

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(освітній рівень)

на тему **Розроблення приймача мовного діапазону та моделювання його характеристик**

Виконав: студент 4 курсу, групи 401-ТТ
спеціальності 172 «Телекомунікації та
радіотехніка»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Ярський В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Косенко В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2021 рік

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи "Розроблення приймача мовного діапазону та моделювання його характеристик"

Робота містить 67 сторінок, 29 ілюстрацій, 8 таблиць, 18 використаних джерел.

Метою роботи є удосконалення та закріплення теоретичних знань та практичних навичок в сфері проектування радіоприймальних пристроїв метрового діапазону.

Для досягнення поставленої мети були зроблені наступні дії:

- огляд структурних схем радіоприймальних приладів;
- проведено проектування та розрахунок приймача;
- виконано моделювання його характеристик.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати складають необхідні теоретичне підґрунтя для розробки нових технічних рішення та розширення функціоналу існуючих пристроїв.

Ключові слова: приймач мовного діапазону, ЧМ модуляція, радіомовлення.

ABSTRACT

qualification work "Development of language range acceptance and modeling of its characteristics"

The work contains 67 pages, 29 illustrations, 8 tables, 18 sources used.

The aim of the work is to improve and consolidate theoretical knowledge and practical skills in the field of design of radio receivers of the meter range.

To achieve this goal, the following steps were taken:

- review of structural diagrams of radio receivers;
- design and calculation of the receiver;
- modeling of its characteristics is performed.

The practical significance of the results. The obtained results form the necessary theoretical basis for the development of new technical solutions and expansion of the functionality of existing devices.

Key words: speech range receiver, FM modulation, radio broadcasting.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та
робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти Бакалавр
Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри автоматики,
електроніки та телекомунікацій**

_____ О.В. Шефер
“ 11 ” травня 2021 р.

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ярському Владиславу Валерійовичу

1. Тема роботи «Розроблення приймача мовного діапазону та моделювання його характеристик»
керівник роботи Косенко Віктор Васильович, д.т.н., професор,
затверджена наказом вищого навчального закладу від 03.03.2021 року № 158 – фа
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15.06.2021 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Діапазон приймальних частот 88-108 МГц. Модуляція - ЧМ. Чутливість не гірше 2 мкВ. Селективність по сусідньому каналі не гірше 45 дБ. Напрацювання на відмову не менше 1000 годин.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вибір структурної схеми радіоприймача. Розроблення схеми електричної принципової. Моделювання характеристик та проектування друкованої плати. Розрахунок показників надійності.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
 - 1) структурна схема радіоприймача;
 - 2) структурна схема застосованої мікросхеми;
 - 3) схема електрична принципова;
 - 4) АЧХ та коефіцієнт передачі вхідного кола;
 - 5) трасування друкованої плати;
 - 6) 3D-модель друкованої плати.
6. Дата видачі завдання 11.05.2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
1	Вибір структурної схеми.	18.05.21		25%	Пл. 3
2	Розроблення схеми електричної принципової.	26.05.21	I	50%	Пл. 5
3	Моделювання характеристик.	02.06.21		60%	Пл. 6
4	Розроблення друкованої плати та розрахунок показників надійності.	09.06.21		80 %	Пл. 7
5	Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра	15.06.21	II	100%	

Студент _____ Ярський В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Косенко В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ВИБІР СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ РАДІОПРИЙМАЧА	10
1.1 Структурні схеми радіоприймальних пристроїв з аналоговою обробкою сигналів.....	10
1.2 Структурні схеми радіоприймальних пристроїв з цифровою обробкою сигналів.....	14
1.3 Висновки до першого розділу.....	21
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ПРИЙМАЧА МОВНОГО ДІАПАЗОНУ	22
2.1 Вибір елемента тракту радіочастоти.....	22
2.2 Розрахунок стабілізатора напруги.....	26
2.3 Розрахунок вхідного кола.....	28
2.4 Вибір підсилювач потужності низької частоти	32
2.5 Вибір схеми захисту пристрою від неправильного підключення елемента живлення	35
2.6 Висновки до другого розділу	38
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ	39
3.1 Моделювання характеристик вхідного кола	39
3.2 Проектування друкованої плати.....	41
3.3 Розрахунок показників надійності пристрою.....	43
3.4 Висновки до третього розділу.....	46
ВИСНОВОКИ.....	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	48
Додаток А.....	50
Додаток Б.....	62
Додаток В.....	63
Додаток Г	64

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АІФ – аналоговий інтерполяційний фільтр.

АМ – амплітудна модуляція.

АРП – автоматичне регулювання підсилення.

АЦП (ADC – Analog to Digital Converter) – аналого-цифровий перетворювач.

АЧПТ – аналогова частина приймального тракту.

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика.

ВК – вхідне коло.

Г – гетеродин.

ГКН (VCO – Voltage-controlled oscillator) – генератор керований напругою.

Д – демодулятор.

ЕСР – електростатичний розряд.

Зм – змішувач.

КК – коливальний контур.

НЗВ – негативний зворотній зв'язок.

ПЗЗ – позитивний зворотній зв'язок.

ПЗЧ – підсилювач звукової частоти.

ППЧ – підсилювач проміжної частоти.

ПРЧ – підсилювач радіочастоти.

РПП – радіоприймальний пристрій.

ФО – фазообертач.

ФПЧ – фільтр проміжної частоти.

ФНЧ – фільтр низьких частот.

ЦАП (DAC – Digital to Analog Converter) – цифро-аналоговий перетворювач.

ЦОС – цифрова обробка сигналів.

ЦЧПТ – цифрова частина приймального тракту.

ЧМ – частотна модуляція.

DSP (Digital Signal Processor) – цифровий сигнальний процесор.

LDO (Low DropOut) – регулятор з малим падінням напруги.

LNA (Low Noise Amplifier) – малошумлячий підсилювач.

MCU (Microcomputer Unit) – мікроконтролер.

MOSFET (metal-oxide-semiconductor field effect transistor) – транзистор метал – діелектрик – напівпровідник.

PGA (Programmable Gain Amplifier) – підсилювач з програмованим коефіцієнтом підсилення.

RDS/ RBDS (Radio Data System/ Radio Broadcast Data System) – система передачі радіо даних.

RSSI (Received Signal Strength Indication) – показчик рівня прийнятого сигналу.

ВСТУП

Сучасний світ складно уявити без апаратури, виконуючу передачу та прийом радіо сигналів. У кожного вдома є радіоприймач для прослуховування радіостанцій ефірного мовлення. Завдяки реконфігурації трактів радіоприймальних трактів і демодуляції сигналів за допомогою цифрових методів обробки вдається зменшити електроспоживання та вартість обладнання.

Актуальність. Сучасна радіоприймальна техніка розвивається методом впровадження цифрової мікросхемотехніки. Беручи до уваги ці тенденції розвитку побудови радіоприймальної техніки, можна виділити кілька аспектів, на які потрібно орієнтуватися проектуючи радіоприймальну техніку. Зокрема це якість зв'язку, вартість та розміри. Наявні мікросхеми дають можливість розробляти приймачі з високою чутливістю, кращою вибірковістю по дзеркальному каналу, меншими частотними і нелінійними спотвореннями, а також дозволяють вирішити ряд проблем новими шляхами. Тому в сучасних приймачах використання дискретних підсилюючих елементів зведено до мінімуму. Майже всі тракти виконуються на мікросхемах. Також існують мікросхеми нового покоління з високим ступенем інтеграції які в своїй структурі мають всі необхідні тракти.

Новизна КРБ. Використання методів орієнтованих на використання сучасних схем технічних рішень та сучасної елементної бази.

РОЗДІЛ 1. ВИБІР СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ РАДІОПРИЙМАЧА

1.1 Структурні схеми радіоприймальних пристроїв з аналоговою обробкою сигналів

В прийमाках прямого підсилення виконується підсилення сигналів до демодулятора та підсилення с гетеродинними перетворенням частоти. Приймачі прямого перетворення більш прості, однак характеризуються порівняно низькими показниками якості. Їх чутливість зменшується з підвищенням робочої частоти, а селективність залежить від числом перелаштовуваних коливальних контурів в діапазоні. Структурні схеми таких приймачі приведені на рис. 1.1[1].

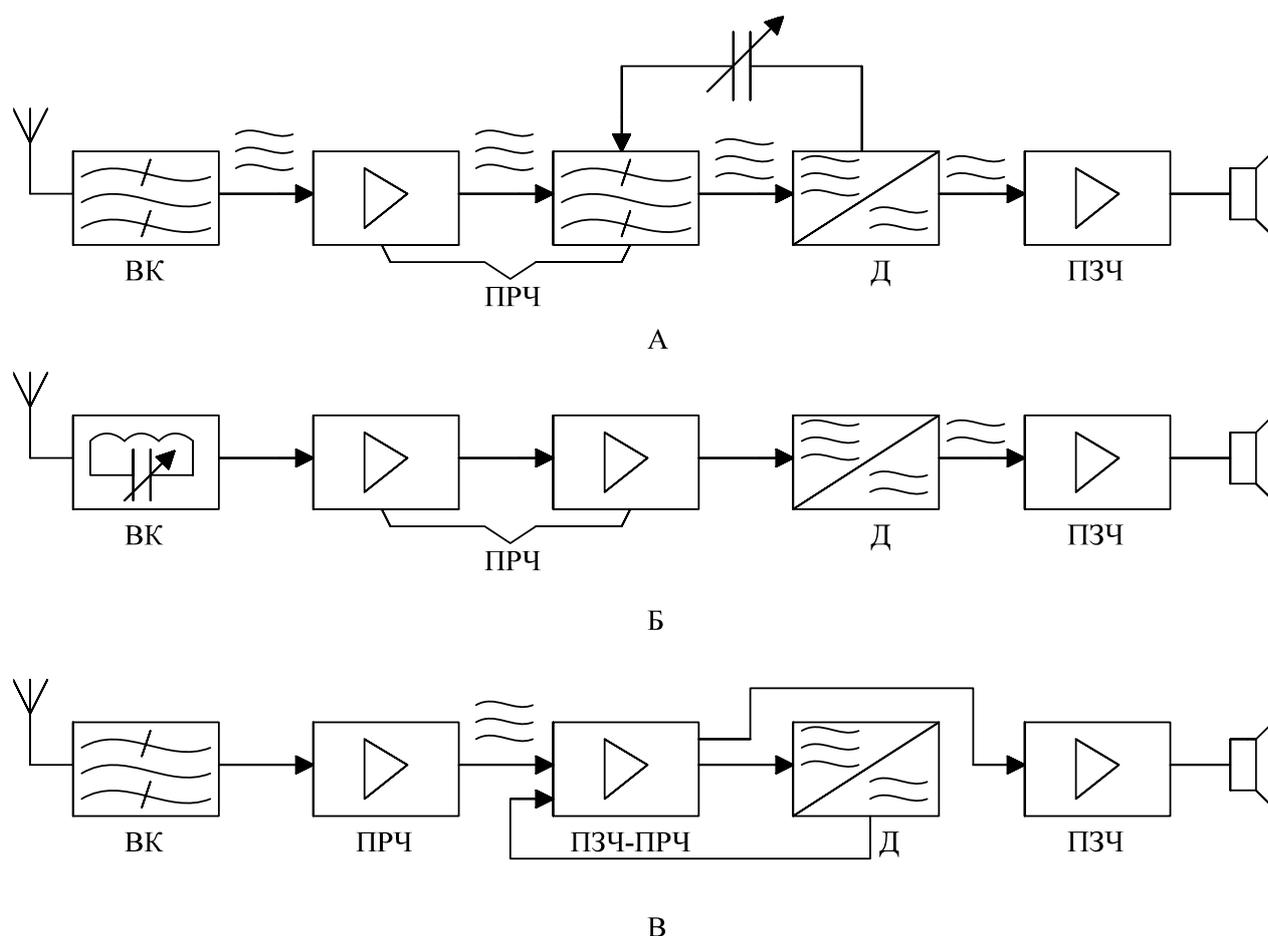


Рисунок 1.1 – Структурні схеми радіоприймачів прямого підсилення:

а - регенеративного; б – аперіодичного; в – рефлексного

ВК має в своїй структурі коливальний контур та виконує попередню селекцію сигналів. ПРЧ підсилює сигнал та виконує основну селекцію. Демодулятор виділяє корисний сигнал, який через регулятор підсилення потрапляє на ПЗЧ. ПЗЧ підвищує потужність сигналу звукової частоти до значення, необхідного для роботи кінцевого пристрою. Для покращення чутливості та селективності приймачів прямого перетворення можна використати позитивний зворотні зв'язок. Ступінь ПЗЗ регулюється за допомогою конденсатора змінної ємності рис. 1.1.А. Такий приймач називається регенеративним. До його основних недоліків можна віднести відсутність прихованості, низька стабільність та складне налаштування [1].

На рисунку 1.1.Б наведено структурну схему радіоприймача прямого підсилення виконаного с аперіодичним ПРЧ. Селективність таких приймачів низька, тому їх використовують для прийому потужних радіостанцій. Також приймачі прямого перетворення виконують по рефлексній схемі рис. 1.1.В. В таких приймачах сигнал звукової частоти с виходу демодулятора потрапляє для підсилення в каскад ПЗЧ-ПРЧ. Завдяки значній різниці частот між сигналами каскад ПЗЧ-ПРЧ може виконувати дві функції одночасно. До основних недоліків приймачів цього типу відносять – підвищений рівень викривлення сигналів [1].

До основних переваг супергетеродинних приймачів відносять високий показник якості, однак вони мають більш складну структурну схему рис. 1.2.

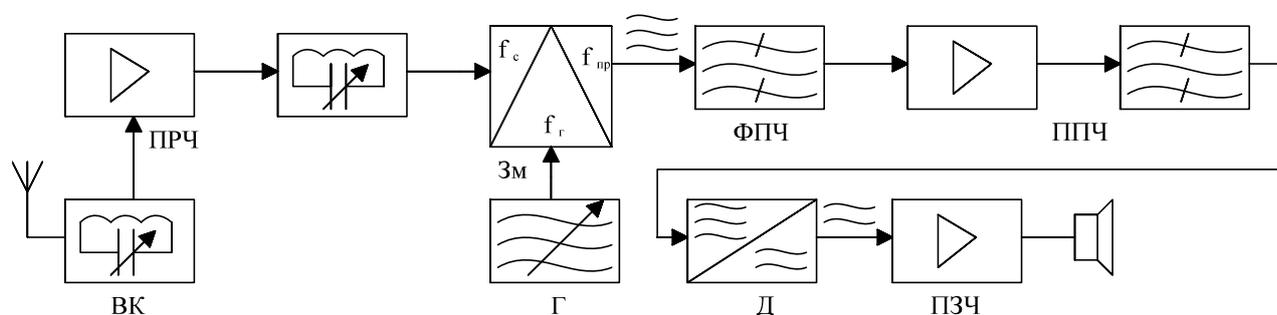


Рисунок 1.2 – Структурна схема супергетеродинного приймача

Попередню селекцію виконує ВК та ПРЧ, що допомагає зменшити спотворення в змішувачі частоти та посилити їх. Підвищується відношення сигнал/шум на виході приймача внаслідок перекриття шумів змішувача частото-підсиленним сигналом. В змішувачі відбувається перетворення модульованих коливань з частотою прийнятого сигналу в модульовані коливання проміжної частоти. Частота прийнятого сигналу визначається за формулою:

$$f_c = f_r - f_{пр}, \quad (1.1)$$

де f_c – частота прийнятого сигналу; f_r – частота гетеродинна; $f_{пр}$ – проміжна частота [1].

