{K\max} = E_K + U_K = 9 + 4,5 = 13,5B < U_{\text{дв}} = 15B,$$

Перша гармоніка струму колектора

$$I_{K1} = \frac{2P_1}{U_K} [A], \quad (3.2)$$

$$I_{K1} = \frac{2 \cdot 0,01}{4,5} = 4,5(мА).$$

Величина амплітуди імпульсу колекторного струму

$$I_K = \frac{I_{K1}}{\alpha_1} [A], \quad (3.3)$$

$$I_K = \frac{4,5}{0,5} = 9(мА).$$

Величина постійного струму колектора

$$I_{K0} = \alpha_0 \cdot I_{K\max} [A], \quad (3.4)$$

$$I_{K0} = 0,32 \cdot 9 = 2,88мА < I_{\text{Кдон}} = 150(мА).$$

Величина споживаної потужності і коефіцієнта корисної дії

$$P_0 = I_{K0} \cdot E_K [\text{MBm}], \quad (3.5)$$

$$P_0 = 2,88 \cdot 4 = 11,52 (\text{MBm}).$$

$$\eta = \frac{P_1}{P_0}, \quad (3.6)$$

$$\eta = \frac{10}{11,52} = 0,86.$$

Величина потужності, яка розсіюється на колекторі, становить

$$P_K = P_0 - P_1 [\text{MBm}], \quad (3.7)$$

$$P_K = 11,52 - 10 = 1,52 (\text{MBm}).$$

Величина еквівалентного опору навантаження складатиме

$$R_e = \frac{U_K^2}{2 \cdot P_1} = \frac{26^2}{2 \cdot 17,6} = 19,2 \text{ Ом}.$$

Наступним кроком здійсимо розрахунок елементів вхідного кола кінцевого підсилювача потужності.

Величина амплітуди струму бази

$$\aleph = 1 + \gamma_1(\Theta) \cdot 2\pi f_T \cdot C_K \cdot R_e = 1 + 0,3 \cdot 2\pi \cdot 570 \cdot 10^6 \cdot 200 \cdot 10^{-12} \cdot 19,2 = 3$$

$$I_d = \aleph \frac{\sqrt{1 + \left(\beta_0 \frac{f}{f_T} \right)^2}}{\beta_0 \cdot \gamma_1(\Theta)} \cdot I_{K1} [\text{A}], \quad (3.8)$$

$$I_d = 3 \cdot \frac{\sqrt{1 + \left(5 \cdot \frac{29,7}{570} \right)^2}}{5 \cdot 0,5} \cdot 9 = 0,008 (\text{A}).$$

Величина додаткового опору

$$R_{\partial} = \frac{\beta_0}{2\pi f_T C_e} [OM], \quad (3.9)$$

$$R_{\partial} = \frac{5}{2\pi \cdot 570 \cdot 3,3 \cdot 10^{-6}} = 0,5.$$

Величина максимальної зворотної напруги на емітерному переході

$$U_{\partial e \max} = \left| -I_{\partial} \cdot \frac{(1 + \cos(\Theta)) \cdot R_{\partial}}{\sqrt{1 + \left(\beta_0 \cdot f / f_T\right)^2}} + E_{\partial i \partial m} \right| [B], \quad (3.10)$$

$$U_{\partial e \max} = \left| -0,054 \cdot \frac{(1 + \cos(90^\circ)) \cdot 0,5}{\sqrt{1 + \left(5 \cdot 29,7 / 570\right)^2}} + 0,7 \right| = 2(B).$$

Величина постійної складової струмів бази та емітера

$$I_{\partial 0} = \frac{I_{K0}}{\beta_0} [mA], \quad (3.11)$$

$$I_{\partial 0} = \frac{I_{K0}}{\beta_0} = \frac{2,8}{5} = 0,56(mA).$$

$$I_{e0} = I_{K0} + I_{\partial 0} [A], \quad (3.12)$$

$$I_{e0} = 2,8 + 0,56 = 3,36(mA).$$

Величина напруги зміщення

$$E_{\partial} = -I_{\partial} \frac{\gamma_0 (\pi - \Theta) \cdot R_{\partial}}{\sqrt{1 + \left(\beta_0 \cdot f / f_T\right)^2}} + E_{\partial i \partial m} + I_{\partial} \cdot r_{\partial} + I_{e0} \cdot r_e [B], \quad (3.13)$$

$$E_{\partial} = -7,8 \frac{0,5 \cdot 1}{\sqrt{1 + \left(5 \cdot 29,7 / 570\right)^2}} + 0,056 + 0,17 \cdot 0,23 = -1,5B.$$

Величина вхідного опору

$$r_{\text{exce}} = \frac{1}{\aleph} \left[(1 + \gamma_1(\Theta) 2\pi f_T \cdot C_K \cdot R_e) \cdot r_{\delta} + r_e + \gamma_1(\Theta) 2\pi f_T L_e \right] [Om], \quad (3.14)$$

$$r_{\text{exce}} = \frac{1}{1,68} \left[(1 + 0,5 \cdot 2\pi \cdot 570 \cdot 10^6 \cdot 200 \cdot 10^{-12} \cdot 0,25 \cdot 1) \cdot 0,1 + 0,5 \cdot 2\pi \cdot 570 \cdot 10^6 \cdot 0,18 \cdot 10^{-9} \right] = 0,2(Om).$$

$$R_{\text{exce}} = \frac{1}{\aleph} \left[r_{\delta} + (1 - \gamma_1(\Theta) \beta_0) \cdot r_e \right] - r_{\text{exce}} + R_{\delta} [1 - \gamma_1(\Theta)] [Om], \quad (3.15)$$

$$R_{\text{exce}} = \frac{1}{1,68} [0,1 + 0] - 0,26 + 1 \cdot 0,5 = 0,3(Om).$$

$$r_{\text{ex}} = r_{\text{exce}} + \frac{R_{\text{exce}}}{1 + \left(\beta_0 \cdot \frac{f}{f_T} \right)^2} = 0,26 + \frac{0,32}{1 + \left(5 \cdot 78 / 570 \right)^2} \approx 0,2 Om.$$

$$r_{\text{ex}} = r_{\text{exce}} + \frac{R_{\text{exce}}}{1 + \left(\beta_0 \cdot \frac{f}{f_T} \right)^2} [Om], \quad (3.16)$$

$$r_{\text{ex}} = 0,26 + \frac{0,32}{1 + \left(5 \cdot 78 / 570 \right)^2} \approx 0,2(Om).$$

Величина вхідної потужності

$$P_{\text{ex}} = 0,5 \cdot I_{\delta}^2 \cdot r_{\text{ex}} [Bm], \quad (3.17)$$

$$P_{\text{ex}} = 0,5 \cdot 2,8^2 \cdot 0,2 = 5(mBm).$$

У роботі було використано коло зв'язку у вигляді паралельного коливального контуру на елементах С28, С29, С32 і L3 для узгодження еквівалентного навантаження активних елементів із опором антено-фідерного кола.

3.2 Електричний розрахунок каскаду попереднього підсилення

Вихідні дані для електричного розрахунку:

- потужність $P_{\text{вх.кк}} = 2,35 \text{ мВт}$;
- робоча частота $f_p = 29,7 \text{ МГц}$;
- напруга живлення $E_k = 9 \text{ В}$;
- кут відсікання колекторного струму $\theta = 90^\circ$.

Активний елемент підсилювача вже був обраний під час попереднього розрахунку структурної схеми передавача.

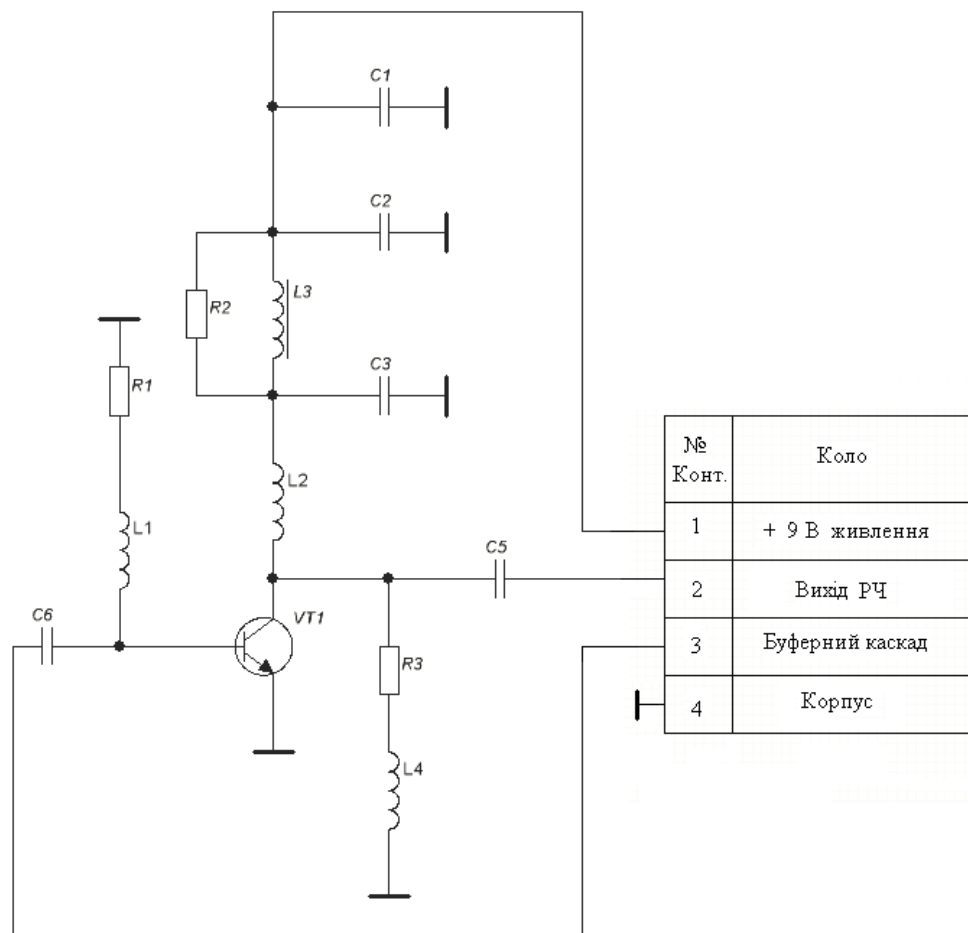


Рисунок 3.2 – Електрична схема каскаду попереднього підсилення

Здійснимо електричний розрахунок вихідного кола активного елемента

Обчислимо величину амплітуди контурної напруги

$$U_K = E_K \cdot \left(0,5 + 0,5 \cdot \sqrt{1 - \frac{8 \cdot r_{нас} \cdot P_1}{\alpha_1 \cdot E_K^2}} \right) [B], \quad (3.18)$$

$$U_K = 9 \cdot \left(0,5 + 0,5 \cdot \sqrt{1 - \frac{8 \cdot 0,25 \cdot 0,0023}{0,5 \cdot 9^2}} \right) \approx 3(B).$$

Обчислимо величину максимальної колекторно напруги

$$E_{K\max} = E_K + U_K = 9 + 3 = 12B < U_{\text{дв}} = 15B. \quad (3.19)$$

Обчислимо величину першої гармоніки струму колектора

$$I_{K1} = \frac{2P_1}{U_K} [A], \quad (3.20)$$

$$I_{K1} = \frac{2 \cdot 0,0023}{3} = 1,5(мА).$$

Обчислимо величину амплітуди імпульсу колекторного струму

$$I_K = \frac{I_{K1}}{\alpha_1} [A], \quad (3.21)$$

$$I_K = \frac{1,5}{0,5} = 3(мА).$$

Обчислимо величину постійного струму колектора

$$I_{K0} = \alpha_0 \cdot I_{K\max} [A], \quad (3.22)$$

$$I_{K0} = 0,32 \cdot 0,96мА < I_{\text{дон}} = 150(мА).$$

Обчислимо величину споживаної потужності та коефіцієнта корисної дії

$$P_0 = I_{K0} \cdot E_K [мВт], \quad (3.23)$$

$$P_0 = 0,96 \cdot 3 = 2,88(\text{мВт}).$$

$$\eta = \frac{P_1}{P_0}, \quad (3.24)$$

$$\eta = \frac{2,35}{2,88} = 0,81.$$

Обчислимо величину потужності, яка розсіюється на колекторі

$$P_K = P_0 - P_1[\text{мВт}], \quad (3.25)$$

$$P_K = 2,88 - 2,35 = 0,53(\text{мВт}).$$

Обчислимо величину еквівалентного опору навантаження

$$R_e = \frac{U_K^2}{2 \cdot P_1} = \frac{26^2}{2 \cdot 17,6} = 19,2 \text{ Ом} \quad (3.26)$$

Здійснимо розрахунок вхідного кола активного елемента.