ППЧ виконує основу селекцію прийнятого сигналу та підсилює його до потрібного рівня, достатнього для нормальної роботи змішувача. Постійне підлаштування ФПЧ дозволяє досягнути високої селективності приймача по сусідньому каналі прийому. Чутливість приймачів такого типу майже не залежить від частоти. Запас по підсиленню дозволяє застосувати АРП. Головний недолік супергетеродинних приймачів наявність дзеркального каналу прийому [1].

Принцип перетворення наведений на рисунку 1.3 [2]. Де:

f_r – частота гетеродинна;

f_1 – частота прийнятого сигналу;

f_2 – частота сусіднього каналу;

f_3 – частота дзеркального каналу;

$f_{пч}$ – проміжна частота.

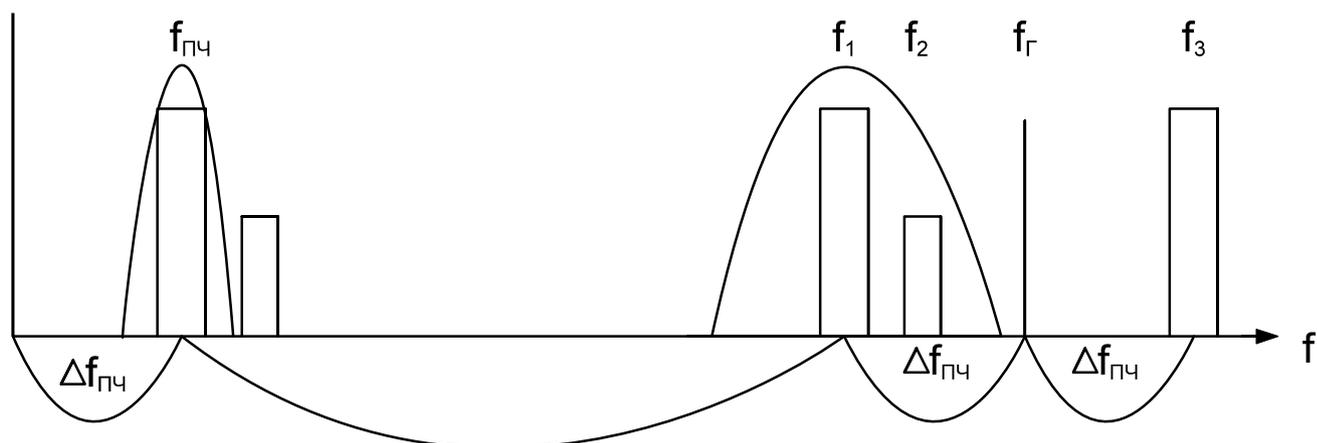


Рисунок 1.3 – Принцип перетворення в супергетеродинному приймачі

Приймачі сигналів с ЧМ зазвичай виконують по супергетеродинній схемі. При використанні деяких типів частотних детекторів необхідно використовувати амплітудний обмежувач з метою усунення паразитної АМ [3].

В приймачах прямого перетворення рис 1.4. частота прийнятого сигналу рівна частоті гетеродинна. З цього випливає, що проміжна частота дорівнює нулю.

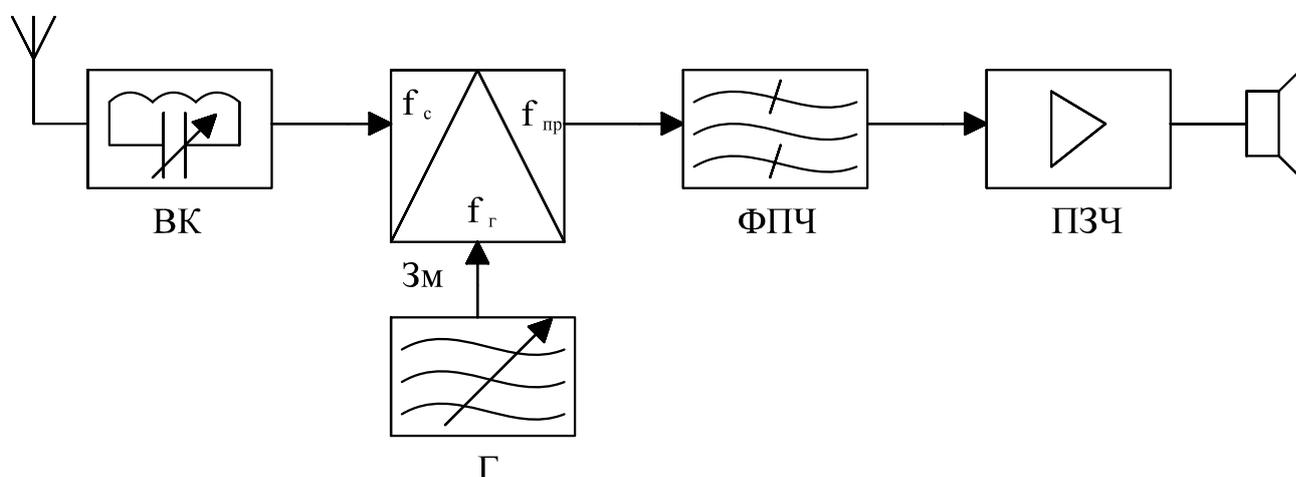


Рисунок 1.4 – Структурна схема приймача прямого перетворення

Чутливість приймача визначається підсиленням ПЗЧ, а селективність – крутизною спаду АЧХ ФНЧ. Перевагою такого типу приймачів є простота та відсутність високочастотного дзеркального каналу. До недоліків відносять

наявність низько частотного дзеркального каналу, чутливість до наводок змінного струму, самозбудження ПЗЧ внаслідок високого коефіцієнта підсилення [3].

1.2 Структурні схеми радіоприймальних пристроїв з цифровою обробкою сигналів

Цифровий радіоприймальний пристрій – це радіоприймальний пристрій, який реалізує функції приймання радіосигналів з використанням цифрових методів обробки прийнятих сигналів [4].

Використання цифрової обробки сигналів (ЦОС) в РПП має як недоліки так і переваги.

До основних переваг використання цифрової обробки сигналів перед аналоговою в РПП відносять:

1. більш висока точність обробки;
2. оперативне і гнучке переквашування алгоритмів обробки;
3. застосування мікросхем з високим рівнем інтеграції;
4. технологічність виготовлення і автоматизації експлуатації пристроїв з ЦОС;
5. створення радіоприймачів з характеристиками, які не досяжні при використанні аналогових методів обробки сигналів [4].

Основні недоліки використання ЦОС перед аналоговою обробкою в РПП:

1. поява шумів квантування;
2. поява каналів накладання спектрів при дискретизації сигналів в АЦП [4].

На рис. 1.5 наведено узагальнену схему радіоприймача з ЦОС.



Рисунок 1.5 – Узагальнена структурна схема радіоприймача з цифровою обробкою сигналів

Розглянемо особливості впровадження ЦОС в радіоприймальні пристрої.

Причини впровадження ЦОС в РПП:

1. використання складних алгоритмів обробки;
2. реалізація універсальних РПП;
3. адаптація до умов ведення зв'язку;
4. висока степінь інтеграції РПП;
5. зниження маси та вартості РПП;
6. використання засобів автоматизації [4].

Використання ЦОС має ряд особливостей, які з одного боку пред'являє жорсткі вимоги до елементної бази, а з іншого спрощує розробку самої елементної бази.

Ряд практичних задач не можливо вирішити за допомогою аналогової обробки сигналів. Цим пояснюється масове впровадження ЦОС в РПП. Не дивлячись на вище зазначені переваги впровадження ЦОС на практиці зв'язано з рядом специфічних особливостей [4].

В цифрових приймачах виділення корисного сигналу з поміж завад та його перетворення виконується цифровими пристроями. Радіосигнал на вході цифрового радіоприймального пристрою являє собою аналогову напругу. Для її обробки необхідний АЦП. Безпосереднє підключення антенні до АЦП не можливе. Оскільки між антеною та АЦП необхідний підсилювач, оскільки вхідна напруга АЦП повинна бути порядку кількох вольт, а чутливість сучасних приймачів складає десятих часток мікрвольта. З цього випливає наступне:

$$E_{A0} \ll U_{\text{вх.АЦП}}, \quad (1.2)$$

де E_{A0} – чутливість приймача;

$U_{\text{вх.АЦП}}$ – потрібна вхідна напруга АЦП [4].

В сучасних АЦП мінімальний крок квантування 0,2 мкВ. Тому необхідно брати до уваги таке явище як шум квантування. Він виникає внаслідок перетворення аналогового сигналу в цифрову форму за рахунок наявності квантованих рівнів в

вихідному сигналі на відміну від суцільного вхідного аналогового сигналу рис. 1.6 [5].

Схема приймача не може розпочинатися з АЦП оскільки він має відносно високий коефіцієнт шуму в порівнянні з іншими каскадами. Коефіцієнт шуму АЦП визначається за формулою:

$$\left(\frac{U_c}{U_{\text{ш}}}\right)_{\text{АЦП}} = 6,02 \times n_{\text{розр.}} + 1,76 \text{ [дБ]}, \quad (1.3)$$

де $\left(\frac{U_c}{U_{\text{ш}}}\right)_{\text{АЦП}}$ - відношення «сигнал – шум» на виході АЦП;

$n_{\text{розр.}}$ – число розрядів АЦП при рівномірному квантуванні [4].

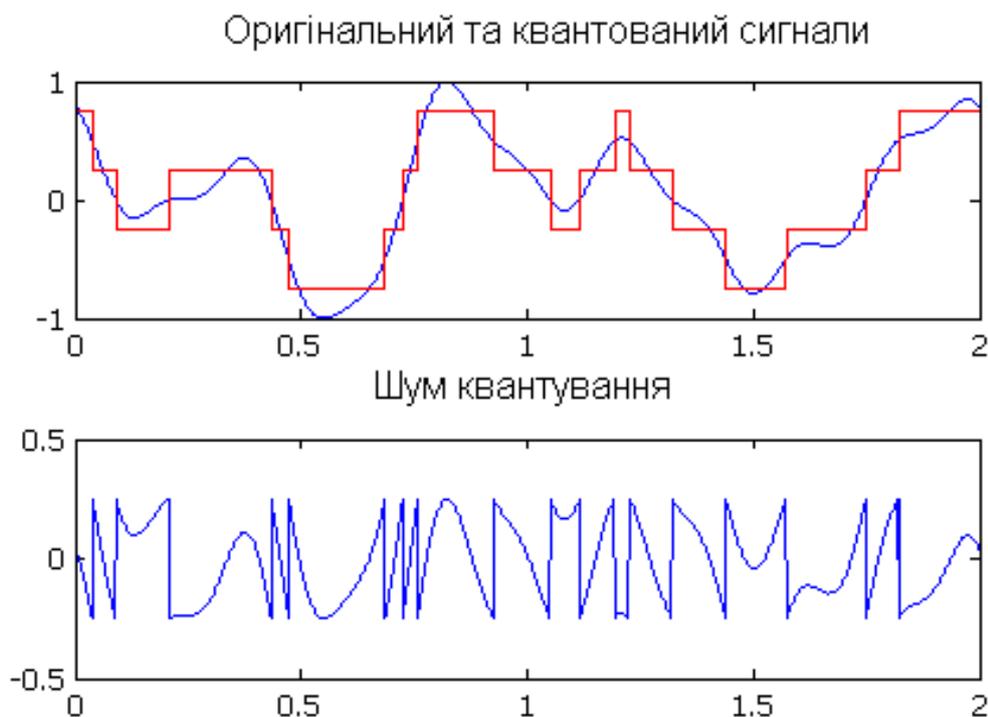


Рисунок 1.6 – Помилка квантування

Виходячи з вимог до радіоприймачів по шумам, АЦП повинен передувати підсилювач, який має відносно великий коефіцієнт підсилення та невеликий коефіцієнт шуму [4].

Динамічний діапазон АЦП не відповідає динамічному діапазону вхідних сигналів радіоприймача. Динамічний діапазон радіоприймача – це відношення максимально допустимої напруги вхідного сигналу до чутливості. Динамічний діапазон визначається за формулою 1.4:

$$D = 20 \lg \left(\frac{E_{A \text{ доп}}}{E_{A 0}} \right), \quad (1.4)$$

де $E_{A 0}$ – чутливість приймача;

$E_{A \text{ доп}}$ – максимально допустима напруга вхідного сигналу [4].

Динамічний діапазон радіоприймача характеризує межі змін рівня вхідних сигналів при яких забезпечується допустима втрата інформації. За допомогою АРП динамічний діапазон може бути доведений до необхідного рівня. Реалізація АРП потребує наявності на вході приймача підсилювача з можливістю регулювання коефіцієнта підсилення [4].

Для виключення впливу шуму квантування на якість прийому потрібно, щоб ефективне значення напруги сигналу на вході АЦП перевищувало шаг квантування:

$$U_{\text{ефек.}(C+3)} > q, \quad (1.5)$$

де $U_{\text{ефек.}(C+3)}$ – ефективна напруга суміші сигналу та завади;

q – шаг квантування АЦП [4].

Прийнятий сигнал повинний бути значно потужнішим шуму квантування:

$$U_{\text{ш.кв.}}^2 \gg U_{\text{ефек.С}}, \quad (1.6)$$

де $U_{\text{ш.кв.}}^2$ – шум квантування;

$U_{\text{ефек.С}}$ – рівень прийнятого сигналу [4].

Від динамічного діапазону вхідних сигналів залежить число рівнів квантування, розрядність та шаг квантування АЦП. Основними параметрами АЦП є кількість рівнів квантування, розрядність та шаг квантування. Ці параметри між собою тісно пов'язані. Залежність рівнів квантування від динамічного діапазону вхідних сигналів визначається по наступній формулі:

$$L \geq D_{\text{ВХ.С.}}, \quad (1.7)$$

де L – кількість рівнів квантування;

$D_{\text{ВХ.С.}}$ – динамічний діапазон вхідних сигналів [4].

Обмежена швидкодія АЦП не дозволяє використовувати його при достатньо високій частоті радіосигналу. Для вибору частоти дискретизації в залежності від несучої та ширини спектру можна застосувати формули:

$$f_d > 2\Delta F_{\text{СП}}; \quad (1.8)$$

$$f_d = \frac{4f_c}{2N_z - 1}, \quad (1.9)$$

де $N_z = 1, 2, 3 \dots$ - номер зони Найквіста;

$2\Delta F_{\text{СП}}$ – ширина спектру;

f_c - несуча частота сигналу [4].

Виходячи з вищевикладеного між антенною і АЦП необхідно встановити перетворювач частоти. Перетворювач частоти забезпечить приведення частоти радіосигналу до необхідного значення частоти вхідної напруги АЦП:

$$F_{\text{ВХ АЦП}} = F_{\text{ТР АЦП}} \leq \frac{1}{2} f_d, \quad (2.0)$$

де $F_{\text{ВХ АЦП}}$ - значення частоти вхідної напруги АЦП;

$F_{\text{ТР АЦП}}$ – потрібне значення частоти вхідної напруги АЦП;

f_d – частота дискретизації [4].

При дискретизації аналогових сигналів в АЦП створюються канали накладання спектрів. Придушення цих каналів виконується за допомогою фільтра який вмикається між антеною та АЦП [4].

Необхідно обмежити спектр прийнятого сигналу для зменшення викривлень, а також для реалізації необхідної розрядності АЦП. Виходячи з цього між антеною та АЦП потрібен смуговий фільтр, який буде забезпечувати необхідну полосу пропускання [4].

Число розрядів АЦП визначає необхідне значення вхідної напруги АЦП.

Структурна схема цифрового радіоприймального пристрою (рис 1.7) до АЦП являє собою структуру супергетеродинного приймача. До переваг такого приймача можна віднести зниження вимог до швидкодії АЦП при зниженні середньої частоти спектру сигналу до проміжної [4].

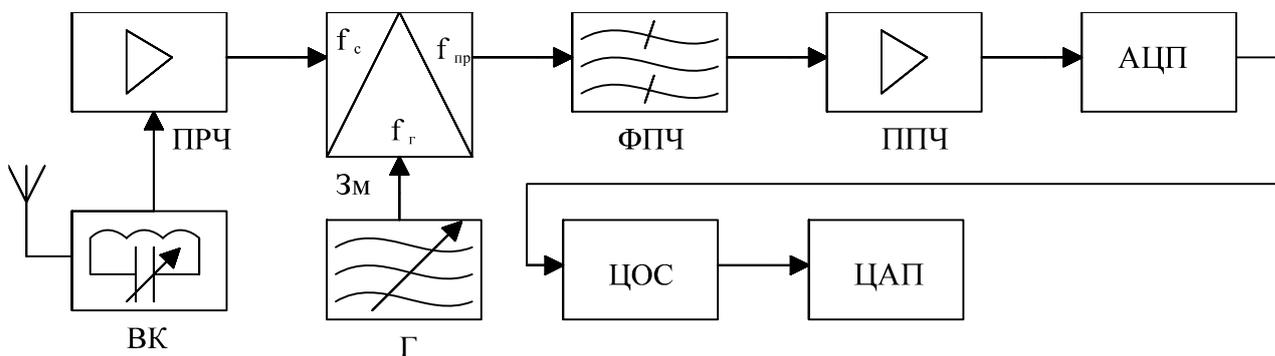


Рисунок 1.7 – Структурна схема цифрового радіоприймального пристрою

Недоліком даного типу приймачів є втрата інформації про фазові співвідношення та огинаючий сигнал при несинхронному гетеродинні. Щоб запобігти цьому застосовують двоканальні квадратурні перетворювачі частоти [4].

Структурна схема цифрового радіоприймального пристрою (рис 1.8) до АЦП представляє собою структуру приймача прямого перетворення с формуванням квадратурних компонентів перед оцифруванням сигналу. Додавання квадратурних

компонентів дає змогу при подальшій обробці аналізувати як амплітуду так і фазу прийнятого сигналу [4].

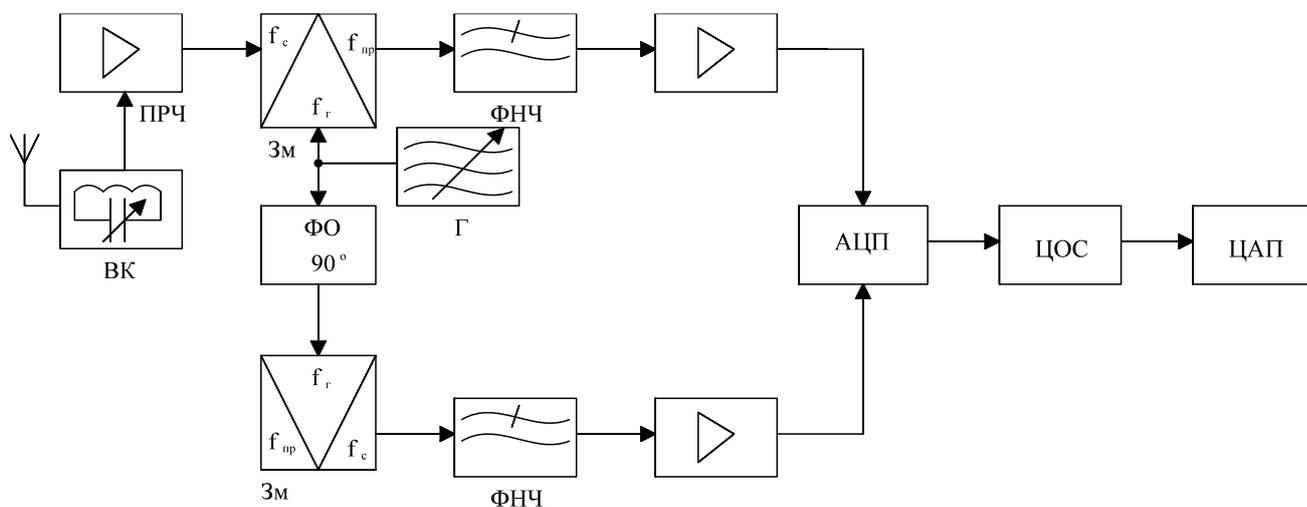


Рисунок 1.8 – Структурна схема цифрового радіоприймального пристрою з квадратурним перетворенням

Для отримання квадратурних вибірок радіосигнал розділяється на дві частини, і потрапляє на два різні змішувача. На вхід другого змішувача потрапляє сигнал гетеродинна, зсунутий по фазі на 90° відносно сигналу який потрапляє на вхід першого змішувача. Результуючі сигнали називаються синфазним та квадратурним. В результаті кожна вибіркова точка сигналу має два значення. Ці сигнали одночасно обробляються АЦП. Приймачі гетеродинного типу мають високу вибірковість та чутливість. До головних проблем приймачів гетеродинного типу відносять: придушення побічних каналів та узгодження квадратурних каналів по фазі [4].

Ще одним варіантом побудови структурної схеми цифрового радіоприймального пристрою, є схема, яка представляє собою структуру приймача прямого підсилення рис. 1.9. В цьому випадку ВК представляє собою фільтр який придушує канали накладання спектрів. ПРЧ забезпечує необхідний рівень сигналу для коректної роботи АЦП. Такі приймачі мають гіршу вибірковість та чутливість ніж вище описані [4].

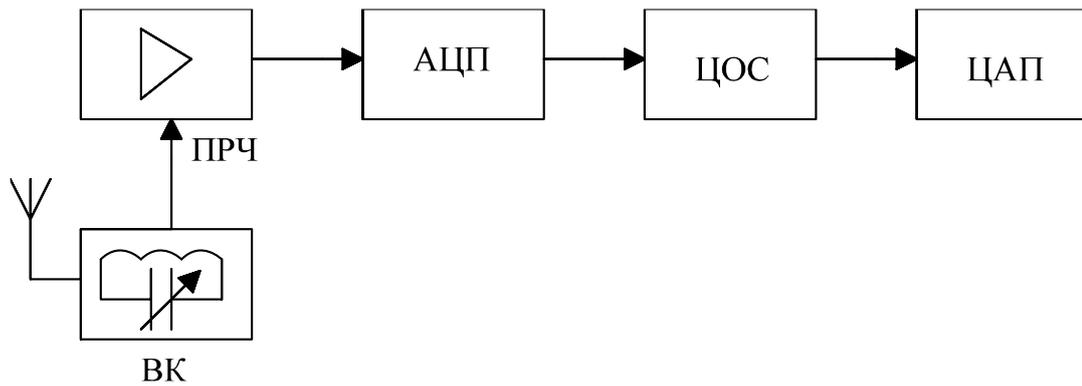


Рисунок 1.9 – Структурна схема цифрового радіоприймального пристрою с обробкою до АЦП

1.3 Висновки до першого розділу

Виходячи з вищезазначеної логіки реалізації ЦОС в техніці радіоприймання узагальнена блок-схема цифрового радіоприймального пристрою буде містити:

1. аналогову частину приймального тракту (АЧПТ) або радіо блок;
2. блок аналого-цифровий перетворювач (АЦП) або блок дискретизації та квантування;
3. цифрову частину приймального тракту.

Склад АЧПТ може собою представляти собою супергетеродинну схему, схему прямого перетворення або схему прямого посилення (у найпростішій формі, підсилювач ВЧ та фільтр).

Переваги та недоліки цифрового радіо пов'язані з перевагами та недоліками схем аналогових та цифрових частин цифрових радіоприймачів.

Проаналізувавши літературу та періодичні видання можна зробити висновок, що для побудови сучасних приймачів найдоречніше використовувати одно кристальні мікросхеми з високим рівнем інтеграції. Такі мікросхеми мають в своїй структурі всі необхідні блоки (АЧПТ, ФЦП, ЦОС, ЦАП). Тому беручи до уваги ці відомості було розроблено структурну схему приймача (див. додаток Б) з використанням мікросхем такого типу.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ПРИЙМАЧА МОВНОГО ДІАПАЗОНУ

2.1 Вибір елемента тракту радіочастоти

Для побудови тракту радіочастоти використано мікросхему RDA5807FP. Структурна схема мікросхеми зображено на рисунку 2.1 [6]. Технічно RDA5807FP – складний виріб, але, на щастя, досить простий в застосуванні завдяки високому ступеню інтеграції і мінімальному наборі зовнішніх компонентів. До того ж, виробник пропонує повний набір посібників по її застосуванню, що включає схемотехнічні рішення з її застосування. Готовий виріб не потребує підлаштування зовнішніх елементів. Електричні характеристики мікросхеми та її приймача наведені в таблицях 2.1 - 2.2 [6] відповідно. Проаналізувавши характеристики мікросхеми можна зробити висновок що, вони задовольняють вимоги технічного завдання.

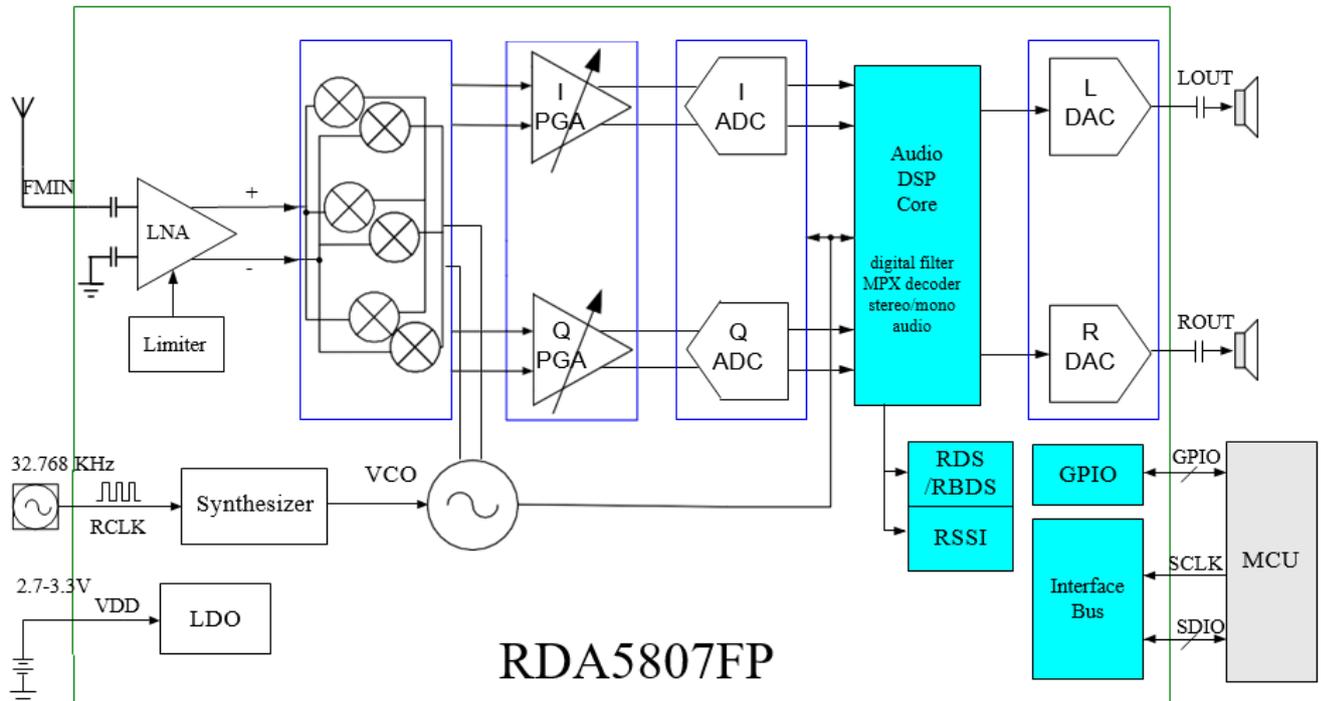


Рисунок 2.1 – Структурна схема мікросхеми FP5807FP

Таблиця 2.1 – Електричні характеристики мікросхеми FP5807FP

Позначення	Опис	Мінімальне	Типове	Максимальне	Одиниця виміру
VDD	Напруга живлення	2,7	3,0	3,3	В
T _{amb}	Температура навколишнього середовища	-40		+90	С°
I _{VDD}	Струм живлення	-	20	-	мА
I _{PD}	Струм живлення в черговому режимі	-	25	-	мкА

Таблиця 2.2 – Характеристики приймача

Позначення	Опис	Умови	Мінімальне	Типове	Максимальне	Одиниця виміру	
F _{in}	Діапазон вхідних частот FM		50		115	МГц	
V _{rf}	Чутливість	S/N = 26 дБ	50 МГц	-	1,4	1,8	мкВ
			65 МГц	-	1,2	1,5	
			88 МГц	-	1,2	1,5	
			98 МГц	-	1,3	1,5	
			108 МГц	-	1,3	1,5	
			115 МГц	-	1,3	1,8	
IP _{3in}	Вхід IP3		80	-	-	дБ мкВ	
α_{am}	Придушення АМ		60	-	-	дБ	
S ₂₀₀	Селективність	± 200 кГц	50	70	-	дБ	
S ₄₀₀	сусіднього каналу	± 400 кГц	60	85	-	дБ	

Продовження таблиці 2.2 – Характеристики приймача

V_{AFL} ; V_{AFR}	Вихідна напруга	При максимальній гучності	-	36 0	-	мВ
S/N	Співвідношення сигнал/шум	Моно	55	57	-	дБ
		Стерео	53	55	-	

Мікросхема працює наступним чином. Сигнал, прийнятий антеною, посилюється мало шумливим підсилювачем (LNA), підсилення якого регулюється блоком АРП (AGC). Потім сигнал поступає на понижуючий перетворювач частоти який придушує сигнал від сусідніх радіостанцій. З виходу перетворювача сигнал потрапляє до підсилювача і АЦП. Цифровий сигнал оброблюється DSP – процесором, який де модулює його та виконує продавленням шумів в отриманому мультиплексованому сигналі (рис 2.2), змішуючи моно сигнали з різницевими складовими. Далі сигнал надходить на ЦАП лівого і правого каналів і після цього сигналом звукової частоти виводиться до підсилювача або гарнітури [7].