Обчислимо величину амплітуди струму бази

$$\aleph = 1 + \gamma_1(\Theta) \cdot 2\pi f_T \cdot C_K \cdot R_e = 1 + 0,3 \cdot 2\pi \cdot 570 \cdot 10^6 \cdot 200 \cdot 10^{-12} \cdot 19,2 = 3.$$

$$I_{\delta} = \aleph \frac{\sqrt{1 + \left(\beta_0 \frac{f}{f_T} \right)^2}}{\beta_0 \cdot \gamma_1(\Theta)} \cdot I_{K1} [A], \quad (3.27)$$

$$I_{\delta} = 3 \cdot \frac{\sqrt{1 + \left(5 \cdot \frac{29,7}{570} \right)^2}}{5 \cdot 0,5} \cdot 9 = 0,008(A).$$

Обчислимо величину додаткового опору

$$R_{\delta} = \frac{\beta_0}{2\pi f_T C_e} [Ом], \quad (3.28)$$

$$R_d = \frac{5}{2\pi \cdot 570 \cdot 3,3 \cdot 10^{-6}} = 0,5.$$

Обчислимо максимальну зворотну напруга на емітерному переході

$$U_{\bar{o}e\max} = \left| -I_{\bar{o}} \cdot \frac{(1 + \cos(\Theta)) \cdot R_d}{\sqrt{1 + \left(\beta_0 \cdot f / f_T\right)^2}} + E_{\bar{e}i\partial m} \right| [B], \quad (3.29)$$

$$U_{\bar{o}e\max} = \left| -0,054 \cdot \frac{(1 + \cos(90^\circ)) \cdot 0,5}{\sqrt{1 + \left(5 \cdot 29,7 / 570\right)^2}} + 0,7 \right| = 2(B).$$

Обчислимо величину постійної складової струмів бази та емітерп

$$I_{\bar{o}0} = \frac{I_{K0}}{\beta_0} [mA], \quad (3.30)$$

$$I_{\bar{o}0} = \frac{I_{K0}}{\beta_0} = \frac{1,5}{5} = 0,3(mA).$$

$$I_{e0} = I_{K0} + I_{\bar{o}0} [A], \quad (3.31)$$

$$I_{e0} = 2,8 + 0,3 = 3,1(mA).$$

Обчислимо величину напруги зміщення

$$E_{\bar{o}} = -I_{\bar{o}} \frac{\gamma_0 (\pi - \Theta) \cdot R_d}{\sqrt{1 + \left(\beta_0 \cdot f / f_T\right)^2}} + E_{\bar{e}i\partial m} + I_{\bar{o}} \cdot r_{\bar{o}} + I_{e0} \cdot r_e [B], \quad (3.32)$$

$$E_{\bar{o}} = -7,8 \frac{0,5 \cdot 1}{\sqrt{1 + \left(5 \cdot 29,7 / 570\right)^2}} + 0,6 + 0,3 \cdot 0,23 = -1,4B.$$

Обчислимо величину вхідного опору

$$r_{\text{вхce}} = \frac{1}{\gamma_1} \left[(1 + \gamma_1(\Theta) 2\pi f_T \cdot C_K \cdot R_e) \cdot r_{\bar{o}} + r_e + \gamma_1(\Theta) 2\pi f_T L_e \right] [Ом], \quad (3.33)$$

$$r_{\text{вхce}} = \frac{1}{1,68} \left[(1 + 0,5 \cdot 2\pi \cdot 570 \cdot 10^6 \cdot 200 \cdot 10^{-12} \cdot 0,25 \cdot 1) \cdot 0,1 + 0,5 \cdot 2\pi \cdot 570 \cdot 10^6 \cdot 0,18 \cdot 10^{-9} \right] = 0,2(Ом).$$

$$R_{\text{вхce}} = \frac{1}{\gamma_1} \left[r_{\bar{o}} + (1 - \gamma_1(\Theta) \beta_0) \cdot r_e \right] - r_{\text{вхce}} + R_o [1 - \gamma_1(\Theta)] [Ом], \quad (3.34)$$

$$R_{\text{вхce}} = \frac{1}{1,68} [0,1 + 0] - 0,26 + 1 \cdot 0,5 = 0,3(Ом).$$

$$r_{\text{вх}} = r_{\text{вхce}} + \frac{R_{\text{вхce}}}{1 + \left(\beta_0 \cdot \frac{f}{f_T} \right)^2} = 0,26 + \frac{0,32}{1 + \left(5 \cdot \frac{78}{570} \right)^2} \approx 0,2(Ом).$$

$$r_{\text{вх}} = r_{\text{вхce}} + \frac{R_{\text{вхce}}}{1 + \left(\beta_0 \cdot \frac{f}{f_T} \right)^2} [Ом], \quad (3.35)$$

$$r_{\text{вх}} = 0,26 + \frac{0,32}{1 + \left(5 \cdot \frac{29,7}{570} \right)^2} \approx 0,2(Ом).$$

Обчислимо величину вхідної потужності

$$P_{\text{вх}} = 0,5 \cdot I_{\bar{o}}^2 \cdot r_{\text{вх}} [Вт], \quad (3.36)$$

$$P_{\text{вх}} = 0,5 \cdot 0,5^2 \cdot 0,2 = 0,025(мВт)$$

Використовуємо коло зв'язку у вигляді паралельного коливального контуру на елементах C24, C25, C27 і L2 для узгодження еквівалентного навантаження активних елементів із еквівалентним опором антено-фідерного кола.

3.3 Електричний розрахунок вхідного кола радіоприймального модуля

Здійсимо електричний розрахунок вхідного кола із ємнісним зв'язком з антеною.

Вихідні данні для розрахунку:

Межі зміни ємності контуру $C_{\max} - C_{\min} = 5 - 10 \text{ нФ}$

Робоча частота - $F = 29,7 \text{ МГц}$

Величина хвильових параметрів антени - $R_A = 50 \text{ Ом}, C_A = 5 \text{ нФ}$

Величина еквівалентної добротності вхідного кола – 6.

Смуга пропускання вхідного кола 1 МГц.

Обчислимо величину індуктивності котушки коливального контуру

$$L = \frac{2.53 \cdot 10^{10}}{f_{\min}^2 \cdot C_{e.\max}} [\text{мкГн}] \quad (3.37)$$

$$L = \frac{2.53 \cdot 10^{10}}{(1215000)^2 \cdot 7,5} = 0,22 \text{ мкГн}.$$

Обчислимо величину необхідну величину власної добротності контуру

$$Q_k = 1,25 \cdot Q_E, \quad (3.38)$$

$$Q_k = 1,25 \cdot 6 = 7,5.$$

Отримана величина власної добротності контуру конструктивно виконувана.

Приймаємо значення її величини $Q_k = 8$.

Обчислимо величину опору втрат коливального контуру. Для цього обчислимо величину характеристичного опору контуру.

$$\rho = 6.28 \cdot f_{\min} L [\text{Ом}], \quad (3.39)$$

$$\rho = 6,28 \cdot 121,5 \cdot 10^6 \cdot 0,22 \cdot 10^{-6} = 120 (\text{Ом}).$$

Тоді опір втрат коливального контуру

$$R_k = \frac{\rho}{Q_k}, \quad (3.40)$$

$$R_k = \frac{120}{8} = 15.$$

Обираємо величину ємності зв'язку $C_{3B} = 1n\Phi$

Обчислимо величину ємності коливального контуру з врахуванням впливу антени [15]

$$C_{E\max} = C_E + \frac{C_A C_{3B}}{C_A + C_{3B}} [n\Phi], \quad (3.41)$$

$$C_{E\max} = 5 + \frac{5 \cdot 1}{5 + 1} = 5,83(n\Phi)$$

3.4 Електричний розрахунок амплітудного детектора

На рисунку 3.2 показана електрична схема амплітудного детектора. Послідовність електричного розрахунку амплітудного детектора наведена в роботі [15].

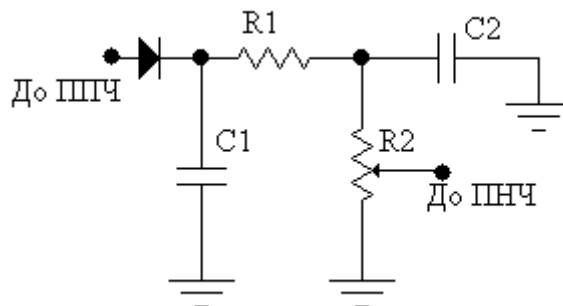


Рисунок 3.2 – Електрична ехема амплітудного детектора

Вихідні дані для розрахунку:

- робоча частота $f=5$ кГц;
- вхідний опір амплітудного детектора $R_{\text{вх.д}} = 4,6 \text{ кОм}$;
- вхідний опір каскаду підсилювача низьких частот $R_{\text{вх.нч}} = 2,4 \text{ кОм}$;
- діапазон сигналів звукових частот людської мови $F = 0,3 - 3 \text{ кГц}$;
- тип діода GD72E4;
- коефіцієнт передачі по напрузі амплітудного детектора $K_{\text{д}} = 0,3$;
- вхідна напруга амплітудного детектора $U_{\text{вх.д}} = 0,2 \text{ В}$.

У результаті електричних розрахунків потрібно визначити:

- чисельні значення опорів навантаження R_1, R_2 ;
- чисельні значення ємностей конденсаторів C_1, C_2 .

Обчислимо величину опора навантаження амплітудного детектора, враховавши, що для діода GD72E4

$$R_{\text{зб}} \approx R_{\text{пр}},$$

$$R_{\text{д}} = 2K_{\text{д}}R_{\text{вх}}[\text{Ом}], \quad (3.42)$$

$$R_{\text{д}} = 2 \cdot 0,3 \cdot 4,6 = 2,76(\text{кОм}).$$

Оскільки опір навантаження амплітудного детектора одного порядку з вхідним опором підсилювача низької частоти, тому чисельні значення опорів подільника R_1, R_2 визначаються по діаграмі повних опорів.

Прийmemo як $R_2 = 1,2 \text{ кОм}$ резистор змінного опору типу СПО-2 2 Вт 10к.

Обчислимо величину опору R_1

$$R_1 = R_{\text{д}} - R_2[\text{Ом}], \quad (3.43)$$

$$R_1 = 2,76 - 1,2 = 1,56(\text{кОм})$$

Приймаємо як опір навантаження $R_1=1,5\text{кОм}$ резистор типу С2-23-0,25Вт-1,5кОм.

Обчислимо величину загального опору змінному струму

$$R_{H\Box} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_{\text{вх.н}}}{R_2 + R_{\text{вх.н}}} [\text{Ом}],$$

$$R_{H\Box} = 1.5 + \frac{1.2 \cdot 2.4}{1.2 + 2.4} = 2.3 (\text{кОм})$$

Обчислимо величину опору навантаження постійному струму

$$R_{H\Box} = R_1 + R_2 [\text{Ом}], \quad (3.44)$$

$$R_{H\Box} = 1.5 + 1.2 = 2.7 (\text{кОм}).$$

Оскільки

$$\frac{R_{H\Box}}{R_{H=}} = \frac{2,3}{2,7} = 0,85 > 0,8$$

тому нелінійні спотворення не будуть перевищувати норми.

Обчислимо величину еквівалентної ємності, яка шунтує вхідний опір амплітудного детектора

$$C_E \leq \frac{240 \cdot 10^3}{F_{B(\text{кГц})} \cdot R_{=(\text{кОм})}} [n\Phi], \quad (3.45)$$

$$C_E = \frac{240 \cdot 10^3}{5 \cdot 2,7} = 14,8 \cdot 10^3 n\Phi$$

Обчислимо величину ємності C_2 , яка забезпечить фільтрування сигналів тональної частоти

$$C_2 \leq \frac{240 \cdot 10^3}{F_{np(\text{МГц})} \cdot R_{2(\text{кОм})}} [n\Phi], \quad (3.46)$$

$$C_2 = \frac{240 \cdot 10^3}{0,455 \cdot 1,2} = 1,5 \cdot 10^3 (n\Phi)$$

приймаємо значення $C_2 = 1,5 n\Phi$.

Обчислимо величину ємності C_1

$$C_1 = C_E - C_2, \quad (3.47)$$

$$C_1 = C_E - C_2 [muc.n\Phi],$$

$$C_1 = 14,8 - 1,5 = 13,3 (muc.n\Phi)$$

Оскільки величина $C_E' = 13300 < C_E = 14800 n\Phi$, то розрахунок виконаний правильно.

4 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

4.1 Комп'ютерне моделювання ФВЧ

Для проведення моделювання можна використовувати кілька програм. Серед учасників Electronics Workbench, Circuit Master, Microcap Evaluation, MatLab, Orcad, FilterLab, RFSim99 та інші. У результаті має бути визначена місія оптимальної програмної програми для моделювання. Програма повинна мати простий інтерфейс, який забезпечує легкий доступ до окремих компонентів, швидкий час відгуку, точні вихідні дані та відсутність вимог до реєстрації. У результаті ми будемо використовувати програмне забезпечення filterwiz. Ця програма сприяє швидкому створенню схеми, яка досягає мети, яка повністю відповідає передбачуваний меті з точки зору точності.

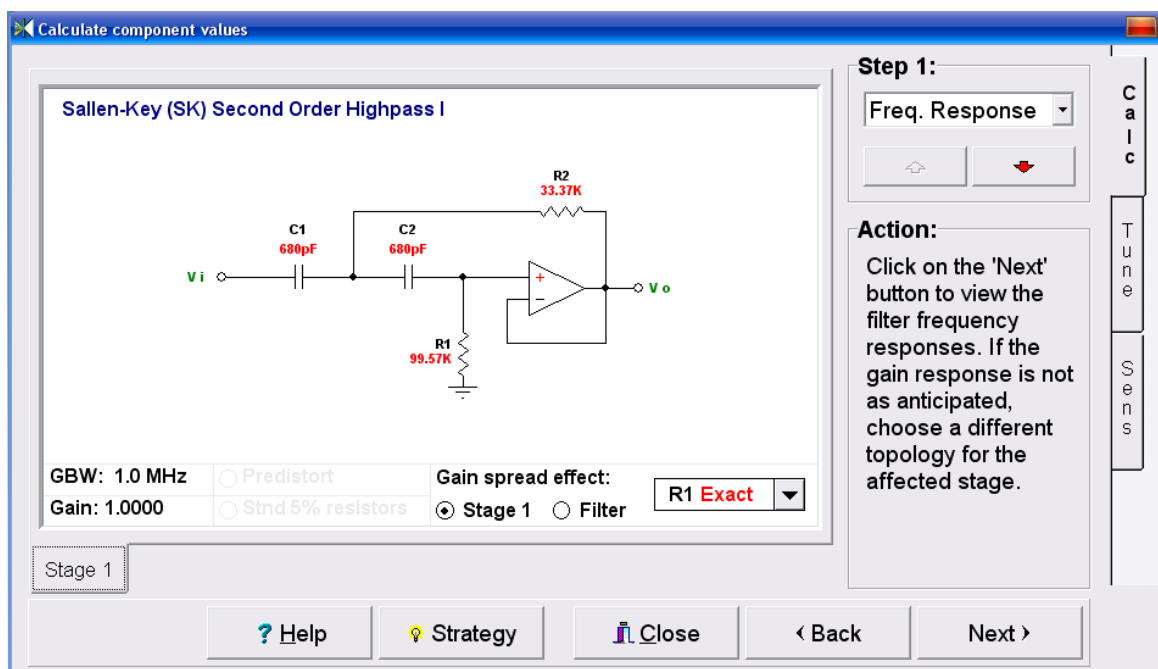


Рисунок 4.1 – Досліджуваний ФВЧ

АЧХ зображено на рисунках 4.1 – 4.2 відповідно.