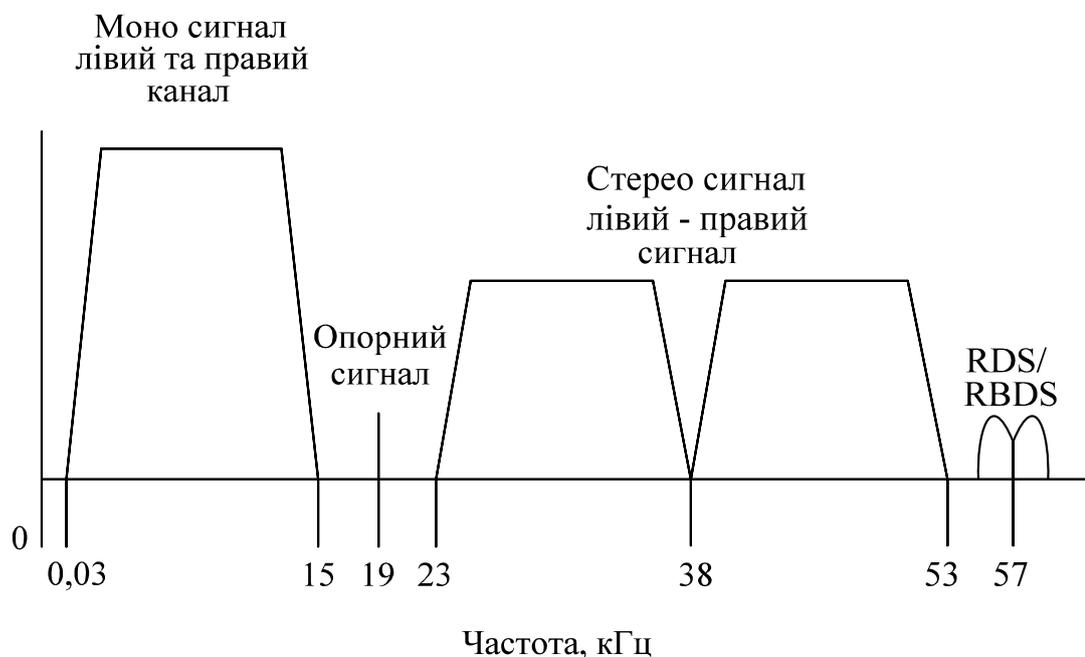


Рисунок 2.2 – Мультиплексований FM – сигнал

Призначення елементів керування відповідно з рис. 2.3. S1 – ввімкнення/вимкнення приймача, S2 та S3 збільшення та зменшення гучності відповідно, S4 та S5 перемикач каналу вгору та вниз відповідно. При тривалому натисненні на кнопки S4 або S5 виконується авто пошук радіостанцій.

2.2 Розрахунок стабілізатора напруги

Оскільки в якості джерела живлення використано літій-іонний акумулятор типорозміру 18650 вихідна напруга якого коливається в межах 3.7 – 4.2 В. Виходить неузгодженість вихідної напруги елемента живлення та напруги живлення мікросхеми FP5807FP. Тому для узгодження напруг живлення використано інтегральний стабілізатор.

Для побудови стабілізатора напруги використано мікросхему серії AMS1117 характеристики яких наведенні в таблиці 2.3 [8]. Мікросхема живлення AMS1117 SOT-223 відноситься до типу лінійних стабілізаторів напруги, мікросхема призначена для автоматичного, постійної підтримки стабільного напруги. Лінійні стабілізатори - пристрої, які працюють в своїй лінійної області. Лінійні стабілізатори прості і не вимагають великої кількості додаткових електронних компонентів.

Таблиця 2.3 – Характеристики мікросхем серії AMS1117

Пристрій	Вихідна напруга			Одиниця виміру
	Мінімальна	Номінальна	Максимальна	
AMS1117-ADJ	Регулюється зовнішніми елементами в межах 1,5 - 12 В			
AMS1117-1.2	1,176	1,200	1,224	В
AMS1117-1.5	1,470	1,500	1,530	В
AMS1117-1.8	1,764	1,800	1,836	В
AMS1117-2.5	2,450	2,500	2,550	В

Продовження таблиці 2.3 – Характеристики мікросхем серії AMS1117

AMS1117-2.85	2,794	2,850	2,907	B
AMS1117-3.3	3,234	3,300	3,366	B
AMS1117-5.0	4,900	5,000	5,100	B

Беручи до уваги дані таблиці 2.3 для побудови стабілізатора напруги можна використати мікросхем AMS1117-2.85 або AMS1117-ADJ. Типові схеми ввімкнення цих мікросхем наведено на рисунку 2.4 [8].

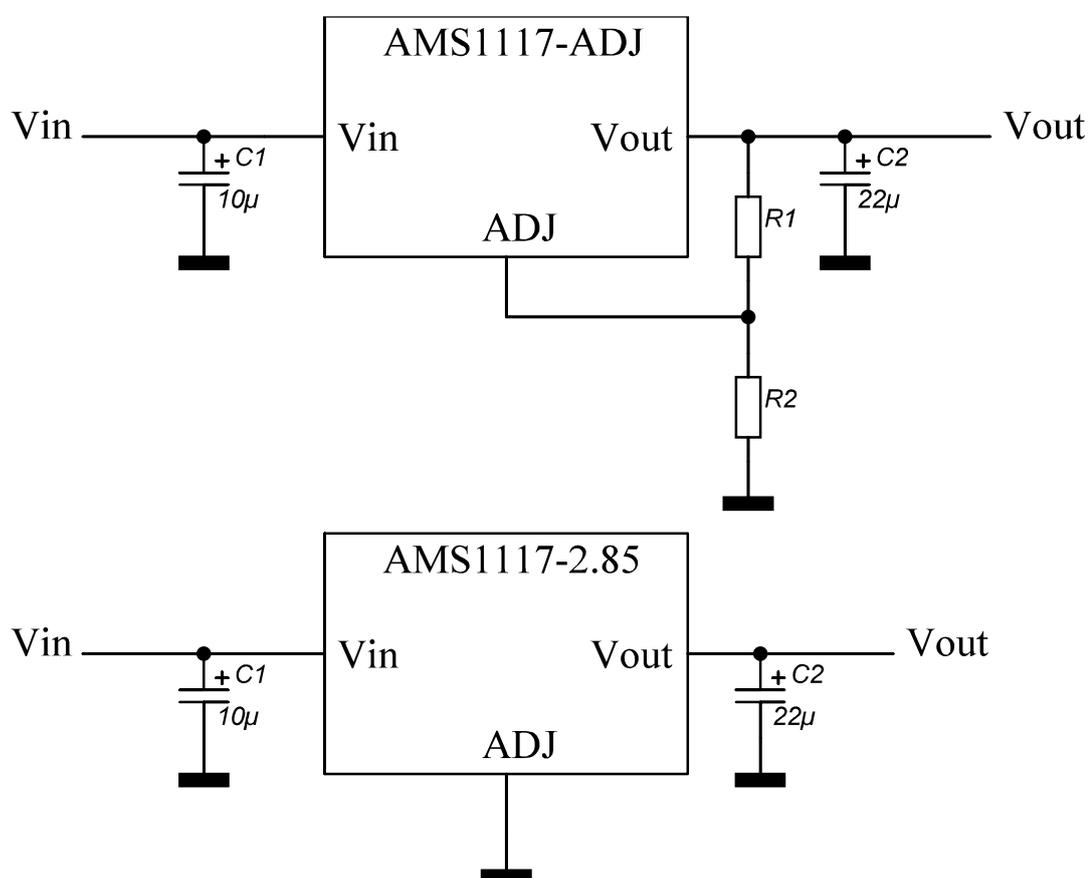


Рисунок 2.4 – Типові схеми ввімкнення мікросхем AMS1117-2.85 та AMS1117-ADJ

При використанні мікросхеми AMS1117-2.85 ніякі допоміжні елементи не потрібні, окрім фільтруючих конденсаторів на вході та виході. Мікросхеми AMS1117-ADJ більш поширена чим AMS1117-2.85, але при її використанні необхідно розрахувати номінали резистивного дільника який виконаний на

елементах R_1 та R_2 . Задавши значення резистора $R_1 = 124$ Ом розрахуємо опір резистора R_2 за формулою 2.1:

$$R_2 = (V_{OUT} - V_{REF}) \times \frac{R_1}{V_{REF}}, \quad (2.1)$$

де V_{OUT} – вихідна напруга 3В;

V_{REF} – довідкова напруга яка дорівнює 1,25 В.

Отже

$$R_2 = (3 - 1,25) \times \frac{124}{1,25} = 173,6 \text{ [Ом]}.$$

Використовуючи ряди номіналів резисторів обираємо відповідні резистори.

2.3 Розрахунок вхідного кола

Вхідним колом називають частину радіоприймального пристрою яка зв'язує антенну з першим каскадом радіоприймача. Зазвичай він складається з елементів зв'язку з антенною, селективного елемента та елемента зв'язку з першим каскадом. Якщо перший каскад виконаний на польовому транзисторі елемент зв'язку з першим каскадом може бути відсутній, оскільки вплив каскаду на ПТ на коливальний контур дуже малий [9].

Основним призначенням вхідного кола є передача прийнятного сигналу від антени до входу першого каскаду приймача та попереднє фільтрування сторонніх завад. Для підвищення чутливості приймача вхідне коло повинне забезпечувати коефіцієнт передачі напруги (потужності) близький до одиниці, в діапазоні робочих частот [9].

В якості вхідного кола було вирішено використати схему з ємнісним зв'язком рис. 2.5. Оскільки, вона є найбільш простою і широко використовується на УКХ

діапазоні. Крім того в ній відсутній трансформатор, що значно спрощує реалізацію даної конструкції.

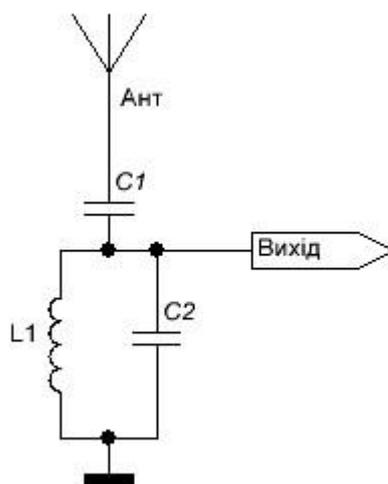


Рисунок 2.5 – Вхідне коло з ємнісним зв'язком

Розрахунок коливального контуру проведено на середню частоту FM діапазону 98 МГц. Для подальших розрахунків задаємо ємність конденсаторів $C2 = 25$ пФ, $C1 = 100$ пФ. Розрахунок індуктивності проведемо за формулою 2.2:

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C}, \quad (2.2)$$

де f – резонансна частота коливального контуру;

C – ємність конденсатора.

Отже

$$L1 = \frac{1}{4\pi^2 (9,8 \times 10^7)^2 \times (2,5 \times 10^{-11})} = 1,055 \times 10^{-7} \text{ [Гн]}.$$

Для виготовлення котушки індуктивності використано мідний дріт діаметром 0,63 мм. В якості оправки для намотки використано стержень діаметром

5 мм. Для розрахунку кількості витків котушки використано програмний пакет Coil 32. Результати розрахунків представлені на рис. 2.6.

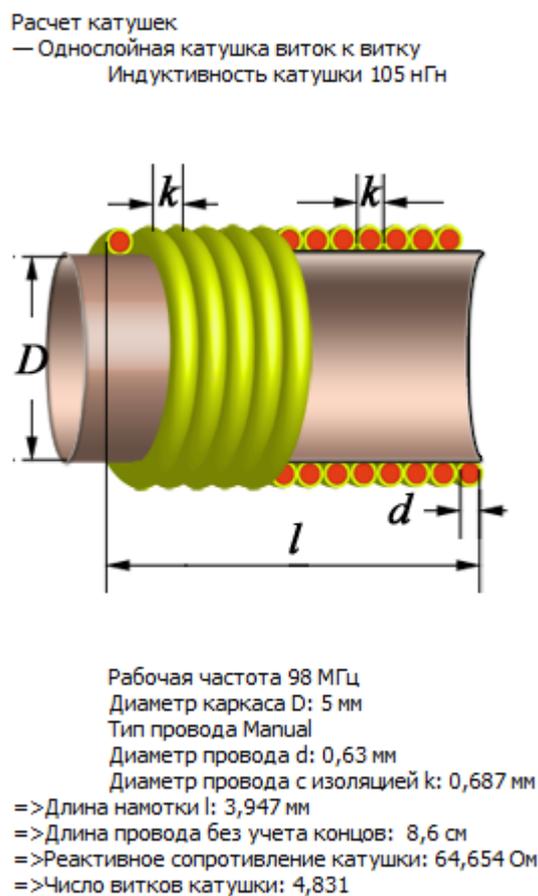


Рисунок 2.6 – Скріншот вікна програми Coil 32 з результатом розрахунку кількості витків котушки індуктивності

Малощумливий підсилювач мікросхеми RDA5807FP виконаний на польовому транзисторі рис. 2.7 [6]. З рис 2.7 видно, що в своїй структурі мікросхема має захисні діоди, але в технічній документації рекомендується встановити додаткові захисні діоди [6]. Хоча будь-який напівпровідниковий пристрій можна вивести з ладу електростатичним розрядом, однак пристрої на МОН – транзисторах особливо чутливі до пробую, оскільки енергія, накопичена в ємності затвор – канал, при досягненні напруги пробую стає достатньою для того, щоб пробити отвір в тонкому шарі ізоляції затвору [10].

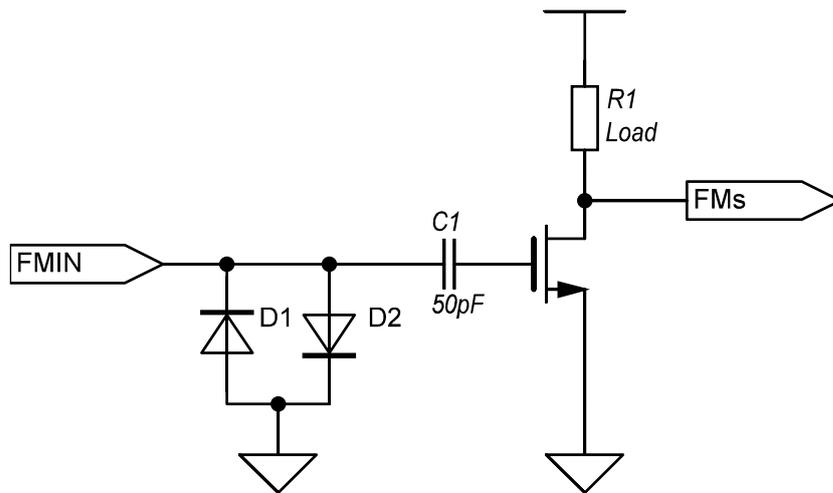


Рисунок 2.7 – Схема мало шумливого підсилювача мікросхеми RDA5807FP

Беручи до уваги ці відомості вхід мікросхеми необхідно захистити від негативного впливу електростатичного розряду. Найбільш поширеним методом захисту є застосування захисних діодів. Вибір конфігурації залежить від рівня напруги і рівня постійного струму на лінії.

Кремнієві діоди розпочинають пропускання сигнал при прикладеній напрузі в 0,5 В, антипаралельна конфігурація, показана на рис. 2.8, переважно підходить для ліній з низьким рівнем сигналу. Така конфігурація забезпечує найменшу максимальну напругу обмеження, це зумовленою тим, що будь-який із двох діодів працює в прямому напрямі в випадку виникнення ЕСР [11].

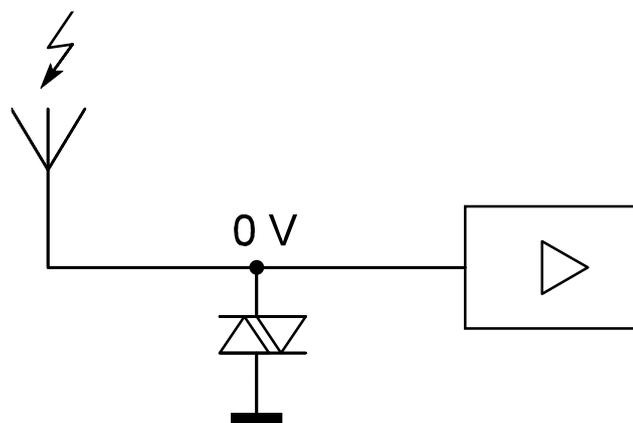


Рисунок 2.8 – Антипаралельна конфігурація захисту від ЕСР

Враховуюче вище сказане схема ВК набуває наступного вигляду рис. 2.9.

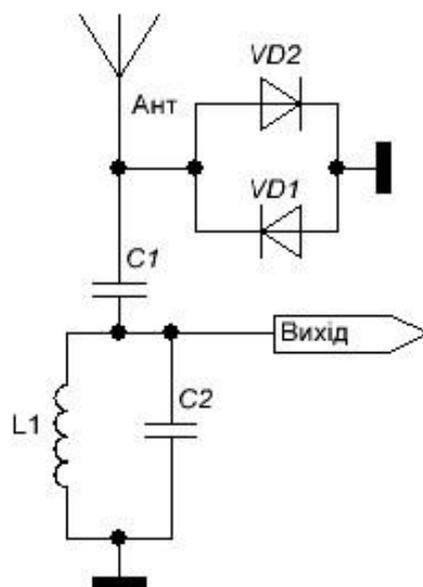


Рисунок 2.9 – ВК з захистом від ЕСР

Моделювання характеристик вхідного контуру буду проводитися в наступному розділі.

2.4 Вибір підсилювач потужності низької частоти

Оскільки вихідна потужність мікросхеми RDA5807FP недостатньо для прямого підключення гучномовців, є необхідність в підсилювачі потужності низької частоти. Підсилювач побудовано на базі мікросхеми потужності TDA2822M. Мікросхеми призначена для створення простих підсилювачів потужності звукової частоти. Перевагами використання цієї мікросхеми є низьке енергоспоживання, низькі нелінійні викривлення, низька вартість, малогабаритний корпус, для роботи потребує мінімум зовнішніх елементів та низька напруга живлення. Характеристики мікросхеми при роботі в стерео режимі наведено в таблиці 2.4 [12].

Таблиця 2.4 – Характеристики мікросхеми TDA2822M при роботі в стерео режимі

Параметр	Значення		
	Мінімальне	Номінальна	Максимальне
Напруга живлення	1,8 В		12 В
Струм спокою		9 мА	
Вихідна напруга шумів		0,5 мВ	2 мВ
Коефіцієнт підсилення		40 дБ	
Різниця підсилення каналів	-1 дБ	0 дБ	+1 дБ
Вихідна потужність ($U_n = 9 \text{ В}$, $R_n = 8 \text{ Ом}$, Стерео)		1 Вт	
Вихідна потужність ($U_n = 6 \text{ В}$, $R_n = 4 \text{ Ом}$, Стерео)		0,65 Вт	
Вихідна потужність ($U_n = 6 \text{ В}$, $R_n = 4 \text{ Ом}$, Міст)		1,35 Вт	
Кни ($R_n = 8 \text{ Ом}$, Стерео, $P = 0,2 \text{ W}$)		0,5 %	
Кни ($R_n = 8 \text{ Ом}$, Міст, $P = 0,5 \text{ W}$)		0,5 %	
Вхідний опір на частоті 1 кГц	100 кОм		
Перехідне загасання між каналами на частоті 1 кГц		50 дБ	

На рис. 2.10 [12] показано типову схему ввімкнення мікросхеми TDA2822M в стерео режимі. Коефіцієнт підсилення мікросхеми в 40 дБ виявився надмірним для сучасних джерел сигналу. Напруга вихідного сигналу мікросхеми RDA5807FP при максимальній гучності складає 360 мВ. Тому для зменшення вихідної напруги на вході підсилювача встановлено резистори R1 та R2 опір яких складає 47 КОм.

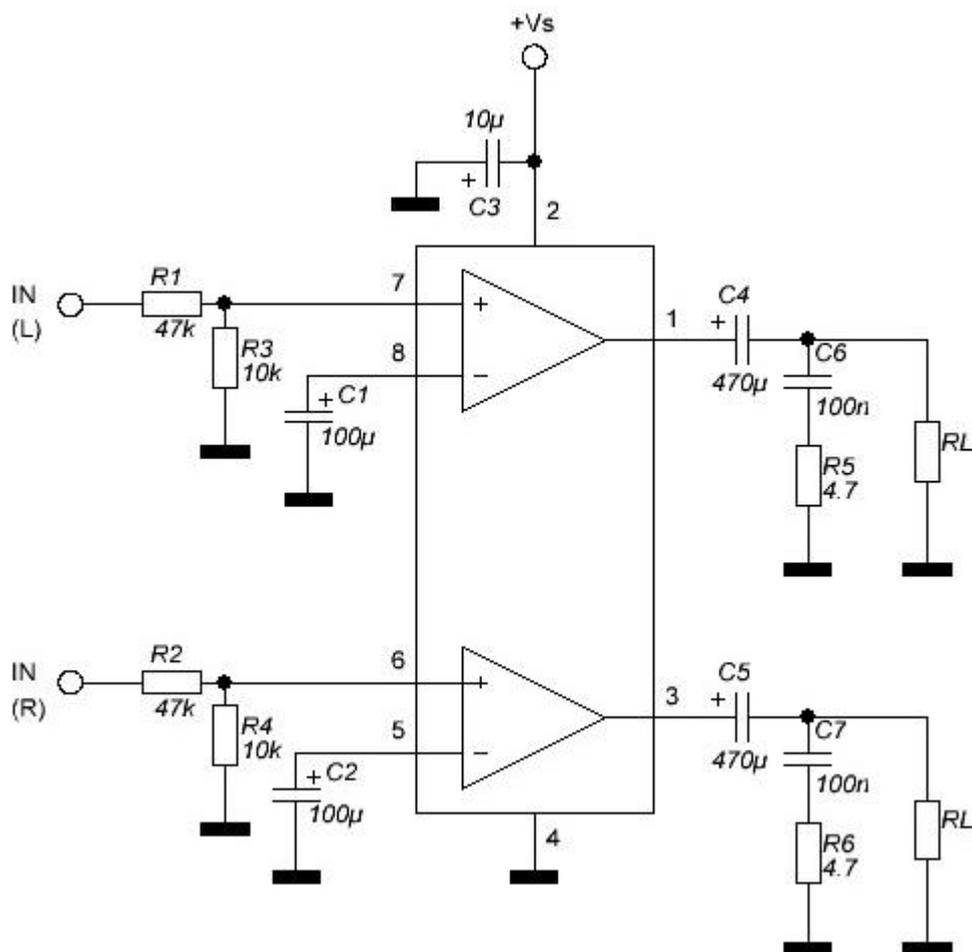


Рисунок 2.10 – Типова схема ввімкнення мікросхеми TDA2822M

Призначення елементів відповідно з рис. 2.10. На резисторах R1, R3 та R2, R4, побудовано ділянки напруги лівого та правого каналу відповідно, які задають відповідний рівень сигналу на вході мікросхеми TDA2822M (вивід 6 та 7 відповідно) та визначають вхідний опір підсилювача. В ланцюзі НЗВ за допомогою конденсаторів C1 та C2 виконано з'єднання з загальним проводом по змінному струму (мінусом). З'єднання з навантаження виконано через розділюючі конденсатори C4 та C5, оскільки на виході присутня постійна напруга рівна половині напруги живлення. На виході кожного каналу ввімкнено компенсуючі ланцюги Буше - Цобеля C6, R5 та C7, R6 які забезпечують стабільну роботу підсилювача в відтворюваних діапазонах частот. Конденсатор C3 фільтруючий по живленню.

2.5 Вибір схеми захисту пристрою від неправильного підключення елемента живлення

Підключення елемента живлення з невірною полярністю – це помилка яку досить просто зробити. На щастя, захист пристрою від невірної полярності доволі проста справа. Заміна місцями позитивного та негативного контактів елемента живлення призведе до виходу з ладу пристрою.

Найпростішим методом захисту від невірного підключення елемента живлення є ввімкнення захисного діода послідовно або паралельно навантаженню. Головним недоліком послідовного ввімкнення (рис 2.11) є падіння напруги, що виникає на діоді. В залежності від типу діода який використаний, на ньому приблизно може втрачатися 0,2 В (діод Шотткі) та до 0,7 - 1 В – на звичайних випрямляючих діодах с р-n переходом. Такі втрати недопустимі при живленні від акумулятора [13].

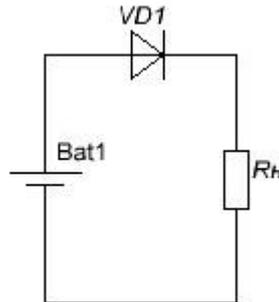


Рисунок 2.11 – Захист від неправильної подачі полярності за допомогою діода ввімкненого послідовно з навантаженням

При паралельному ввімкненні захисного діода (рис 2.12) відносно навантаження втрати відсутні при нормальному режимі роботи. В випадку невірному ввімкненні елемента живлення виникне коротке замикання, що може призвести до виводу з ладу елемента живлення. Якщо елемент живлення виявиться достатньо потужним то до виходу з ладу захисного діода та пристрою в цілому [13].

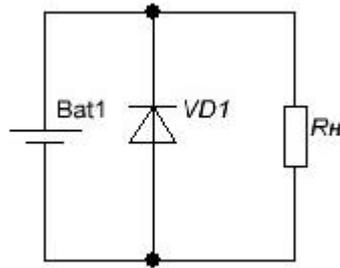


Рисунок 2.12 – Захист від неправильної подачі полярності за допомогою діода ввімкненого паралельно з навантаженням

Відносно просте рішення практично позбавлене недоліків попередніх схем приведено на рис 2.13. Мале падіння напруги на відкритому переході транзистор в нормальному режимі роботи та відсутність струму в випадку невірною підключення елемента живлення. Головна проблема це висока вартість та гірші параметри р – канальних транзисторів в порівнянні з n – канальними MOSFET транзисторами [14].

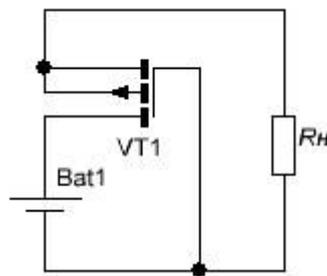


Рисунок 2.13 – Захист від неправильної подачі полярності за допомогою польового р – канального MOSFET транзистора

Тому для побудови схеми захисту від невірною підключення джерела живлення використано n – канальний MOSFET транзистор AP40T03GH його характеристики наведені в таблиці 2.5 [15]. Потужні польові транзистори мають досить високу ємність затвор – канал (від сотень пікофарад, до десятків нанофарад і більше). Через це ЕСР від людського тіла вони витримують без проблем – ємність достатньо велика, щоб заряд не викликав негативних наслідків (пробою ізоляції затвор - канал).

Таблиця 2.5 – Характеристики транзистора AP40T03GH

Параметр	Значення	Одиниця виміру
Максимальна розсіювана потужність	31,25	Вт
Гранично допустима напруга стік - витік	30	В
Гранично допустима напруга затвор - витік	25	В
Гранична напруга включення	3	В
Максимально допустимий постійний струм стоку	28	А
Максимальна допустима температура каналу	150	°С
Час наростання	62	нс
Вихідна ємність	145	пФ
Опір стік-витік відкритого транзистора	0,025	Ом
Тип корпусу	ТО - 252	-

Схема захисту від невірної підключення елемента живлення наведено на рис 2.14.

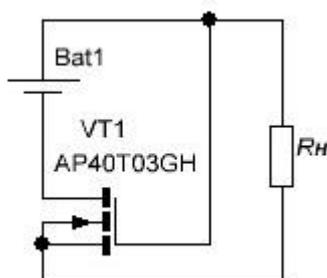


Рисунок 2.14 – Захист від неправильної подачі полярності за допомогою польового n – канального MOSFET транзистора

Опір відкритого каналу транзистора досить малий, тому падінням напруги на транзисторі можна знехтувати.