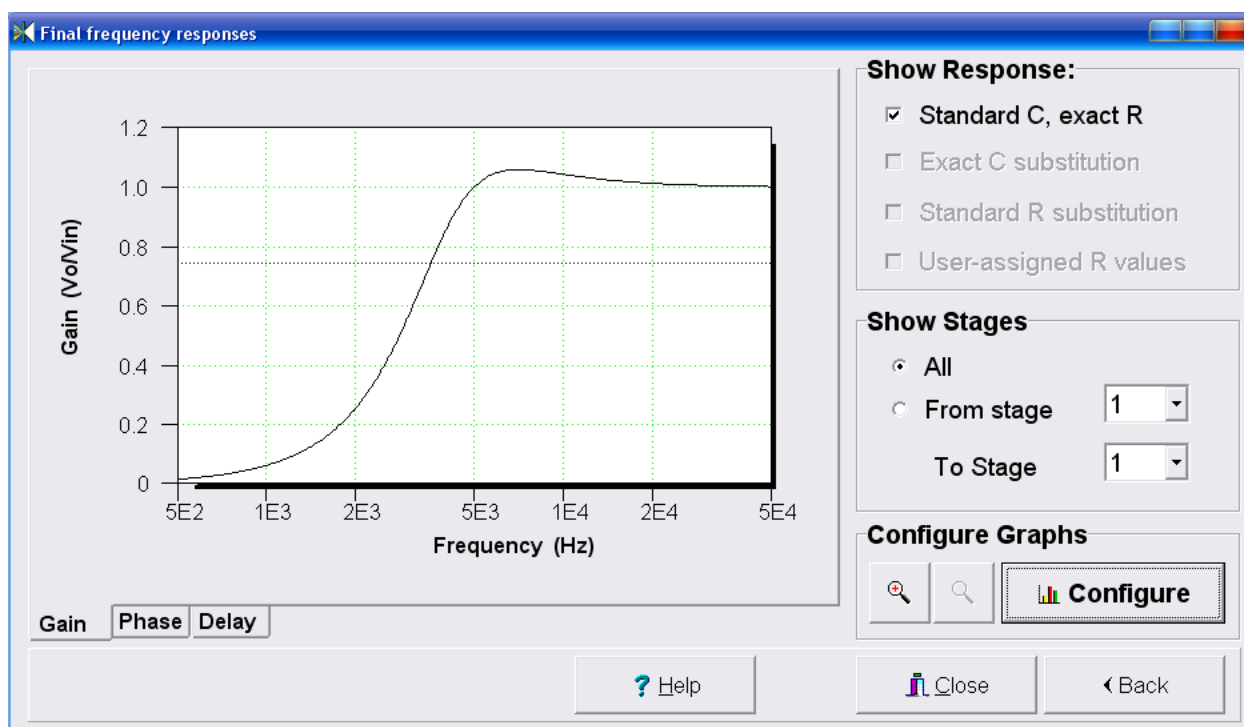


Рисунок 4.2 – АЧХ досліджуваного ФВЧ

Розглянувши малюнки 4.1 - 4.2, можна зробити висновок, що розроблений високочастотний фільтр є працездатним, тобто його рекомендовано використовувати в бездротовому пристрої дистанційного керування для радіозв'язку з радіостанцією.

5 РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ ТА НАДІЙНОСТІ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

5.1 Конструктивний розрахунок друкованої плати

Вихідні дані для розрахунку:

- способи виготовлення плит: комбінований позитивний;
- спосіб отримання малюнка: фотохімічний;
- Мінімальна відстань між монтажними отворами: 2,5 мм;
- висота сітки: 2,5 мм;
- розмір площі контакту: круглий;
- кількість друкованих плат у першому класі: перший клас;
- фоторезист: сухий, твердий;
- максимальна швидкість потоку через провідник: 0,3 А.

Тип плати двосторонній, внаслідок чого двосторонні друковані плати мають такі властивості: мають високий ступінь електропровідності; їх штифт з'єднаний з іншою стороною плати. Крок сітки по ГОСТ 10317-79 2,5 мм.

Товщина друкованої плати визначається товщиною вихідного матеріалу і змінюється залежно від базового елемента та фактичного механічного навантаження. За вихідну точку було обрано скловолокно SF2 - 35 товщиною 1,5 мм.

Здійснимо розрахунок величини параметрів електричних з'єднань. Виходячи із технологічних можливостей виробництва друкованих плат ми обрали комбінований метод виготовлення і перший клас точності [10].

Величина мінімальної ширини друкованого провідника електричного кола за постійним струмом визначається

$$b_{\min 1} = \frac{I_{\max}}{j_{\partial on} \cdot t}, \quad (5.1)$$

де $I_{\max}$ – це максимальний постійний струм, який протікає в провідниках, А;

$j_{\text{дон}}$ – це допустима густина струму провідності, А/мм²;

t – це товщина провідника, мм.

При товщині провідника $t=35\text{мкм}$, допустима густина струму провідності буде

$$j_{\text{дон}} = 48 \text{ А/мм}^2.$$

Тоді, при максимальному струмові $I_{\max} = 0,3\text{А}$, мінімальна ширина провідника

$$b_{\min 1} = \frac{0,3}{48 \cdot 0,035} = 0,18 \text{ (мм)}.$$

Виходячи із допустимого падіння напруги величина мінімальної ширини провідника обчислюється за формулою

$$b_{\min 2} = \frac{p \cdot I_{\max}}{l \cdot U_{\text{дон}}}, \quad (5.2)$$

де p – це питомий об'ємний опір матеріалів провідників, що має розмірність Ом·мм²/м;

l – це довжина провідника, м;

$U_{\text{дон}}$ – це допустиме значення падіння напруги. В.

Тоді, при питомому об'ємному опорі провідників $p=0,0175\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, і довжині провідника $l=0,15\text{м}$ матимемо

$$U_{\text{дон}} = 0,3 \text{ В}.$$

$$b_{\min 2} = \frac{0,0175 \cdot 0,1}{0,15 \cdot 0,3} = 0,04 \text{ (мм)}.$$

Величина мінімальної ширини провідників для двосторонніх друкованих плат, які виготовлені комбінованим позитивним методом з

використанням фотохімічного методу отримання рисунку обчислюється за співвідношенням

$$b_{\min} = b_{\min 1} + 1,5 \cdot t + 0,03. \quad (5.3)$$

Отже,

$$b_{\min} = 0,18 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 0,26 \text{ (мм)}.$$

Таким чином було прийнято величину ширину провідників $b = 0,4 \text{ мм}$.

Обчислюємо величину номінального значення діаметрів монтажних отворів d за співвідношенням

$$d = d_B + d_{H.B} + r, \quad (5.4)$$

де d_B — це значення максимального діаметра виводу встановлюваних елементів, мм;

$d_{H.B.}$ — це значення нижнього відхилення від номінального діаметру монтажною отвору, мм;

r — це різниця між величиною мінімального діаметра отвору та максимального діаметра виводу елемента, мм;

Згідно довідникових даних із [10],

$$d_{H.B.} = 0,05 \text{ мм}, r = 0,2 \text{ мм}.$$

Величина діаметра виводів елементів, що буду використані при виготовленні пристрою становить $0,6 \text{ мм}$.

Обчислюємо величину номінального значення діаметрів отворів

$$d = 0,6 + 0,05 + 0,2 = 0,85 \text{ (мм)}.$$

Отримане значення d зводимо до стандартного значення. Тому приймаємо, що $d = 1,0 \text{ мм}$.

Обчислюємо величину мінімального діаметра контактних площадок для двосторонніх друкованих плат, що будуть виготовлені комбінованим позитивним методом із застосуванням фотохімічного методу отримання рисунка

$$D_{\min} = D_{1\min} + 1,5 \cdot t_{\phi} + 0,03, \quad (5.5)$$

де t_{ϕ} – це товщина фольги в мм;

$D_{1\min}$ – це значення мінімального ефективного діаметра площадки, що визначається за співвідношенням

$$D_{1\min} = 2 \cdot \left(b_m + \frac{d_{\max}}{2} + \delta_d + \delta_p \right), \quad (5.6)$$

де b_m – це відстань від краю отвору до краю контактної площадки в мм,

δ_d , δ_p – це величини допусків відповідно на розташування отворів та контактних площадок у мм;

$d_{\max}$ – це величина максимального діаметра отвору, що обчислюється за співвідношенням

$$d_{\max} = d + d_{H.B.} + (0,1 \dots 0,15), \quad (5.7)$$

де d – це діаметр отвору в мм;

Оскільки $t_{\phi}=0,035$ мм, а із [], $b_m=0,035$ мм, $\delta_d=0,08$ мм, $\delta_p=0,02$ мм, тоді величина максимального діаметра отвору буде становити

$$d_{\max 1} = 1,0 + 0,05 + 0,15 = 1,2 \text{ (мм)},$$

$$D_{1\min 1} = 2 \cdot \left(0,035 + \frac{1,2}{2} + 0,08 + 0,2 \right) = 1,83 \text{ (мм)}.$$

Таким чином, величина діаметру контактних площадок

$$D_{\min 1} = 1,83 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 1,91 \text{ (мм)}.$$

Величина максимального діаметру контактних площадок обчислюється за співвідношенням

$$D_{\max} = D_{\min} + (0,02 \dots 0,06), \quad (5.8)$$

$$D_{\max 1} = 1,91 + 0,02 = 1,93 \text{ (мм)}.$$

Величина мінімальної відстані між двома контактними площадками обчислюється за співвідношенням

$$S_{\min} = L_0 - (D_{\max} + 2 \cdot \delta_p), \quad (5.9)$$

де L_0 – це величина відстані між центрами контактних площадок у мм.

$$S_{\min} = 2,5 - (1,93 + 2 \cdot 0,2) = 0,17 \text{ (мм)}.$$

Отже, отримані величини параметрів друкованого монтажу відповідають вимогам, які висуваються до плат 1-го класу точності [10].

5.2 Розрахунок надійності друкованої плати по раптовим відмовам

Надійність - це здатність пристрою виконувати свої функції за призначенням, яка визначається як його надійністю, так і ремонтпридатністю. Надійність вважається характеристикою пристрою, який може продовжувати належним чином функціонувати за певних умов протягом певного періоду часу.

Помилки класифікуються як раптові або поступові. Останні є результатом негайної зміни специфікацій пристрою. Поступові збої представлені змінами, які відбуваються протягом певного періоду часу.

Імовірність відсутності збоїв у роботі елемента $P(t)$ або системи $PS(t)$ називається ймовірністю безвідмовної роботи.

$$P(t) = P(t) \geq T, \quad (5.10)$$

де T – час від початкового спрацювання до першої відмови.

Ймовірність відмови пристрою в момент часу t називається ймовірністю відмови за певних умов, якщо відмова відбудеться через проміжок часу, що не перевищує заданої тривалості.

Якщо функція $q(t)$ є диференційованою, то на розподіл кількості пристроїв, що працюють протягом заданого часу, впливає з

$$w(t) = \frac{dq(t)}{d_q(t)} = \frac{dP(t)}{d_q(t)}, \quad (5.11)$$

Інтенсивність відмови $L(t)$ це щільність імовірності умови виникнення відмови. Середній час напрацювання на відмову пристрою обчислюється за співвідношенням

$$T_{CP} = t \int_0^{1t} tw(t)dt, \quad (5.12)$$

Таким чином, величина імовірності безвідмовної роботи $P(t)$ пристрою

$$P(t) = e^{-L(t)t}, \quad (5.13)$$

Час напрацювання на відмову пристрою за мови експоненціальному закону розподілу можна обчислити за співвідношенням

$$T_{CP} = \frac{1}{L_0}, \quad (5.14)$$

При визначенні надійності системи за допомогою відомих показників надійності її компонентів висуваються дві гіпотези про відмову: відмова

компонентів не залежить від статичного стану, і будь-яка відмова компонента призведе до відмови системи. Такий тип системи називають асеквенційною. У цьому випадку ймовірність продукту можна помножити на ймовірність

$$P_{CP} = \sum_{i=1}^n P_i(t) \quad (5.15)$$

де $P_i(t)$ – це величина імовірності безвідмовної роботи i -го елементу;

n – це кількість комплектуючих елементів пристрою.

За умови експоненціального закону розподілу величину імовірності безвідмовної роботи елемента $P_c(t)$ зручно обчислити за співвідношенням

$$P_{CP}(t) = \sum_{j=1}^m e^{-L_j(t) \cdot m_j \cdot t}, \quad (5.16)$$

де L_j – це величина інтенсивності відмови j -ої групи елементів;

N_j – це кількість елементів у j -й групі;

t – це кількість груп елементів із рівною надійністю.

По зазначеному співвідношенню здійснюємо розрахунок приблизного значення надійності пристрою. При більш точному розрахунку потрібно враховувати вплив умов експлуатації пристрою, температури, вологості та електричного режиму [11].

Величини коефіцієнтів навантаження елементів обрані такими:

- для діодів $K_n=0,6$;
- для резисторів $K_n=0,6$;
- для конденсаторів $K_n=0,6$;
- для мікросхем $K_n=0,9$.

Таблиця 5.1 – Інтенсивності відмов груп елементів

Г Група елементів	Кількість елементів	Інтенсивність відмови, 1/год	Час безвідмовної роботи, год.
1. Діоди	1	$0,09 \cdot 10^{-6}$	$125 \cdot 10^6$
1.Конденсатори постійної ємності	12	$2,25 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^6$
2.Конденсатори електролітичні	4	$3,4 \cdot 10^{-6}$	$1,53 \cdot 10^6$
3. Мікросхеми	12	$11,08 \cdot 10^{-6}$	$0,245 \cdot 10^6$
4. Пайка	142	$0,8 \cdot 10^{-6}$	$50 \cdot 10^6$
5.Резистори постійні	38	$0,34 \cdot 10^{-6}$	$7,14 \cdot 10^6$
6.Резистори підстроювальні	2	$0,26 \cdot 10^{-6}$	$62,5 \cdot 10^6$
7. Роз'єм	2	$0,09 \cdot 10^{-6}$	$43 \cdot 10^6$
		$\Sigma = 18,31 \cdot 10^{-6}$	$\Sigma = 0,055 \cdot 10^6$

U

Графік залежності імовірності безвідмовної роботи $P(t)$ розробленого пристрою матиме вигляд, який показаний на рис. 5.1.

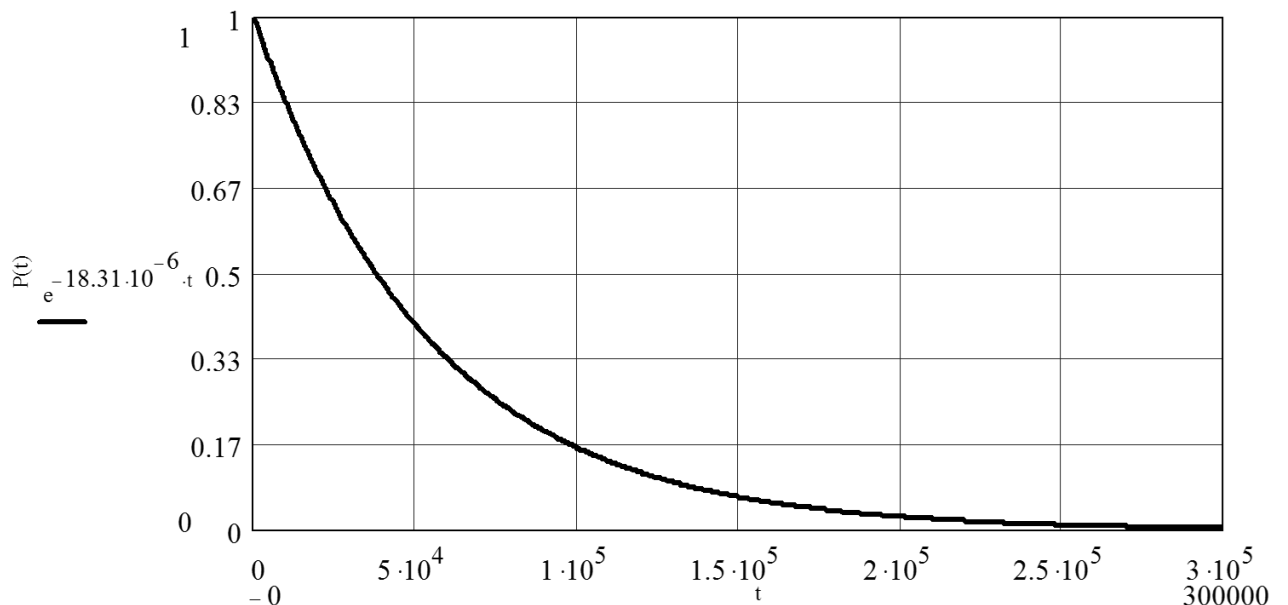


Рисунок 5.1 – Графік імовірність безвідмовної роботи розробленого пристрою як функція часу

Умови індивідуального завдання виконані, оскільки величина розрахованого середнього часу напрацювання на відмову становить 55 тис. год., що значно більше за задане значення $T_{cp}=10$ тис. год.

Розробка топології друкованої плати проводилася за допомогою графічного редактора друкованих плат – P-CAD PCB 2004. Розміри плати становлять 250*125мм. Файл проекту друкованої плати має розширення *.pcb і містить інформацію про загальний вигляд плати, провідники на верхній та нижній стороні плати, перехідні отвори, посадочні місця елементів [12], [13].

Створення топографії друкованої плати виконано за допомогою графічного редактора друкованої плати P-CAD PCB 2004. Розміри плати 250*125 мм (рис. 5.2 – 5.4). Файл дизайну друкованої плати має розширення *.pcb, яке містить інформацію про загальний вигляд плати, верхній і нижній провідники, переходи та розташування елементів.

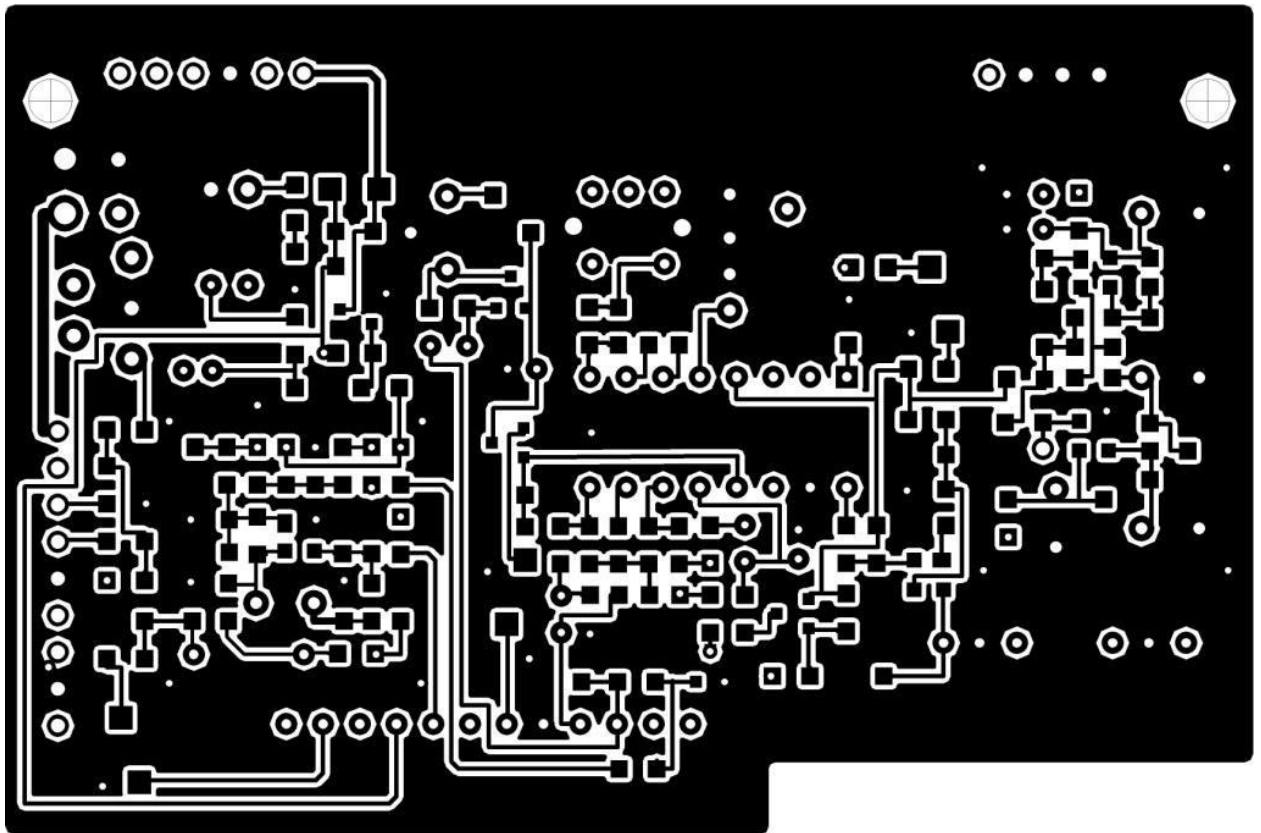


Рисунок 5.2 – Топологія друкованої плати передавального модуля

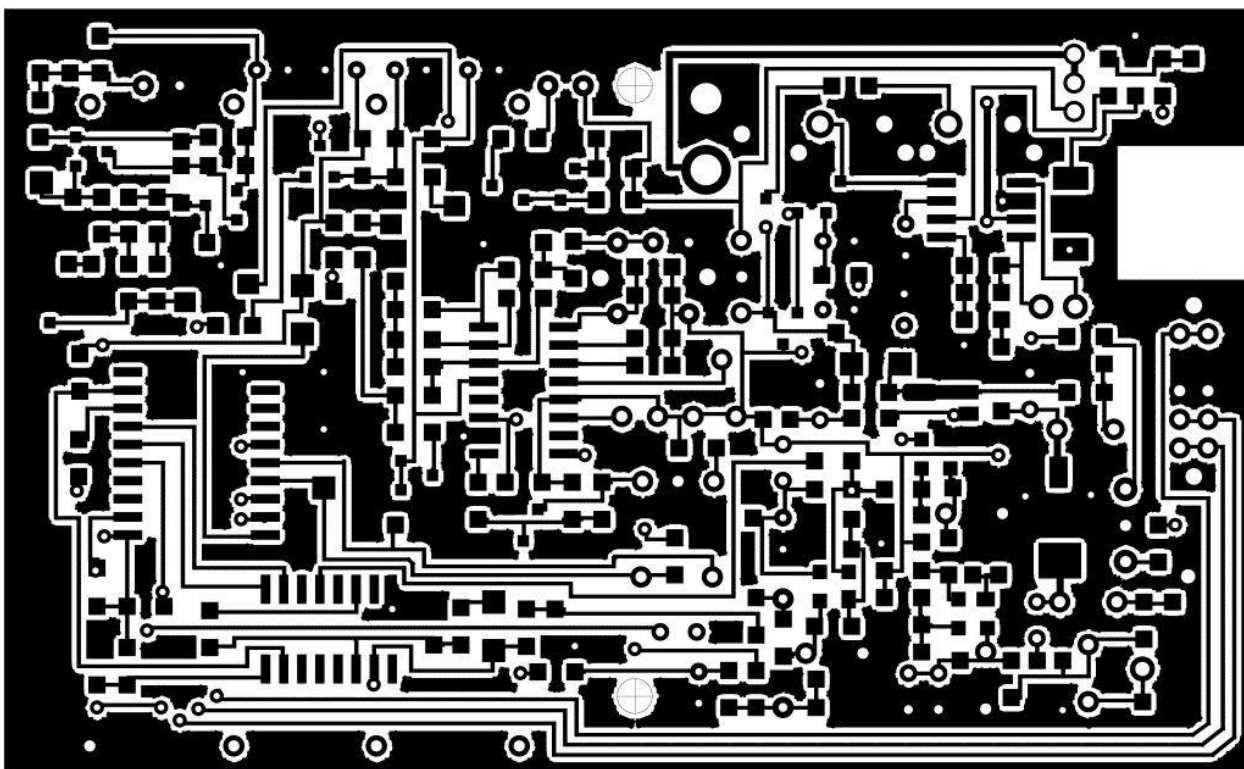


Рисунок 5.3 – Топологія друкованої плати приймального модуля

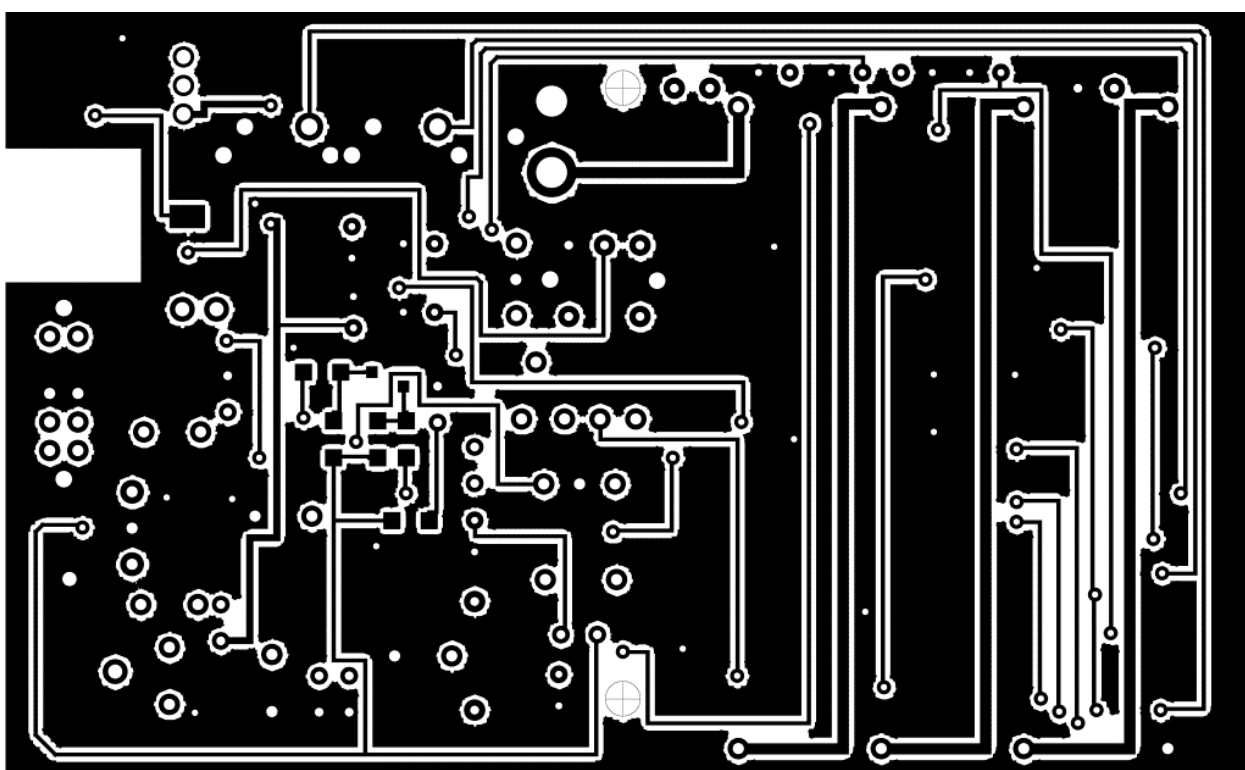


Рисунок 5.4 – Топологія друкованої плати блоку живлення

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – це комплексна система, що виходить далеко за межі простого забезпечення безпеки на робочому місці. Вона охоплює широкий спектр заходів, спрямованих на запобігання професійним захворюванням, організацію оптимальних умов праці, включаючи належний відпочинок і харчування, надання працівникам необхідних засобів індивідуального захисту та гігієни, а також гарантування соціальних пільг і прав. Впровадження ефективної системи охорони праці та застосування мотиваційних інструментів демонструє турботу керівництва про свій персонал, підвищує їхню впевненість, що своєю чергою, сприяє зниженню плинності кадрів та забезпеченню стабільності підприємства. Саме тому інвестиції в охорону праці є стратегічно важливими для довгострокового успіху будь-якої організації.