2.6 Висновки до другого розділу

В даному розділі було спроектовану принципову електричну схему приймача мовного діапазону (див. додаток В). Розділ має наступні підрозділи: вибір елемента тракту радіочастоти, розрахунок стабілізатора напруги, розрахунок вхідного кола, вибір підсилювач потужності низької частоти та захист пристрою від неправильної подачі полярності.

В першому підрозділі було обрано мікросхему обробки радіочастотних сигналів. Мікросхема RDA5807FP – це УКХ приймач з цифровою обробкою сигналів, який цілком задовольняє вимоги технічного завдання.

В другому підрозділі розраховано стабілізатор напруги. Стабілізатор напруги має два варіанти виконання на мікросхемі AMS1117-ADJ та AMS1117-2.85 (див. додаток В). Це пов'язано з тим, що мікросхема AMS1117-ADJ більш поширена, а схемо технічне рішення з використанням AMS1117-2.85 простіше за рахунок відсутності зовнішніх елементів (окрім фільтрувальних конденсаторів).

Розрахунок вхідного кола було проведено в третьому підрозділі. В якості схемотехнічного рішення було використано схему з ємнісним зв'язком. Головна перевага такого рішення це простота її реалізації.

В четвертому та п'ятому підрозділі було виконано вибір інтегральної мікросхеми підсилювача низької частоти та обрано схему захисту від невірної підключення елемента живлення відповідно.

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

3.1 Моделювання характеристик вхідного кола

Для моделювання характеристик вхідного кола використано програмний пакет схемотехнічного моделювання Multisim. Multisim – це програма моделювання і розрахунку електронних та електричних схем пристроїв. Широкий набір приладів дозволяє проводити виміри різних величин та будувати графіки.

Для дослідження характеристик було використано наступну схему рис 3.1.

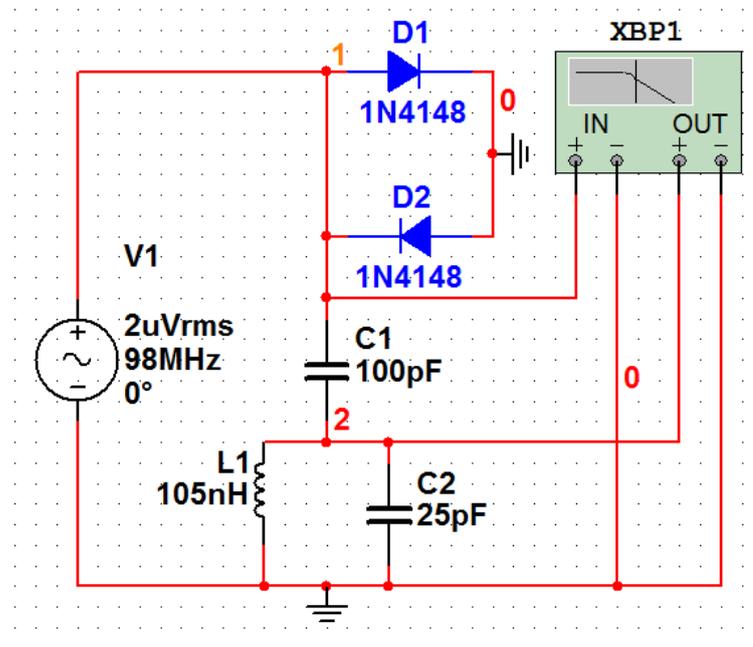


Рисунок 3.1 – Схема дослідження вхідного кола

За допомогою вимірювача діаграм Боде (або потер Боде) було проведено аналіз АЧХ ВК рис 3.2. На рисункові можна побачити, що АЧХ ВК в діапазоні робочих частот має пологий спад, що забезпечує низький коефіцієнт викривлення сигналу.

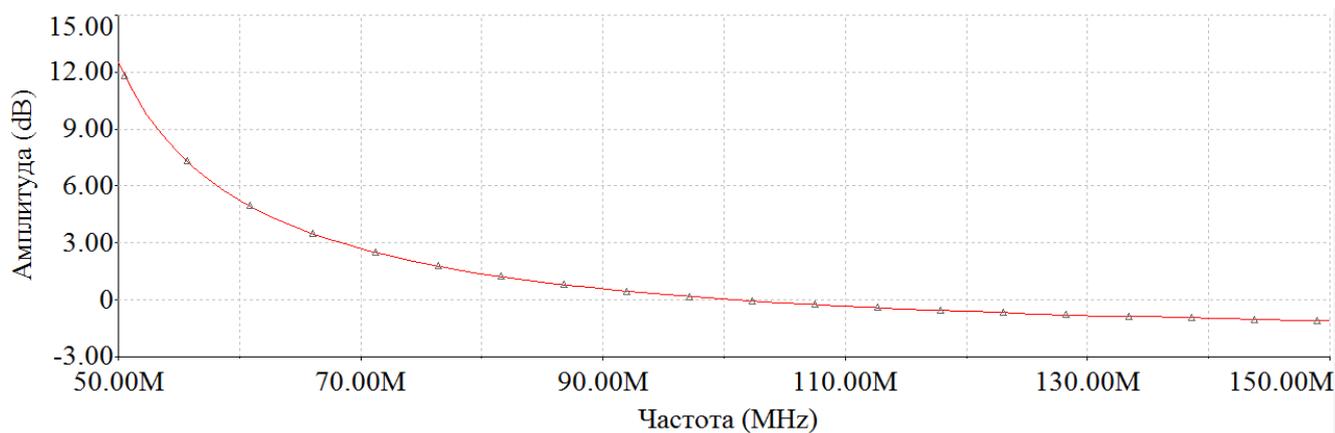


Рисунок 3.2 – Амплітудно частотна характеристика вхідного кола

На рис. 3.3 наведено графік залежності коефіцієнта передачі від частоти.

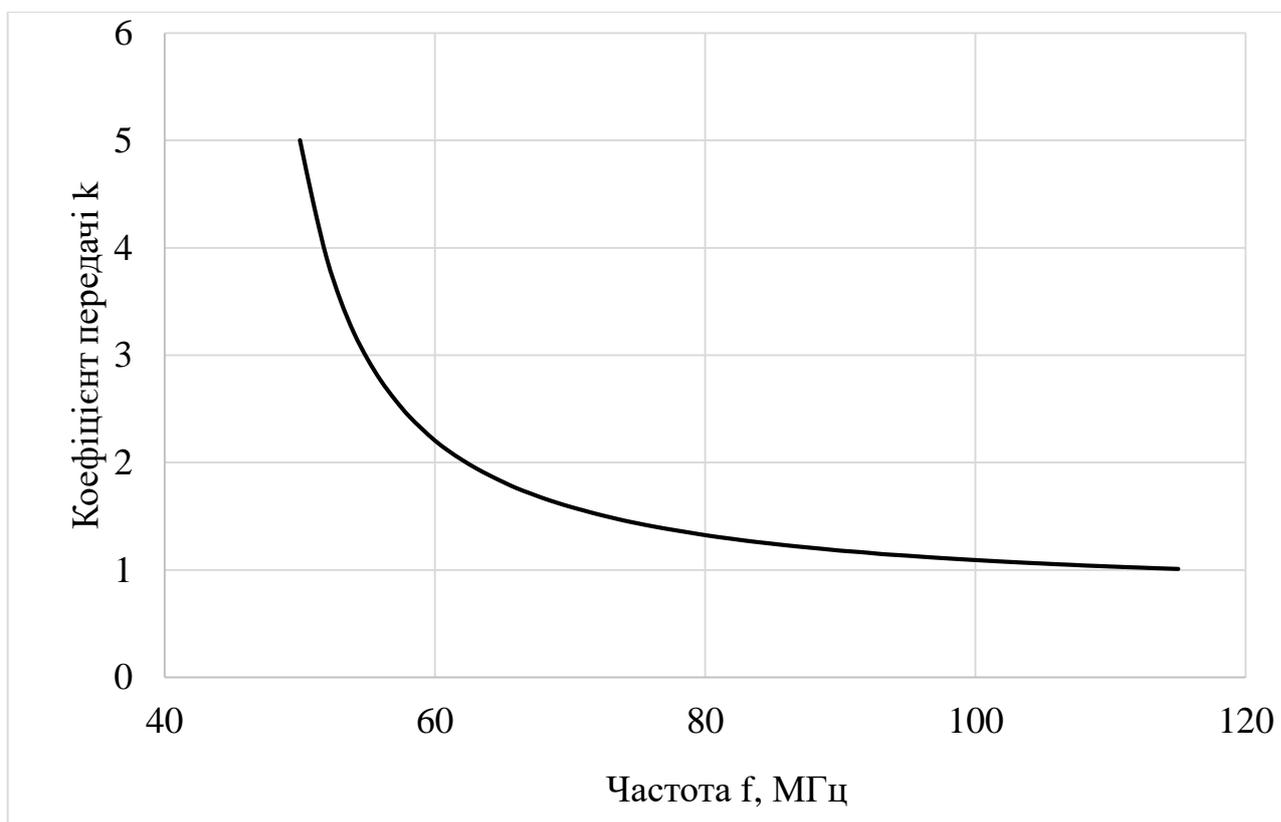


Рисунок 3.3 – Графік залежності коефіцієнт передачі від частоти

3.2 Проектування друкованої плати

Матеріал, який буде використовуватися в якості основи для друкованої плати, повинен мати високі електроізоляційні властивості та бути стійким до механічних впливів. Ці критерії задовольняють такі електротехнічні матеріали, як склотекстоліт, гетинакс, кераміка та інші.

Найпоширенішими матеріалами для виготовлення друкованих плат є гетинакс та склотекстоліт, фольговані електролітичною мідною фольгою різної товщини. Склотекстоліт – це матеріал зі спресованих склотканини, пропитаний епоксидною смолою. Гетинакс – це матеріал зі спресованих слоїв електроізоляційного паперу, пропитаний фенольною смолою [16].

В якості матеріалу для виготовлення проектованої друкованої плати обрано фольгований склотекстоліт СФ-1-35Г, оскільки склотекстоліт переверщує гетинакс по всім електричним та механічним параметрам, але поступається за економічними показниками. Оскільки в технічному завданні економічні показники виготовлення даного пристрою не обумовлені, то цей критерій є менш важливим, ніж електромеханічні параметри.

На рис. 3.4 зображено трасування друкованих плат розроблених в Proteus Ares.

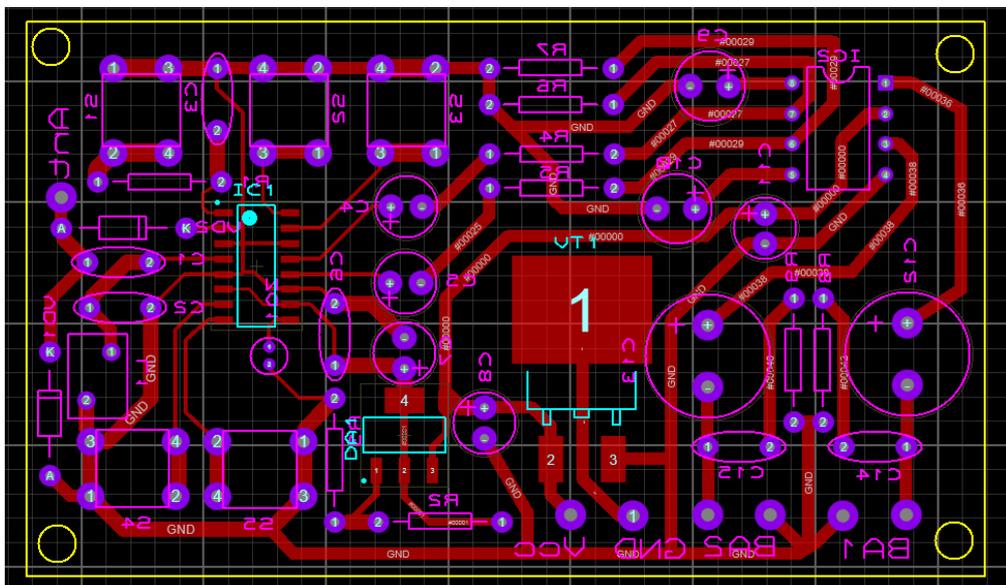


Рисунок 3.4 – Трасування друкованої плати

На рис 3.5 та 3.6 показано 3D моделі спроектованого друкованого вузла.

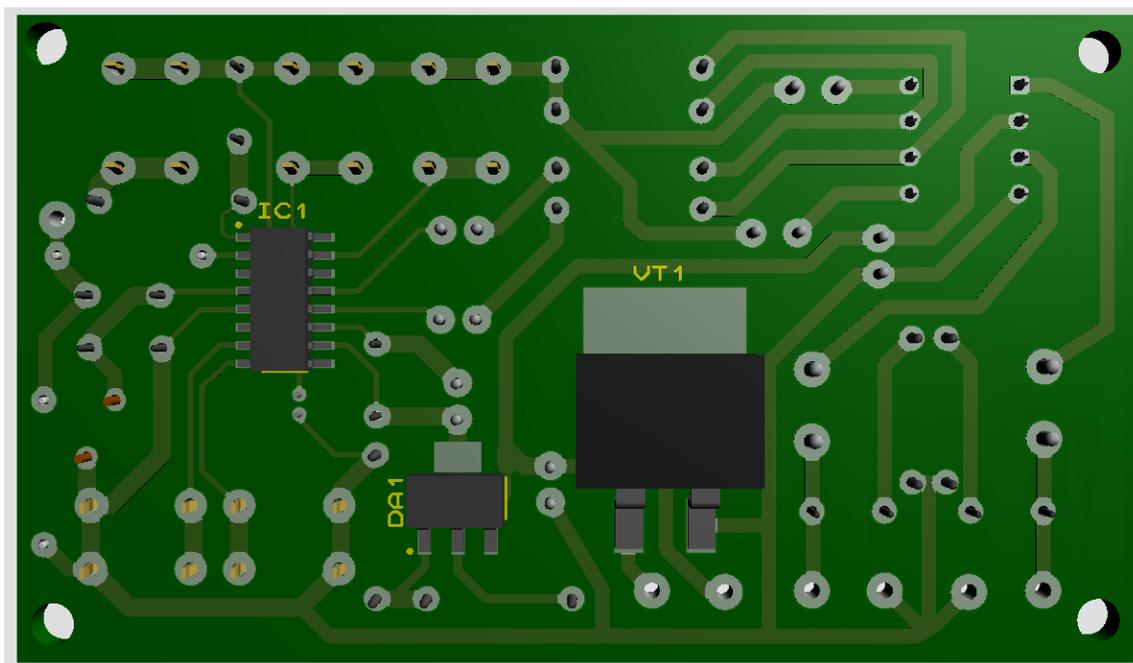


Рисунок 3.5 – 3D модель друкованого вузла. Вигляд зі сторони провідників



Рисунок 3.6 – 3D модель друкованого вузла. Вигляд зі сторони компонентів
наскрізного монтажу

Плату спроектовано таким чином, що можна використовувати один з двох стабілізаторів напруги AMS1117-ADJ та AMS1117-2.85. При використанні

AMS1117-2.85 резистор R2 не встановлюється, а на місце резистора R3 встановлюється перемичка. Якщо ж використовувати AMS1117-ADJ то необхідно встановити резистори R2 та R3 відповідно до схеми.