Розробка пристрою бездротового керування радіозв'язковою радіостанцією здійснювалося в приміщенні, яке обладнане комп'ютеризованими робочими місцями. На розробника відповідно до Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», мали вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [17]:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищена чи понижена вологість повітря; підвищений рівень статичної електрики; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; пряма і відбита блискість; підвищена яскравість; понижена контрастність; недостатня освітленість робочої зони.

2. Психофізіологічні: розумове перевантаження; перенапруга аналізаторів; статичне перевантаження.

6.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

6.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця

Оптимізація робочого простору з урахуванням ергономіки є ключовою для комфорту та безпеки персоналу. Впровадження ергономічних принципів мінімізує ймовірність професійних захворювань і травматизму, одночасно підвищуючи ефективність праці. Правильно організовані робочі місця, що враховують фізичні та психологічні потреби працівників, допомагають знизити втому та рівень стресу, що позитивно впливає на робочий процес. Крім того, дотримання ергономічних стандартів сприяє покращенню самопочуття та задоволеності працівників, що може призвести до зниження плинності кадрів і підвищення якості продукції.

Для створення оптимального робочого середовища при розробці пристрою бездротового керування радіозв'язковою радіостанцією, робоче місце працівника, який працює сидячи, має бути ретельно організоване з урахуванням вимог ДСТУ 8604:2015 [18], принципів технічної естетики та ергономіки. Ключовими аспектами облаштування є:

1. Комфортні та регульовані меблі виробничого призначення. Стіл та стілець повинні легко адаптуватися до індивідуальних антропометричних даних користувача ПК, забезпечуючи правильну підтримку тіла та можливість зміни положення.

2. Оптимальне розміщення обладнання. Екран дисплея, клавіатура та робочі документи слід розташовувати на відстані близько 50 см від очей оператора, на одній лінії зору, а верхній край екрана – на рівні очей або трохи нижче для запобігання напруженню шиї.

3. Обов'язковим є використання спеціальної підставки для документів, що сприяє збереженню правильної постави під час роботи з паперами, а також підставки для ніг, яка покращує кровообіг та зменшує навантаження на спину.

4. Персоналізація налаштувань. Важливим є забезпечення регулювання висоти столу та кута нахилу клавіатури, що дозволяє кожному працівнику індивідуально налаштувати робоче місце для досягнення максимального комфорту та ефективності.

5. Ергономічне крісло. Робоче крісло повинно мати анатомічну форму, підтримувати природні вигини хребта, а також мати регульовані підлокітники, висоту сидіння та нахил спинки для забезпечення правильної постави протягом усього робочого дня.

Для підтримання високої працездатності та профілактики професійних захворювань необхідно дотримуватись режимів праці та відпочинку. Регламентовані 5-хвилинні перерви (крім основної на обід) потрібно влаштовувати після кожної години роботи. Під час цих перерв доцільно виконувати спеціальні вправи для зняття втоми очей та підтримання загального м'язового тону. Для зняття нервово-психологічної напруги варто обладнати кімнату психофізіологічного розвантаження.

6.1.2 Електробезпека приміщення

На робочих місцях встановлено два комп'ютери, що живляться від мережі з напругою 220 В. Згідно з класифікацією за рівнем небезпеки ураження електричним струмом, дане приміщення належить до категорії приміщень без підвищеної небезпеки для працівників. Однак, навіть у таких приміщеннях необхідно суворо дотримуватися правил електробезпеки, регулярно проводити огляд електрообладнання та забезпечувати наявність засобів захисту для запобігання випадковим ураженням [20].

Електричні травми на робочому місці, де здійснюється розробка пристрою бездротового керування радіозв'язковою радіостанцією, можуть бути спричинені різними факторами. Серед основних причин виділяємо:

1) технічні несправності електрообладнання, зокрема зношеність або дефекти електричних пристроїв можуть призводити до коротких замикань,

стрибків напруги та інших електричних проблем, що створюють ризик електротравмування;

2) ігнорування правил електробезпеки. Нехтування запобіжними заходами під час роботи з електрообладнанням, наприклад, відсутність заземлення, неправильне використання подовжувачів, розеток або пошкоджених шнурів, є прямою загрозою безпеці;

3) недостатня обізнаність про електротравматизм. Працівники, які не мають повного розуміння потенційних небезпек, пов'язаних з електротехнікою, можуть ненавмисно створювати небезпечні ситуації або не вживати необхідних заходів захисту;

4) накопичення статичної електрики, оскільки електростатичні розряди, що виникають на одязі або обладнанні, можуть не лише спричиняти збої в роботі чутливої електроніки, але й створювати іскри, здатні призвести до пожежі;

Помилки в організації робочого простору, недостатнє освітлення, дискомфортні умови праці, а також нестабільне електропостачання можуть опосередковано сприяти виникненню електротравм, створюючи додаткові ризики та знижуючи уважність працівників.

Для запобігання електротравмам у приміщенні здійснюються:

1) ізоляція нормально струмоведучих елементів електроустаткування відповідно з вимогами нормативів;

2) захисне заземлення із використанням природних заземлювачів;

3) систематичне проведення інструктажу з електробезпеки;

4) суворе дотримання правил електробезпеки на робочому місці.

Для попередження електротравм на робочому місці розробника важливо дотримуватися всіх необхідних правил електробезпеки, регулярно перевіряти стан обладнання та освітлення, а також стан робочого місця, і вживати необхідні заходи безпеки при виконанні роботи з електроприладами.

6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

6.2.1 Мікроклімат

Організм людини здатний нормально функціонувати та підтримувати гарне самопочуття завдяки безперервному процесу тепловіддачі в навколишнє середовище. Найкраще цей процес регулюється за наявності оптимальних мікрокліматичних параметрів. Коли ж мікроклімат не відповідає нормі, тіло активує різні фізіологічні механізми, щоб утримати сталу внутрішню температуру, балансуючи між виробництвом та розсіюванням тепла.

За енерговитратами, розробка пристрою бездротового керування радіозв'язковою радіостанцією згідно Гігієнічної класифікація праці відноситься до категорії I б. Нормовані значення параметрів мікроклімату для цієї категорії у теплий період року наведені в табл.6.1 (відповідно до ДСН 3.3.6.042-99) [21]

Таблиця 6.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	40-60	0,1-0,3
Холодний	20-24	75	0,2

Для забезпечення комфортних умов перебування людей у приміщенні передбачено:

- централізована парова система опалення забезпечує комфортну температуру в приміщенні в холодну пору року;
- система припливно-витяжної вентиляції забезпечує свіже повітря, необхідне для нормального дихання та роботи людей;
- систематичне вологе прибирання підтримує оптимальний рівень вологості повітря в приміщенні, щоб запобігти сухості слизових оболонок.

6.2.2 Склад повітря робочої зони

Контроль якості повітря в робочій зоні здійснюється шляхом порівняння фактичної концентрації шкідливих речовин із законодавчо встановленими гранично допустимими концентраціями (ГДК), що вимірюються в міліграмах на кубічний метр ($\text{мг}/\text{м}^3$). Основними чинниками, що впливають на забруднення повітря в робочому просторі, є комп'ютерне обладнання, автоматизовані системи та діяльність операторів, які взаємодіють з цим обладнанням. Для кожної ідентифікованої шкідливої речовини визначено конкретне значення ГДК, детально представлено у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони

Назва речовини	ГДК, $\text{мг}/\text{м}^3$		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Озон	0,16	0,03	1
Вуглекислий газ (CO_2)	3	1	4
Формальдегід	0,35	0,03	2
Пил нетоксичний	10	4	4

Насичене негативними аероїонами повітря діє як захисний бар'єр, що зменшує вплив випромінювання позитивних іонів від екранів комп'ютерів, телевізорів та іншого офісного обладнання. Санітарні норми та правила СанПіН 2.2.4.1294-03 [22] визначають нормативні показники іонізації повітря у виробничих та громадських приміщеннях, включаючи мінімально та максимально допустимі рівні концентрації іонів, а також коефіцієнт уніполярності (детальніше у таблиці 6.3).

Таблиця 6.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Для забезпечення належного складу повітря в робочій зоні використовується механічна вентиляція, яка забезпечує видалення шкідливих речовин, що можуть потрапляти до повітря робочої зони. Крім цього, систематичне вологе прибирання сприяє зменшенню кількості пилу, який може бути присутній в приміщенні.

6.2.3 Виробниче освітлення

Оптимальне освітлення робочого простору та окремих робочих місць є ключовою умовою для забезпечення комфортної та безпечної праці. Збалансоване та правильно розраховане освітлення виробничих приміщень дозволяє працівникам тривалий час працювати без зайвого напруження очей, зберігаючи чіткість зору, необхідну для розрізнення деталей та інструментів. Це, своєю чергою, знижує ризик травматизму та запобігає розвитку професійних захворювань очей. Важливо також мінімізувати вплив відблисків від джерел світла, таких як світильники та вікна, на поверхні екранів, оскільки це може погіршувати точність сприйняття та викликати фізіологічний дискомфорт при тривалій роботі. Запобігання надмірному віддзеркаленню, зокрема від додаткових джерел світла, є суттєвим фактором для забезпечення зручності та продуктивності працівників.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 [23] зазначені у таблиці 6.4:

Таблиця 6.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, лк/м²			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Для підтримання належного рівня освітленості в приміщенні застосовується ряд систематичних заходів, а саме:

1) регулярне очищення вікон та світильників. Це необхідно для забезпечення рівномірного розподілу світла по всій площі та запобігання зниженню світлопропускну́ї здатності скла й ефективності ламп.

2) оперативна заміна несправних освітлювальних приладів. Своєчасна заміна перегорілих ламп є ключовою для підтримання необхідного рівня освітлення.

3) вибір оптимальних типів світильників. Правильний підбір освітлювального обладнання дозволяє створити зручне та комфортне для роботи світлове середовище.

4) продумане розташування освітлювальних елементів. Рациональне розміщення світильників забезпечує рівномірне освітлення всього приміщення, усуваючи затінені ділянки.

6.2.4 Виробничий шум

Джерелами шуму під час розробки пристрою бездротового керування радіозв'язковою радіостанцією є працююча техніка та транспорт, який рухається ззовні приміщення. Допустимі рівні звукового тиску та рівні звуку L_A в приміщенні наведені у таблиці 6.5. (згідно ДСН 3.3.6.037-99) [24].

Таблиця 6.5 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для підтримання допустимого рівня шуму в приміщенні застосовується комплекс заходів, що включає використання звукопоглинальних матеріалів, пасивні системи охолодження комп'ютерної техніки та оптимальне розміщення виробничого обладнання. Завдяки цим рішенням забезпечуються рівні шуму, що відповідають встановленим нормативам і створюють комфортне акустичне середовище для працівників.

6.2.5 Виробничі випромінювання

Застосування комп'ютерної техніки в процесі розробки пристрою бездротового керування радіозв'язковою радіостанцією спричинило зростання рівня електромагнітного випромінювання в робочій зоні.

Інтенсивність впливу цього випромінювання на організм працівника визначається низкою параметрів, серед яких: частотний спектр, тривалість та особливості опромінення, режим впливу, площа опромінюваної поверхні тіла, а також індивідуальна чутливість організму. Електромагнітне випромінювання, що генерується відеодисплеями, охоплює широкий діапазон частот, і згідно з чинними стандартами, його вимірювання необхідно проводити в межах від 5 Гц до 400 кГц.

Гранично допустимі значення напруженості електричного і магнітного полів промислової частоти в залежності від часу їх впливу встановлюються ДСанПіН 3.3.6.096-2002 [25]. Згідно з цим нормативним документом перебування в ЕП промислової частоти напруженістю до 5 кВ/м допускається протягом усього робочого дня. Гранично допустимі рівні електромагнітного поля радіочастотного діапазону для працівника становлять $E_{гдр} = 25$ В/м та $B_{гдр} = 250$ нТл.

Для мінімізації впливу електромагнітного випромінювання на розробника рекомендується чергувати періоди інтенсивної роботи з обов'язковими перервами для відпочинку.

6.3 Пожежна безпека

Відповідальність за протипожежну безпеку на підприємстві несе його керівник або власник. Для реалізації цієї відповідальності керівництво видає наказ, яким визначає обов'язки інженерно-технічного персоналу та інших працівників щодо забезпечення пожежної безпеки на всіх виробничих ділянках. Крім того, керівник призначає осіб, відповідальних за пожежну безпеку окремих будівель, споруд, приміщень, а також за належну експлуатацію технічних засобів протипожежного захисту. У випадку відсутності на підприємстві спеціально уповноваженої особи, яка відповідає за загальну пожежну безпеку, організаційну роботу з підготовки необхідної документації, як правило, виконує фахівець з охорони праці.