3.3 Розрахунок показників надійності пристрою

Надійність – це властивість виробу зберігати на протязі заданого часу у встановлених межах значення функціональних параметрів при заданих умовах (заданні режими і умови експлуатації, технічного обслуговування, зберігання і транспортування) [17].

Під відмовою розуміють повну або часткову втрату виробом працездатності. При розрахунках вважатимемо, що відмова відбудеться коли хоча один елемент вийде з ладу. Для розрахунку надійності використаємо методику наведену в джерелі [18].

До основних характеристик та показників надійності відносять: ймовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмови, середній час напрацювання на відмову та ймовірність відмови. Вихідними даними для розрахунків є: схема електрична принципова (див. додаток В), умови експлуатації виробу та значення інтенсивності відмов радіо компонентів [18].

В таблицях 3.1 та 3.2 наведено дані про коефіцієнт умов роботи та значення інтенсивності відмови радіо компонентів [17, 18]

Таблиця 3.1 – Коефіцієнти умови роботи

Умови експлуатації	Коефіцієнт, К
Лабораторні	1,0
Приміщення с регульованою температурою та вологістю	1,1
Космос (на орбіті)	1,5
Наземні стаціонарні умови	2,5
Наземні перевозимі	5,0

Продовження таблиці 3.1 – Коефіцієнти умови роботи

Наземні рухомі (переносні)	7,0
Морські захищені умови	7,6
Морські не захищені умови	10
На борту літака	7,0
Запуск ракети	20,0

Таблиця 3.2 – Інтенсивність відмов радіоелементів

Назва радіоелемента	$\gamma \times 10^{-7}$
Мікросхема напівпровідникова цифрова (логічна, арифметична, мікропроцесор, мікропроцесорні збірки, регістри зсуву і тд.)	23
Мікросхема напівпровідникова аналогова	28
Конденсатор керамічний	2
Конденсатор електrolітичний низьковольтний	50
Діоди імпульсні	25
Транзистори польові кремнієві	65
Резистори постійні металізовані	7
Кнопки тактова	16
Котушки індуктивності	1
П'єзоелектричні прилади (кварцові резонатори, датчики, фільтри)	26
Пайка на один контакт	1

Розрахуємо показники надійності груп радіо компонентів таблиця 3.3. Умови експлуатації – наземні рухомі (переносні). Резервування приладу відсутнє.

Таблиця 3.3 – Розрахунок інтенсивності відмови радіо компонентів

Назва групи	Кількість N_i , шт	λ_i , 1/год	$\lambda_i \times N_i$, 1/год
Мікросхема напівпровідникова цифрова	1	23	23
Мікросхема напівпровідникова аналогова	2	28	56
Конденсатор керамічний	6	2	12
Конденсатор електролітичний низьковольтний	9	50	450
Діоди імпульсні	2	25	50
Транзистори польові кремнієві	1	65	65
Резистори постійні металізовані	9	7	63
Кнопки тактова	5	16	80
Котушки індуктивності	1	1	1
П'єзоелектричні прилади (кварцові резонатори, датчики, фільтри)	1	26	26
Пайка на один контакт	114	1	114

Інтенсивність відмов радіо компонентів розрахуємо за формулою:

$$\lambda_{\text{пл.}} = \sum \lambda_i \times N_i, \quad (3.1)$$

де λ_i – інтенсивність відмови радіо компонентів;

N_i – кількість радіо компонентів.

Отже загальна інтенсивність відмов плати $\lambda_{\text{пл.}} = 940$ 1/год.

Інтенсивність відмови пристрою, з урахуванням оточуючого середовища визначається за формулою:

$$\Lambda_{\text{пл.}} = K \times \lambda_{\text{пл.}}, \quad (3.2)$$

де K – емпіричний коефіцієнт впливу середовища.

Отже загальна інтенсивність відмов плати урахуванням оточуючого середовища $\Lambda_{пр.} = 6580 \times 10^{-7}$ 1/год.

Середній час напрацювання на відмову:

$$T_{ср} = \frac{1}{\Lambda_{пл.}} = \frac{1}{6580 \times 10^{-7}} \approx 1519 \text{ год.}$$

Середній час напрацювання на відмову становить 1519 годин, що цілком задовольняє вимоги технічного завдання.

3.4 Висновки до третього розділу

В даному розділі було проведено моделювання вхідного кола в програмному пакеті Multisim, розроблено друковану плату та проведено розрахунок показників надійності.

В якості матеріалу для виготовлення друкованої плати було обрано фольгований склотекстоліт СФ-1-35Г. Оскільки він відрізняється від інших матеріалів високими електротехнічними характеристиками в досить великому діапазоні температур, має низьке волого поглинання та високий об'ємний опір.

Розрахунок показників надійності було проведено з врахуванням умов експлуатації. Отриманий результат в 1519 год. перевищує значення вказане в технічному завданні, отже умова надійності приладу виконана.

ВИСНОВОКИ

Під час виконання дипломного проекту було розроблено приймач мовного діапазону з використанням сучасної елементної бази.

В першому розділі було проаналізовано основні недоліки та переваги структурних схем приймачів. Переваги та недоліки цифрового радіо пов'язані з перевагами та недоліками схем аналогових та цифрових частин цифрових радіоприймачів. Проаналізувавши літературу та періодичні видання було вирішено, що для побудови сучасних приймачів найдоречніше використовувати одно кристальні мікросхеми з високим рівнем інтеграції. Такі мікросхеми мають в своїй структурі всі необхідні блоки (АЧПТ, ФЦП, ЦОС, ЦАП). Тому беручи до уваги ці відомості було розроблено структурну схему приймача (див. додаток Б) з використанням мікросхеми такого типу.

В другому розділі було спроектовану принципову електричну схему приймача мовного діапазону. Було виконано наступні дії: обрано елемента тракту радіочастоти, розраховано стабілізатора напруги та вхідне коло приймача, обрано схему підсилювача потужності низької частоти та захисту пристрою від неправильної подачі полярності.

В третьому розділі було проведено моделювання вхідного кола в програмному пакеті Multisim, розроблено друковану плату та проведено розрахунок показників надійності. Розрахунок показників надійності було проведено з врахуванням умов експлуатації. Отриманий результат в 1519 год. перевищує значення вказане в технічному завданні, отже умова надійності приладу була виконано.

Отже, при виконанні дипломного проекту було удосконалено знання про принципи роботи приймачів здобуто навички з їх проектування та побудови.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Терещук Р.М., Терещук К.М., Седов С.А. Полупроводниковые приемно-усилительные устройства: Справ. Радиолобителя / 4-е изд., стер. – Киев : Наукова думка, 1989. – 800 с.
2. Бочаров С.Д. Бытовые радиоприемные устройства. Часть 1 / В 3-х частях. — Запорожье: 2000. — 52 с.: ил. — ISBN 966-95126-3-8.
3. Терещук Р.М., Терещук К.М., Седов С.А. Полупроводниковые приемно-усилительные устройства: Справ. Радиолобителя / 2-е изд., стер. – Киев : Наукова думка, 1982. – 800 с.
4. Радиоприемные устройства: учебное пособие / В.Т. Еременко [и др.]. – Орёл: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2018. –160 с.
5. Electrical Engineering - Why can the effective number of bits be a non-integer? What does this physically represent? – Режим доступу: <https://electronics.stackexchange.com/questions/551405/why-can-the-effective-number-of-bits-be-a-non-integer-what-does-this-physically>
6. Chun Zhao, Yanan Liu RDA5807NP FM Tuner V1.2 – Shanghai
7. Компоненты и технологии 2008 №07 СПб.: Файнстрит. — 172 с. — ISSN 2079-6811
8. AMS1117 Datasheet - Advanced Monolithic Systems, Inc/ Sierra Lane, Dublin.
9. Буга Н. Н. и др. Радиоприемные устройства: Учебник Б90 для вузов/Н. Н. Буга, А. И. Фалько, Н. И. Чистяков; Под ред. Н. И. Чистякова. – Радио и связь, 1986. – 320 с.: ил.
10. Хировиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: Пер. с англ. – Изд. 2-е. – М.: Издательство БИНОМ. – 2014. – 704 с., ил.
11. Application Note No. 103 ESD and Antenna Protection using Infineon ESD0P8RFL. Infineon.
12. TDA2822M - STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES, 2003.

13. Электроника для начинающих / Паоло Аливарти; [пер. с ит. И. В. Потрясиловой]. – Москва: Эксмо, 2018. – 368 с. – (Электроника для начинающих).
14. 1000 и одна микроконтроллерная схема. Вып. 4/ С.М. Рюмик. – М.: ДМК – Пресс, 2017. – 336 с.: ил.
15. AP40T03GH/J - Advanced Power Electronics Corp.
16. Материалы печатных плат – Режим доступа: <https://naf-st.ru/articles/pcb/pcb09>
17. Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств: учеб. - метод. Пособие/ С. М. Боровиков, И. Н. Цырельчук, Ф. Д. Троян; под ред. С. М. Боровиков. – Минск: БГУИР, 2010. – 68 с. :ил.
18. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Надійність комп’ютерних систем” для студентів напряму 123 ”Комп’ютерна інженерія” усіх форм навчання. Частина 1: Розрахунок надійності приладів комп’ютерної техніки / Укл.: І.Я. Зеленцова, А.В. Сирота, Т.В. Голуб.- Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – 44 с.

Додаток А

SECTION A.1. SELECTION OF THE STRUCTURAL SCHEME OF THE RADIO RECEIVER

A.1.1 Block diagrams of radio receiving devices with analog signal processing

In direct gain receivers, the signals are amplified to the demodulator and amplified with heterodyne frequency conversion. Direct conversion receivers are simpler, but are characterized by relatively low quality. Their sensitivity decreases with increasing operating frequency, and the selectivity depends on the number of adjustable oscillating circuits in the range. Block diagrams of such receivers are shown in Fig. A.1.1 [1].

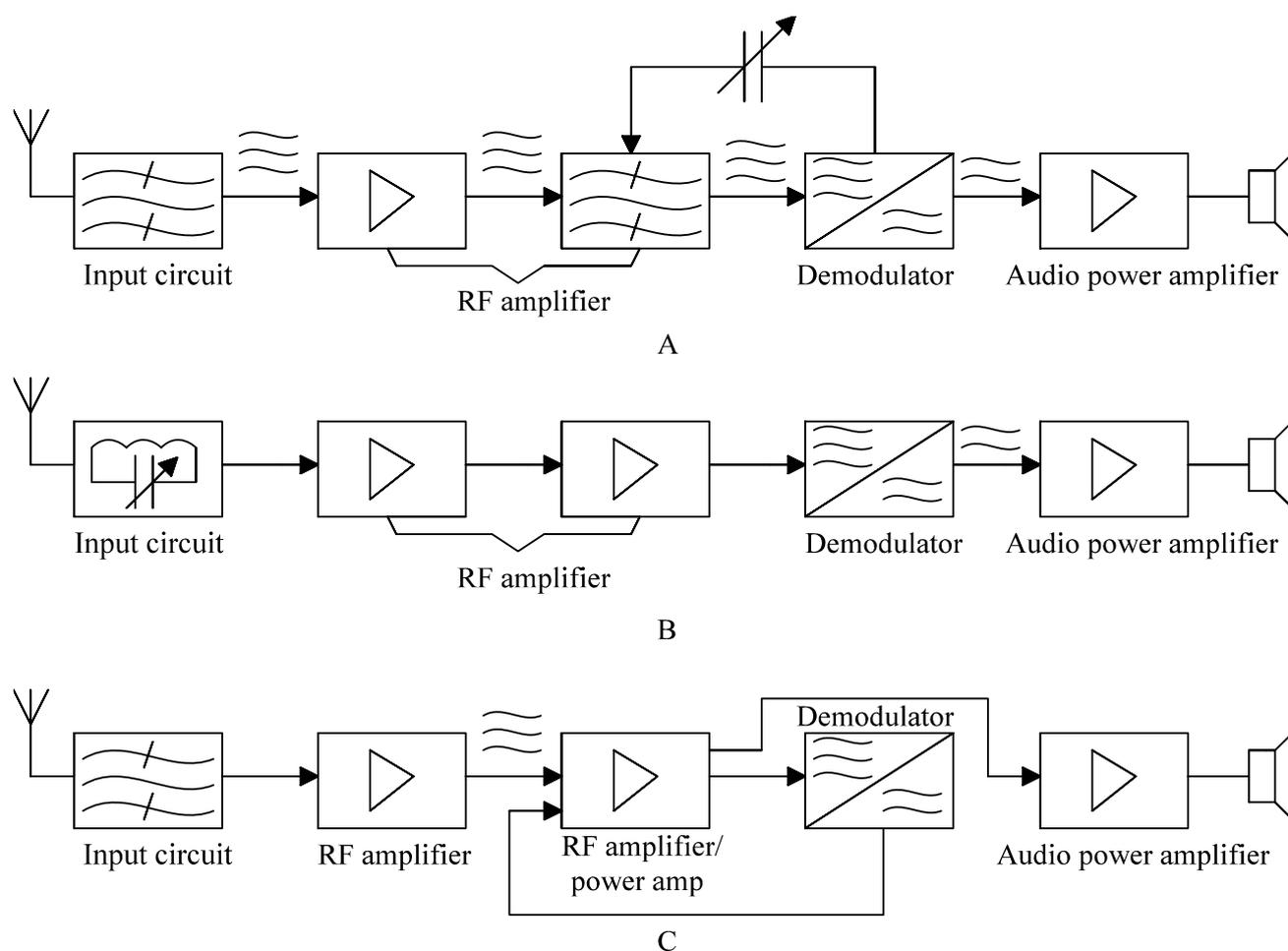


Figure A 1.1 – Block diagrams of direct amplification radios:

A – regenerative; B – aperiodic; C – reflex

The input circuit has an oscillating circuit in its structure and performs pre-selection of signals. The radio frequency amplifier amplifies the signal and performs basic selection. The demodulator emits a useful signal, which is fed through the gain control to the audio frequency amplifier. The audio frequency amplifier increases the signal power to the value required for the operation of the end device. Positive feedback can be used to improve the sensitivity and selectivity of direct conversion receivers. The degree of positive feedback is regulated by a variable capacitor fig. A.1.1.A. Such a receiver is called regenerative. Its main disadvantages include lack of concealment, low stability and difficult setup [1].