Обов'язки щодо забезпечення пожежної безпеки, утримання та експлуатації засобів протипожежного захисту мають бути відображені у відповідних посадових документах (функціональних обов'язках, інструкціях, положеннях тощо).

У робочому приміщенні застосовуються виключно негорючі речовини та матеріали, що перебувають у холодному стані, що визначає його категорію по вибухопожежній та пожежній небезпеці як «Д». [26-28] Єдиним потенційним джерелом пожежної небезпеки є кабельні електропроводки, що підводяться до обладнання, що є допустимим для приміщень даної категорії. За вогнестійкістю приміщення відноситься до другої категорії згідно з нормативними документами. Робоча зона розробника відноситься до класу вибухонебезпечності В-Па та пожежонебезпечності П-Па, оскільки вибухонебезпечна концентрація пилу і волокон може утворюватися лише внаслідок аварії або несправності.

6.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

Можливими причинами виникнення пожежі в робочому приміщенні є:

1) Несправності електромережі: іскріння, перегрів проводів, пошкодження або висихання ізоляції, що може призвести до короткого замикання.

2) Неправильне використання електроприладів: застосування саморобних або несправних електронагрівальних пристроїв (електрочайників, обігрівачів), а також потрапляння рідини на працююче електрообладнання.

3) Залишення без нагляду увімкненої оргтехніки: комп'ютерів, моніторів, принтерів та іншого обладнання, що може призвести до перегріву або короткого замикання.

4) Недотримання правил експлуатації електрообладнання: використання пошкоджених розеток, вимикачів, подовжувачів, а також перевантаження електричної мережі.

5) Накопичення горючих матеріалів: паперу, пилу, тощо поблизу електроприладів або в місцях можливого іскріння.

Для запобігання цим причинам необхідно регулярно проводити огляд електропроводки та електрообладнання, інструктувати працівників з правил пожежної безпеки, забезпечити наявність справних вогнегасників та інших засобів пожежогасіння, а також встановити чіткий порядок дій у разі виникнення пожежі.

6.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Для локалізації можливої пожежі в приміщенні передбачено наявність переносного вуглекислотного вогнегасника типу ВВК-5, що відповідає встановленим стандартам. Важливо зазначити, що доступ до засобів первинного пожежогасіння та пристроїв для знеструмлення обладнання залишається вільним і незаблокованим. У коридорі приміщення розташована схема евакуації людей при пожежі. Шляхи евакуації з відділу відповідають правилам пожежної безпеки. У будинку є два виходи, ширина коридору – 2-3 метри, ширина дверей – 0,8 м., двері відкриваються по ходу руху людей у випадку евакуації [29].

Інструкції та інші внутрішні документи підприємства з пожежної безпеки слід розробляються на основі діючих правил та інших державних нормативних актів з пожежної безпеки, виходячи зі специфіки пожежної небезпеки будівель, споруд, технологічних процесів, технологічного та виробничого обладнання. Крім того, для підвищення рівня пожежної безпеки в приміщенні слід регулярно проводити інструктажі з персоналом щодо правил використання вогнегасника та дій у випадку пожежі, а також забезпечити наявність чітких планів евакуації.

В цілому приміщення по категорії вибухо- і пожежонебезпечності та ступеню вогнестійкості відповідає нормам.

ВИСНОВКИ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розглянуті шляхи подальшої модернізації радіозв'язкового обладнання, що покращить його якісні показники. При розробці пристрою дистанційного бездротового керування радіозв'язковою радіостанцією було передбачено можливість використання різноманітних радіозв'язкових радіостанцій: активні фільтри високої та низької частоти, що дало змогу зменшити кількість дискретних елементів, також застосована мікросхема приймача, з низькою проміжною частотою. Блок проміжної частоти виконаний в середині мікросхеми, тобто представляє собою інтегральну структуру. Проміжна частота мікросхеми приймача є досить низькою та становить 70кГц. Це робить схему приймача с досить малою кількістю зовнішніх елементів.

Застосування інтегральної мікросхеми ЧМ передавача надало розробці ряд переваг, серед яких:

- простота виконання (легко реалізується та не потребує великої кількості додаткових пристроїв, модуляторів, підсилювачів та ін.);
- малі розміри розробки;
- зручність у використанні пристрою;
- велика надійність пристрою завдяки його простоті;
- практично не реагує на зміну тиску та температури, що дає можливість його використання майже будь-де і за будь-яких природних умов;

Легкість переобладнання системи, оперативної зміни налаштувань, можливість перестройки та ремонтпридатність та ін.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Безпроводові технології : навч. посіб. / уклад. Ю. М. Жуйков. – Луцьк : ЛНТУ, 2023. – 138 с. – Режим доступу: https://tk.lntu.edu.ua/.../Безпроводові_технології.pdf
2. Телекомунікаційні та інформаційні мережі : навч. посіб. / В. І. Федосєєв, С. В. Іванов, П. В. Яковлєв ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ, 2020. – 230 с. – Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/45409/1/TIM_navch_posib.pdf
3. Основи радіозв'язку з рухомими об'єктами : навч. посіб. / В. В. Смирнов, Д. О. Гришко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ, 2022. – 204 с. – Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/53493/3/ORRO_navch_posib.pdf, вільний.
4. Бездротові телекомунікаційні системи : навч. посіб. / О. В. Левченко, В. О. Паращенко. – Харків : ХНУ, 2021. – 180 с. – Режим доступу: https://lib.kart.edu.ua/.../навч._посібник.pdf
5. Основи інфокомунікаційних технологій : навч. посіб. / Сумський держ. ун-т ; авт. кол.: Ю. А. Мельник, В. В. Грицай, Ю. Ю. Ситник. – Суми, 2023. – 151 с. – Режим доступу: <https://ekt.elit.sumdu.edu.ua/.../Navchalnyj-posibnyk-lektsii-dopomizhnyj.pdf>
6. Крайник Я. М. Мікроконтролери : метод. рек. до виконання лабораторних робіт. – Миколаїв : ЧНУ ім. Петра Могили, 2020. – 68 с. – Режим доступу: [\[https://dspace.chmnu.edu.ua/.../Мікроконтролери.pdf\]](https://dspace.chmnu.edu.ua/.../Мікроконтролери.pdf)(<https://dspace.chmnu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/2499/1/%D0%9A%D1%80%D0%B0%D>
7. Безпроводові технології : навч. посіб. / уклад. С. В. Петухов, Т. І. Корець, І. С. Чулій та ін. – Луцьк : ЛНТУ, 2023. – 95 с. – Режим доступу: https://tk.lntu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/03/Безпроводові_технології.pdf
8. Телекомунікаційні та інформаційні мережі : навч. посіб. / Л. М. Кудін, І. Ю. Соколов, І. М. Баранов та ін. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. –

- 140 с. — Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/45409/1/TIM_navch_posib.pdf
9. Основи радіозв'язку з рухомими об'єктами : навч. посіб. / О. Ю. Щур, В. І. Білик, І. В. Ємець. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. — 172 с. — Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/53493/3/ORRO_navch_posib.pdf
10. Бездротові телекомунікаційні системи : навч. посіб. / В. В. Морозов, Є. І. Крамаренко. — Харків : ХНТУСГ, 2022. — 124 с. — Режим доступу: <https://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/10947/3/навч.%20посібник.pdf>
11. Основи інфокомунікаційних технологій : навч. посіб. / С. І. Безкровний. — Суми : СумДУ, 2023. — 97 с. — Режим доступу: <https://ekt.elit.sumdu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/01/Navchalnyj-posibnyk-lektsii-dopomizhnyj.pdf>
12. Мікроконтролери : метод. вказівки до викон. лаборат. робіт / Я. М. Крайник. — Миколаїв : ЧНУ ім. Петра Могили, 2019. — 58 с. — Режим доступу: <https://dspace.chmnu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/2499/1/Крайник%20Я.%20М.%20Мікроконтролери.pdf>
13. Системи радіозв'язку : навч. посіб. / Г. Ф. Конахович, П. І. Білецький. — Київ : НАУ, 2016. — 132 с. — Режим доступу: <https://tks.nau.edu.ua/wp-content/uploads/2016/10/Konahovych-Georgij-Fylymonovych-Systemy-zvyazku.pdf>
14. Основи теорії телекомунікацій і радіотехніки : навч. посіб. / В. І. Сичов, О. М. Марченко. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. — 145 с. — Режим доступу: https://itt-its.kpi.ua/wp-content/uploads/2024/08/ZO-19_Osnovy-teorii-telecom.pdf
15. Програмування мікроконтролерів AVR : навч. посіб. / М. П. Мельничук. — Київ : НТУУ "КПІ", 2021. — 96 с. — Режим доступу: <https://cions.kpi.ua/Study/mpkp.pdf>
16. Основи цифрового оброблення сигналів в системах цифрового радіозв'язку : навч. посіб. / О. М. Гуменюк, А. Ю. Лесковець. — Київ : ДУІКТ,

2021. – 117 с. – Режим доступу: https://duikt.edu.ua/uploads/l_1435_35282167.pdf
17. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php
18. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги - [Електронний ресурс] - http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028
19. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>
20. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14_nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html
21. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>
22. СанПіН 2.2.4.1294-03 «Фізичні фактори виробничого середовища. Гігієнічні вимоги до аероіонного складу повітря виробничих і громадських приміщень» - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.ionization.ru/issue/iss5.htm>
23. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885
24. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

25. ДСанПіН 3.3.6.096-2002 Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03>
26. НАПБ А.01.001-14 Правила пожежної безпеки в Україні [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon.nau.ua/doc/?code=z1410-04>
27. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759
28. ДБН В.1.1.7-2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002..pdf
29. Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 № 5403-VI

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ
ПРИСТРІЙ БЕЗДРОТОВОГО КЕРУВАННЯ РАДІОЗВ'ЯЗКОВОЮ
РАДІОСТАНЦІЄЮ

Виконав: студент 2(4)-го курсу, гр. РТ-23мс
спеціальності 172 «Електронні комунікації
та радіотехніка» ОП - («Радіотехніка»)

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Дехтярук В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н. проф., проф., каф. ІРТС

Семенов А.О.

(прізвище та ініціали)

« 11 » 06 2025 р.

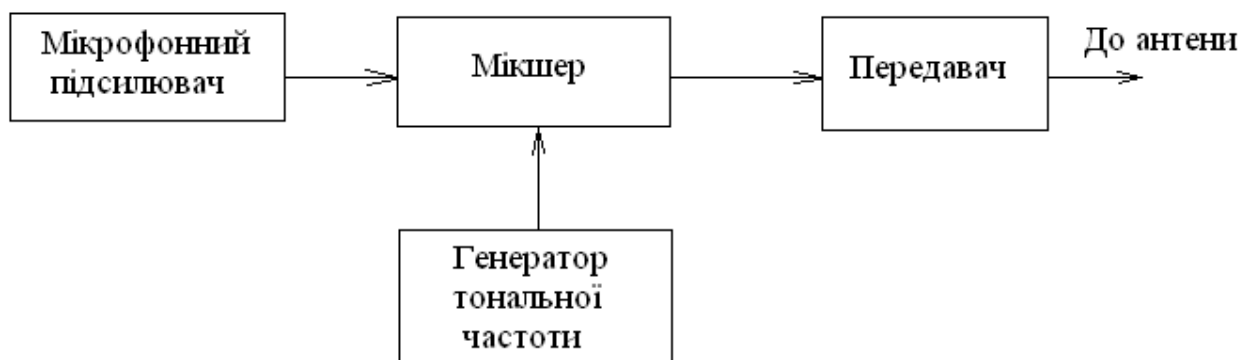


Рисунок 1 - Структурна схема передавача

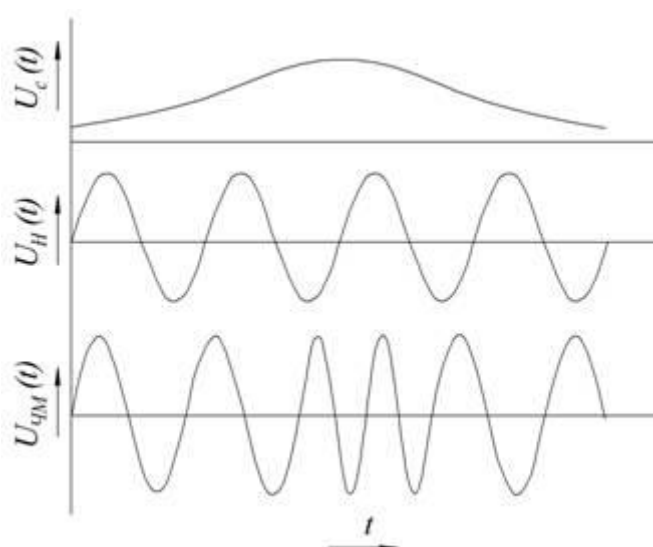


Рисунок 2 – Векторні діаграми частотної модуляції

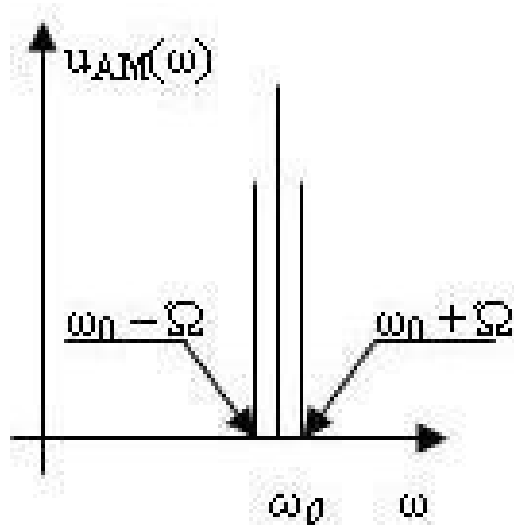


Рисунок 3 – Спектр ЧМ

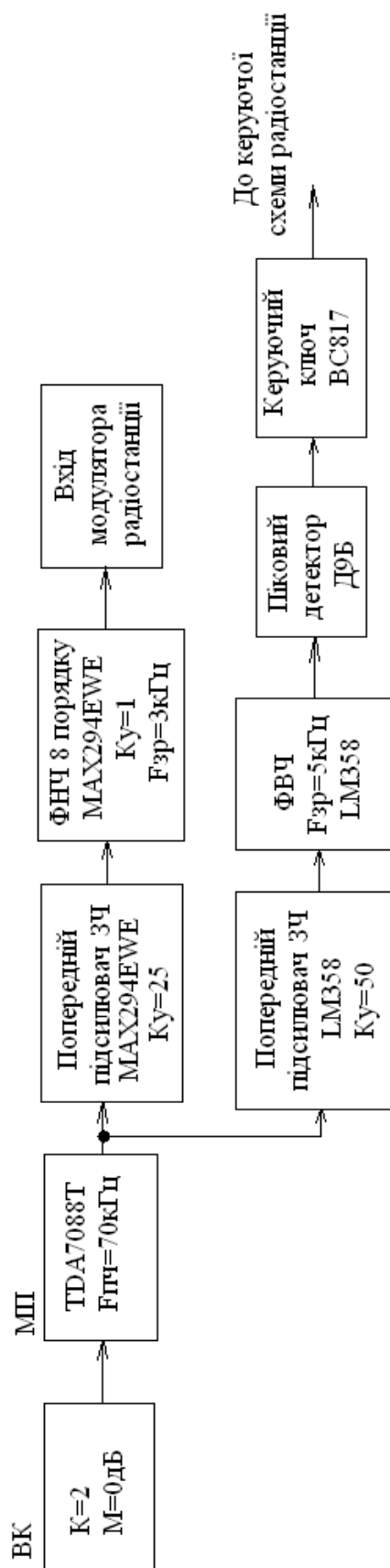


Рисунок 4 - Повна структурна схема приймача

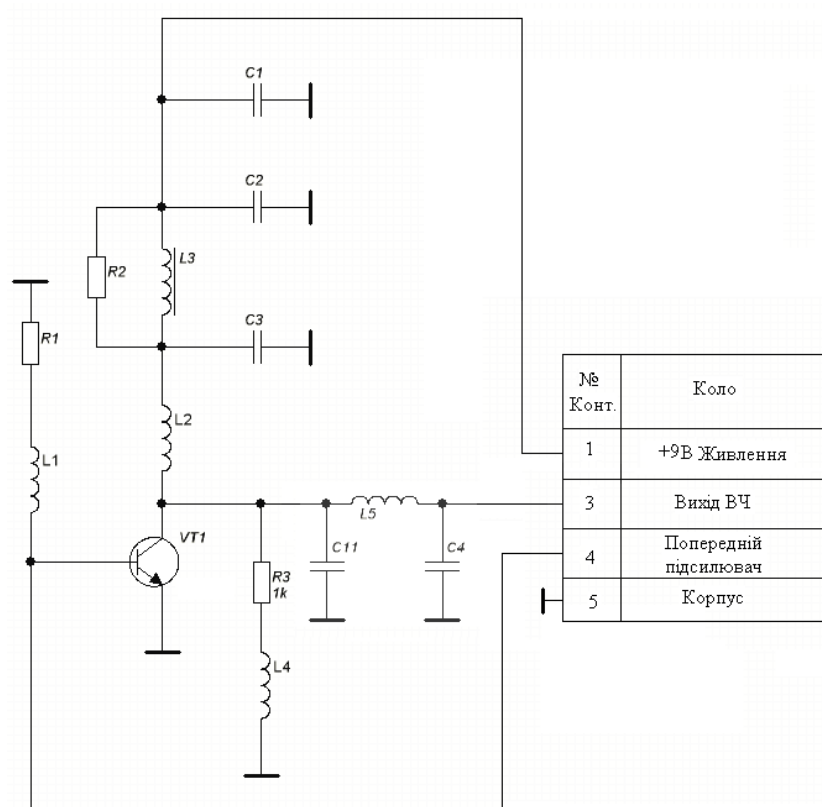


Рисунок 5 – Схема кінцевого каскаду

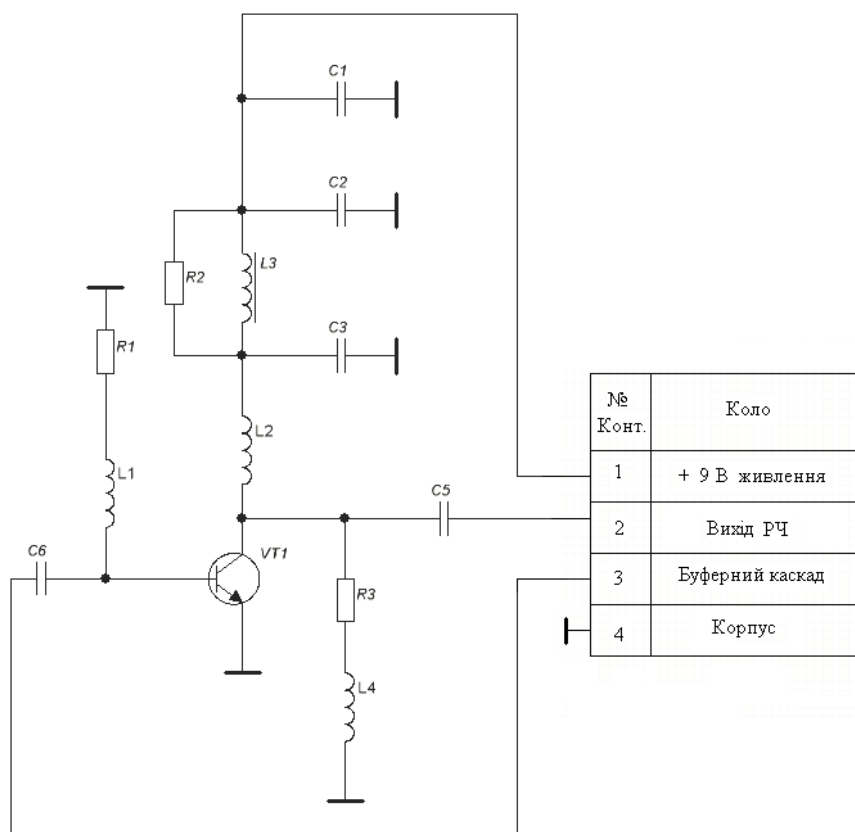


Рисунок 6 – Схема каскаду попереднього підсилення

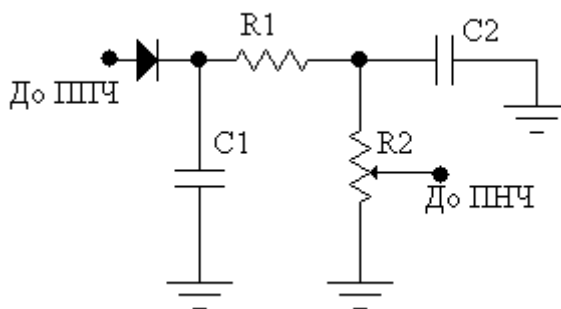


Рисунок 7 – Схема електрична принципова амплітудного детектора

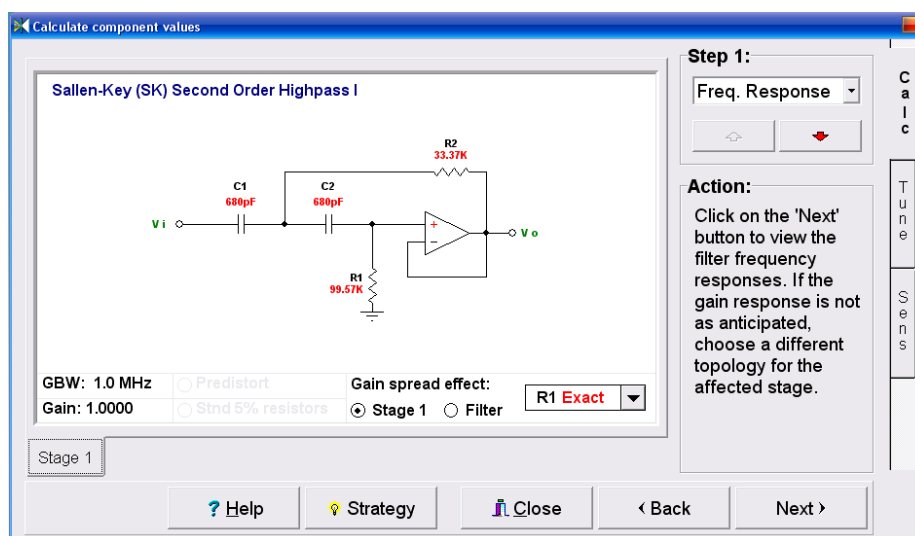


Рисунок 8 – Досліджуваний ФВЧ

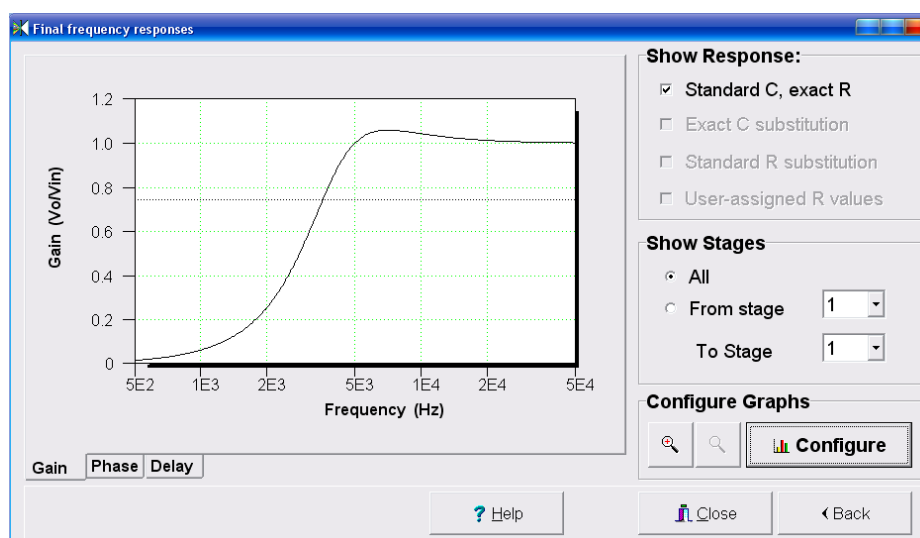


Рисунок 9 – АЧХ досліджуваного ФВЧ

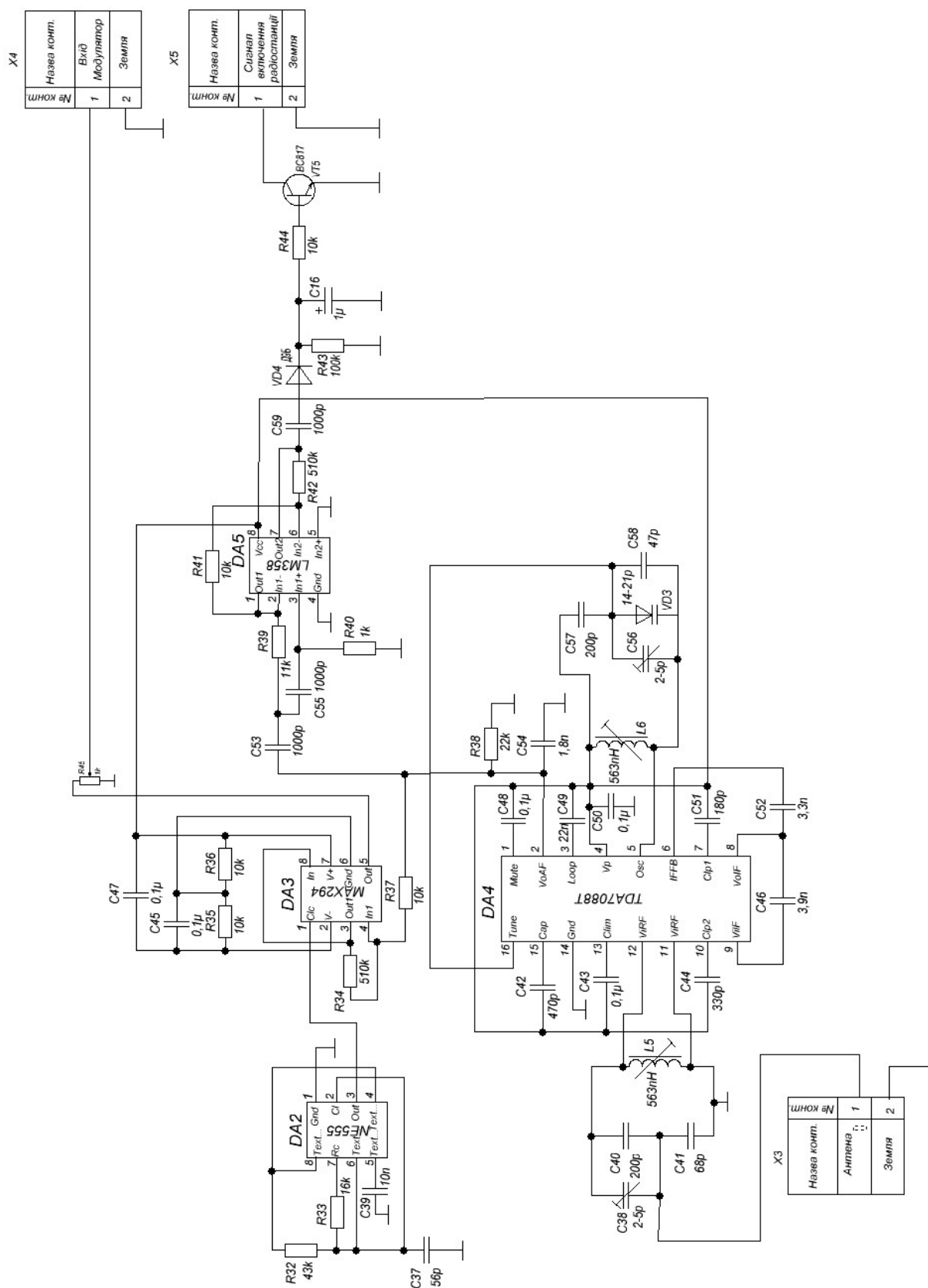


Рисунок 11 – Електрична схема передавального модуля

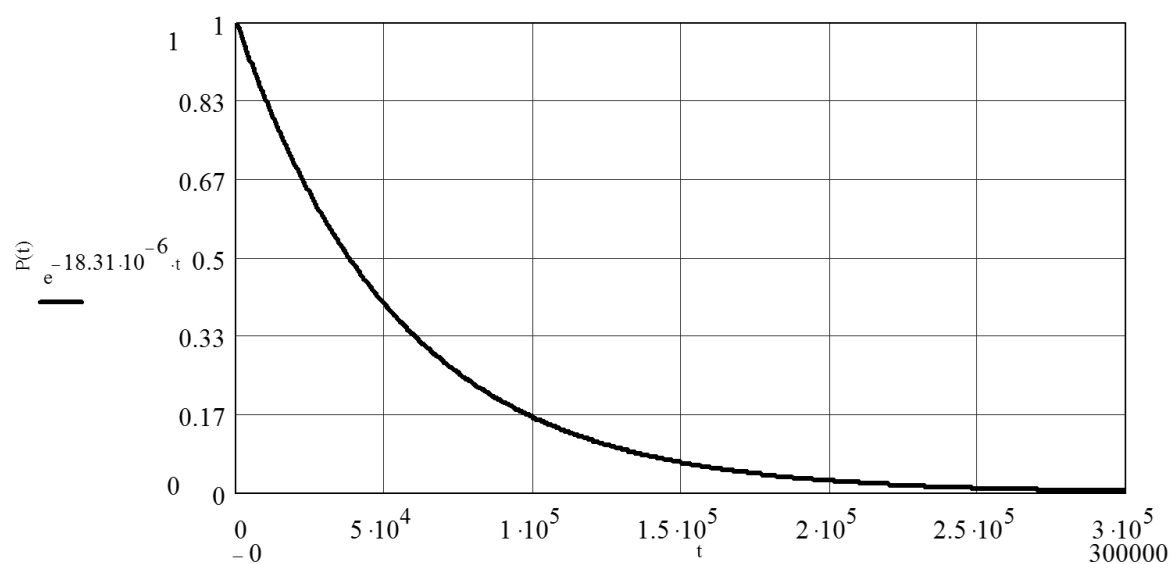


Рисунок 12 – Ймовірність безвідмовної роботи в залежності від часу

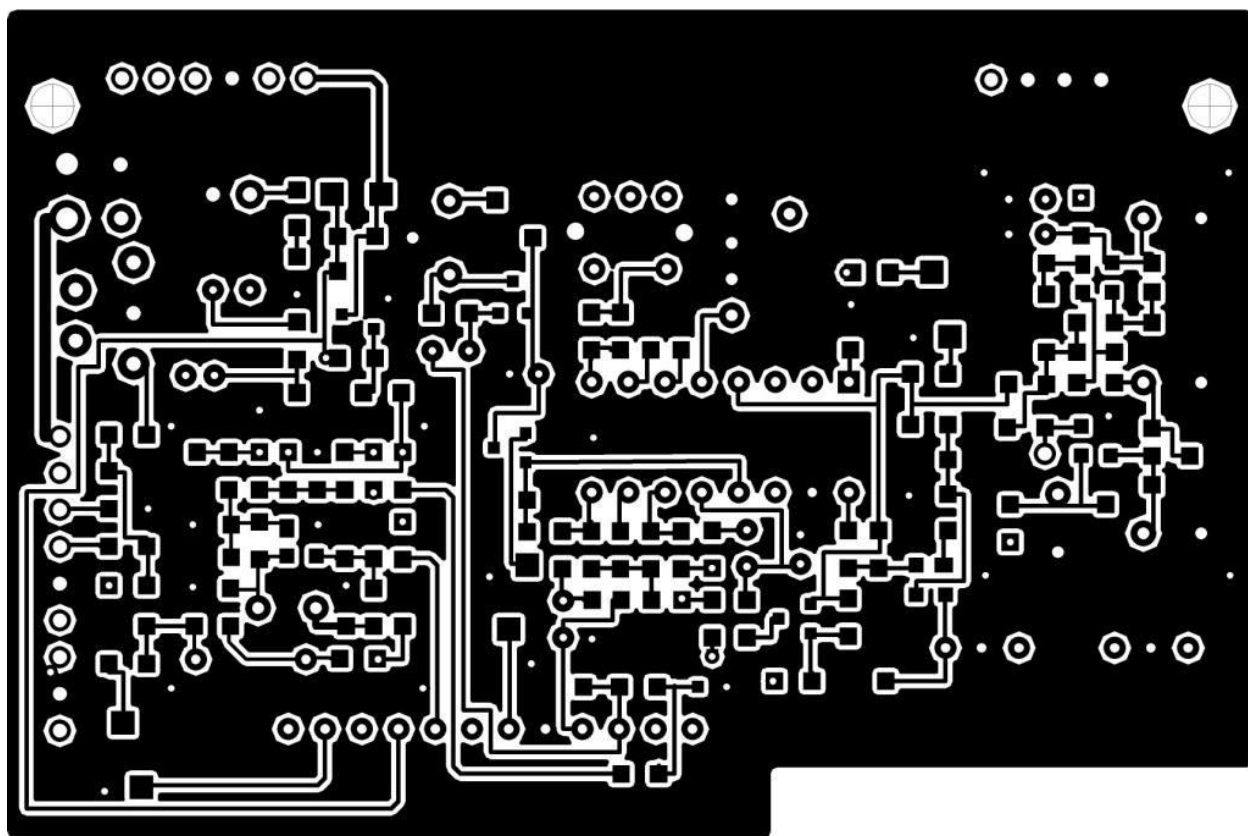


Рисунок 13 – Топологія друкованої плати передавального модуля

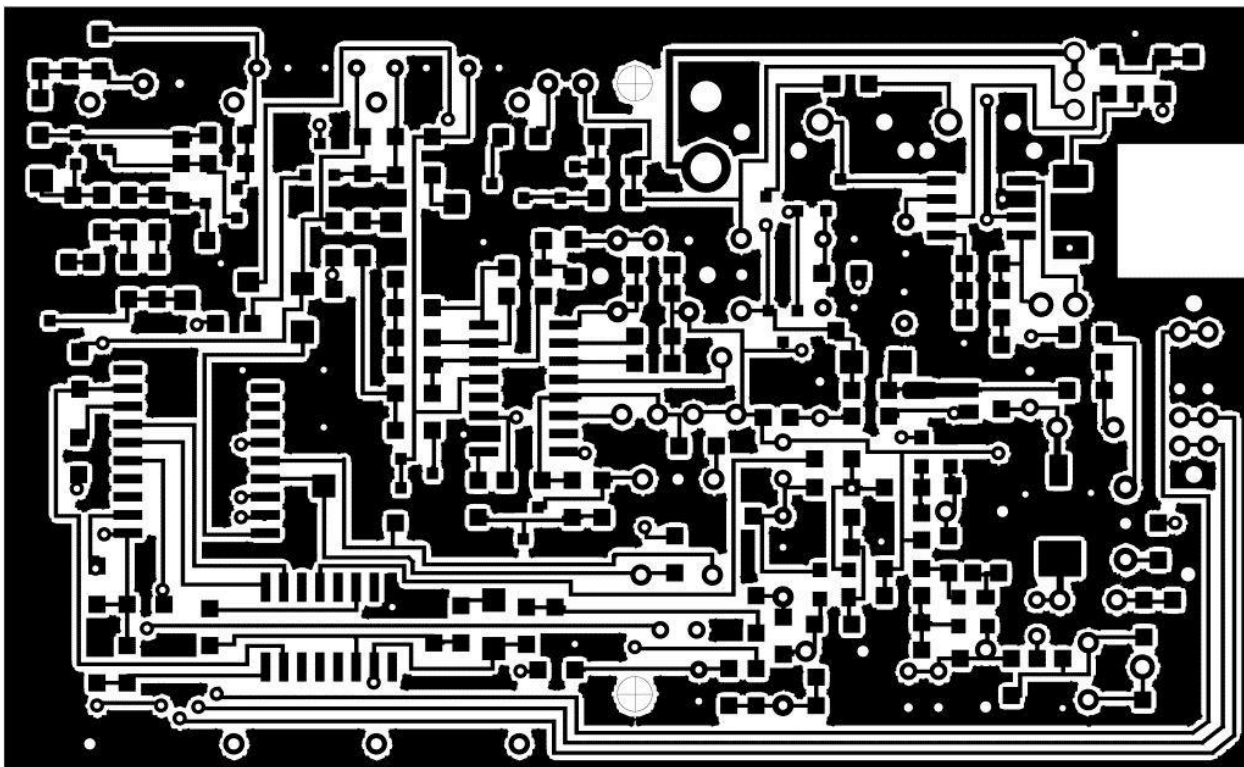


Рисунок 14 – Топологія друкованої плати приймального модуля

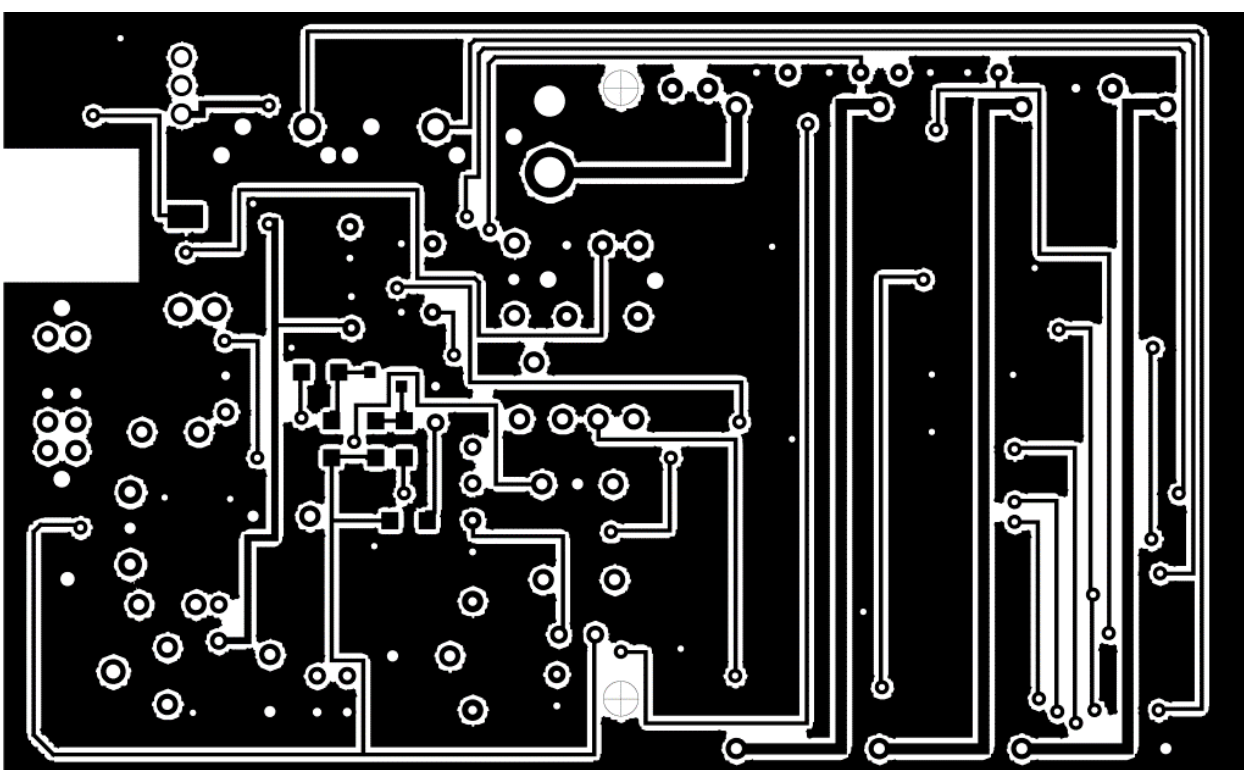


Рисунок 15 – Топологія друкованої плати блоку живлення

Додаток Б
(обов'язковий)

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (БАКАЛАВРСЬКОЇ)
КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

**ПРИСТРІЙ БЕЗДРОТОВОГО КЕРУВАННЯ РАДІОЗВ'ЯЗКОВОЮ
РАДІОСТАНЦІЄЮ**

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: «Пристрій бездротового керування радіозв'язковою радіостанцією»

Тип роботи: Бакалаврська кваліфікаційна робота
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ Кафедра ІРТС
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 1.00%

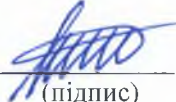
Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

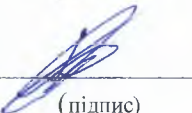
Воловик А.Ю. – д.т.н., доцент каф. ІРТС
(прізвище, ініціали, посада) (підпис)

Осадчук О.В. – д.т.н., професор, зав. каф. ІРТС
(прізвище, ініціали, посада) (підпис)

Особа, відповідальна за перевірку  Семенов А.О.
(підпис) (прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник  Семенов А.О. – д.т.н., професор каф. ІРТС
(підпис) (прізвище, ініціали, посада)

Здобувач  Дехтярук В.О.
(підпис) (прізвище, ініціали)