Figure A.1.1.B shows a block diagram of a direct-gain radio receiver made with an aperiodic radio frequency amplifier. The selectivity of such receivers is low, so they are used to receive powerful radio stations. Also receivers of direct transformation carry out according to the reflex scheme of fig. A.1.1.C. In such receivers, the audio frequency signal from the output of the demodulator is amplified in the cascade of the audio and radio frequency amplifier. Due to the significant frequency difference between the signals, the cascade of the audio and radio amplifier can perform two functions simultaneously. The main disadvantages of receivers of this type include - an increased level of signal distortion [1].

The main advantages of superheterodyne receivers include high quality, but they have a more complex structural scheme of Figs. A.1.2.

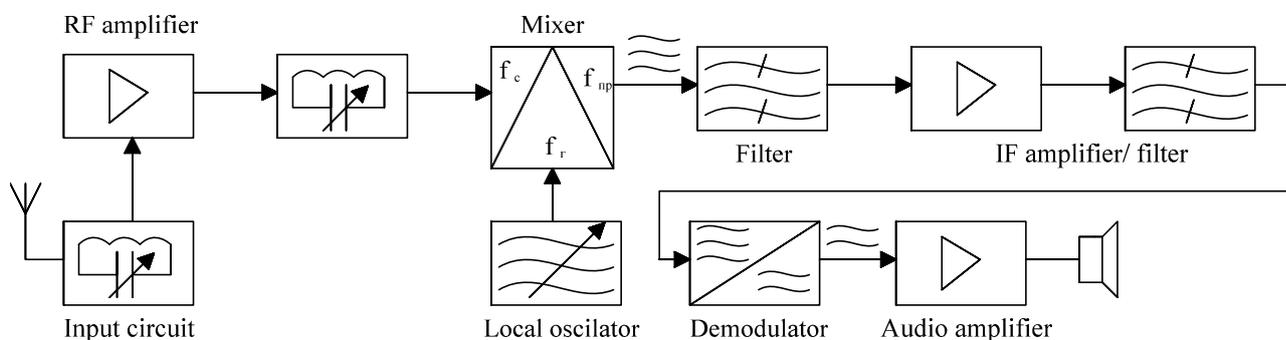


Figure A.1.2 – Block diagram of a superheterodyne receiver

Pre-selection is performed by the input circuit and the radio frequency amplifier, which helps to reduce distortions in the frequency mixer and amplify them. The signal-to-noise ratio at the receiver output increases due to the frequency overlap of the mixer noise with an amplified signal. In the mixer there is a conversion of modulated oscillations with the frequency of the received signal into modulated oscillations of the intermediate frequency. The frequency of the received signal is determined by the formula:

$$f_c = f_r - f_{np}, \quad (\text{A. 1.1})$$

where f_c – the frequency of the received signal; f_r – heterodyne frequency;
 f_{np} – intermediate frequency [1].

The intermediate frequency amplifier performs the basis of selection of the received signal and amplifies it to the desired level sufficient for normal operation of the mixer. Constant adjustment of the intermediate frequency filter allows to achieve high selectivity of the receiver on the next reception channel. The sensitivity of receivers of this type is almost independent of frequency. Gain margin allows you to apply automatic gain control. The main disadvantage of superheterodyne receivers is the presence of a mirror reception channel [1].

The principle of transformation is shown in Figure A.1.3 [2]. Where:

f_r – heterodyne frequency;

f_1 – the frequency of the received signal;

f_2 – the frequency of the adjacent channel;

f_3 – mirror channel frequency;

f_{np} – intermediate frequency.

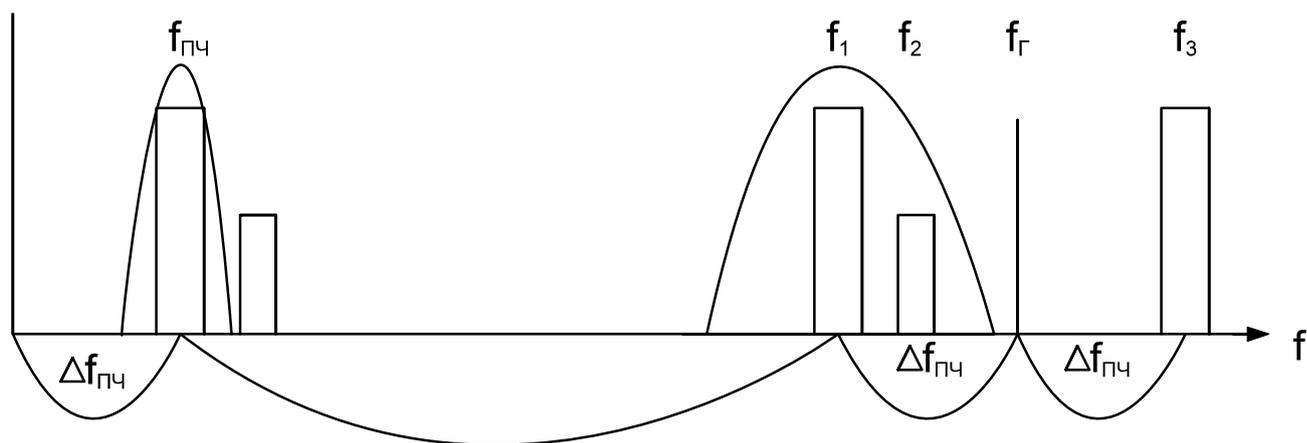


Figure A.1.3 – The principle of transformation in superheterodyne acceptance

FM signal receivers are usually performed on a superheterodyne circuit. When using some types of frequency detectors, it is necessary to use an amplitude limiter in order to eliminate parasitic AM [3].

In direct conversion receivers Fig. A.1.4. the frequency of the received signal is equal to the heterodyne frequency. It follows that the intermediate frequency is zero.

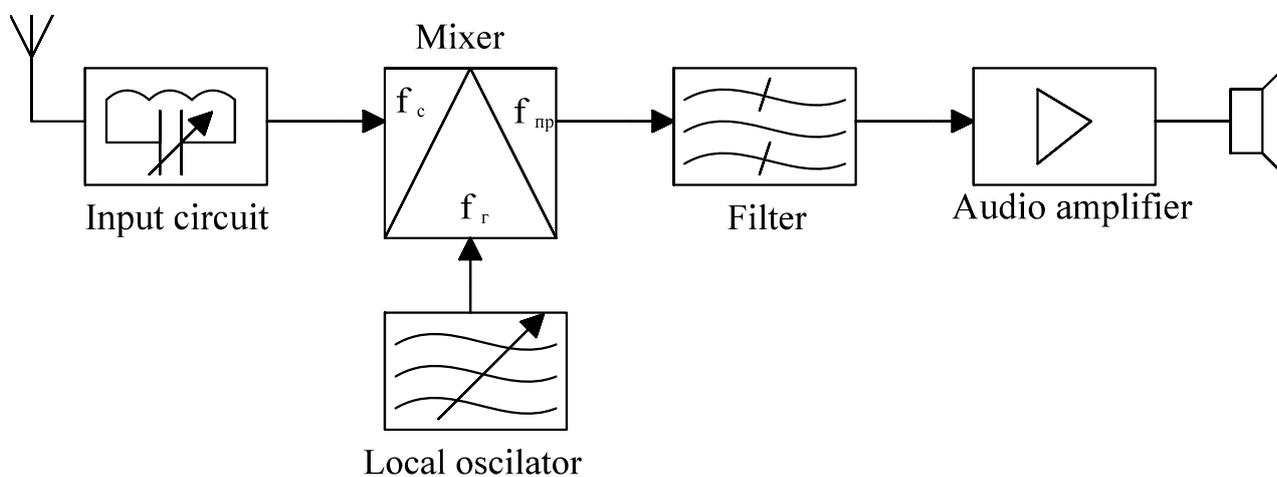


Figure A.1.4 – Block diagram of the direct conversion receiver

The sensitivity of the receiver is determined by the gain of the audio frequency amplifier, and the selectivity - the steepness of the decline of the amplitude-frequency characteristics of the low-pass filter. The advantage of this type of receivers is the simplicity and absence of high-frequency mirror channel. Disadvantages include the

presence of a low-frequency mirror channel, sensitivity to AC interference, self-excitation of the audio frequency amplifier due to the high gain [3].

A.1.2 Block diagrams of radio receivers with digital signal processing

Digital radio receiving device is a radio receiving device that implements the functions of receiving radio signals using digital methods of processing received signals [4].

The use of digital signal processing in radio receivers has both disadvantages and advantages.

The main advantages of using digital signal processing over analog in radio receivers include:

1. higher processing accuracy;
2. prompt and flexible rearrangement of processing algorithms;
3. the use of chips with a high level of integration;
4. manufacturability of manufacturing and automation of operation of devices with DSP;
5. creation of radio receivers with characteristics that are not achievable when using analog signal processing methods [4].

The main disadvantages of using digital signal processing before analog processing in radio receivers:

1. the appearance of quantization noise;
2. the emergence of spectral overlap channels in signal sampling in an analog-to-digital converter [4].

In fig. A.1.5 shows a generalized diagram of a radio receiver with digital signal processing.

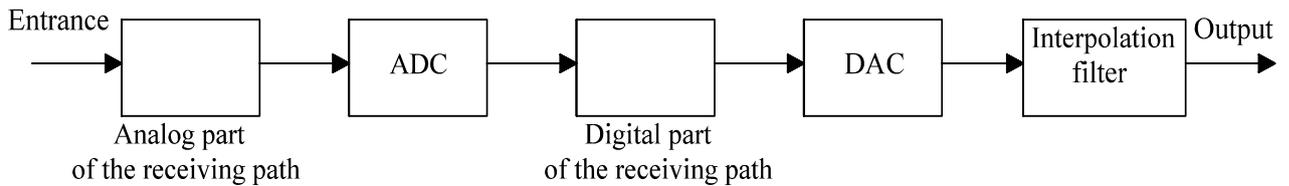


Figure A.1.5 – Generalized block diagram of a radio receiver with digital signal processing

Consider the features of the introduction of digital signal processing in radio receivers.

Reasons for the introduction of digital signal processing in radio receivers:

1. use of complex processing algorithms;
2. implementation of universal radio receiving devices;
3. adaptation to the conditions of radio communication;
4. high degree of integration of radio receiving devices;
5. reducing the weight and cost of radio receivers;
6. use of automation tools [4].

The use of digital signal processing has a number of features that, on the one hand, imposes strict requirements on the element base, and on the other hand simplifies the development of the element base itself.

A number of practical problems cannot be solved by analog signal processing. This explains the mass introduction of digital signal processing in radio receivers. Despite the above advantages of the introduction of digital signal processing in practice is associated with a number of specific features [4].

In digital receivers, the selection of a useful signal from interference and its conversion is performed by digital devices. The radio signal at the input of a digital radio receiving device is an analog voltage. DAC is required for its processing. It is not possible to connect the antenna directly to the ADC. Because an amplifier is needed between the antenna and the ADC, because the input voltage of the ADC must be of the order of a few volts, and the sensitivity of modern receivers is tenths of a microvolt. The following follows from this:

$$E_{A0} \ll U_{\text{вх.АЦП}}, \quad (\text{A.1.2})$$

where E_{A0} – receiver sensitivity;

$U_{\text{вх.АЦП}}$ – the required input voltage of the ADC [4].

In modern ADCs, the minimum quantization step is $0.2 \mu\text{V}$. Therefore, it is necessary to take into account such a phenomenon as quantization noise. It occurs due to the conversion of the analog signal into digital form due to the presence of quantized levels in the output signal in contrast to the continuous input analog signal of Figs. A.1.6 [5].

The receiver circuit cannot start with the ADC because it has a relatively high noise figure compared to other stages. The ADC noise figure is determined by the formula:

$$\left(\frac{U_c}{U_{\text{ш}}}\right)_{\text{АЦП}} = 6,02 \times n_{\text{позп.}} + 1,76 [\text{dB}], \quad (\text{A.1.3})$$

where $\left(\frac{U_c}{U_{\text{ш}}}\right)_{\text{АЦП}}$ - the signal-to-noise ratio at the ADC output;

$n_{\text{позп.}}$ – the number of ADC bits with uniform quantization [4].

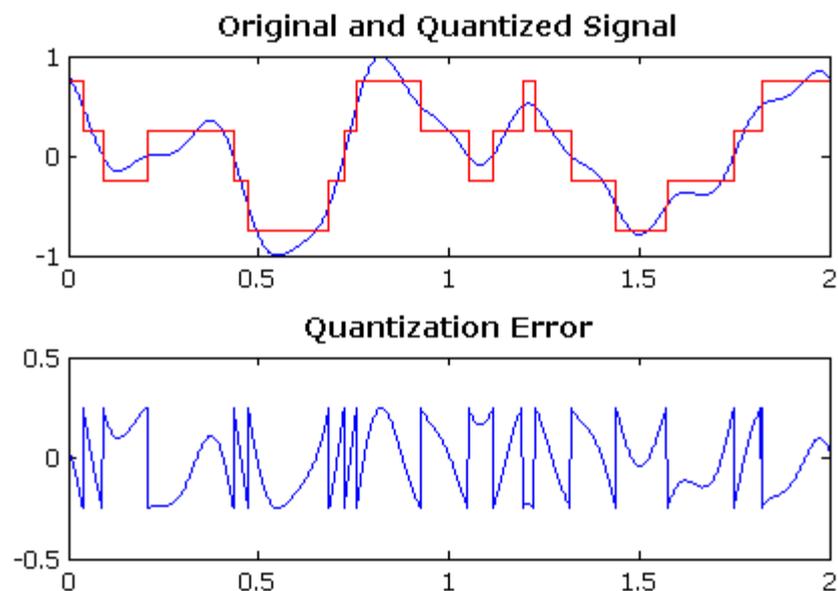


Figure A.1.6 – Quantization error

Based on the requirements for radio receivers for noise, the ADC must be preceded by an amplifier that has a relatively high gain and low noise [4].

The dynamic range of the ADC does not correspond to the dynamic range of the radio input signals. The dynamic range of the radio receiver is the ratio of the maximum allowable voltage of the input signal to the sensitivity. The dynamic range is determined by formula 1.4:

$$D = 20 \lg \left(\frac{E_{A \text{ доп}}}{E_{A 0}} \right), \quad (\text{A. 1.4})$$

where $E_{A 0}$ – receiver sensitivity;

$E_{A \text{ доп}}$ – the maximum allowable voltage of the input signal [4].

The dynamic range of the radio receiver characterizes the limits of changes in the level of input signals at which the allowable loss of information is provided. With automatic gain control, the dynamic range can be brought to the desired level. Implementation of automatic gain control requires the presence of an amplifier receiver with the possibility of adjusting the gain [4].

To eliminate the effect of quantization noise on the reception quality, it is required that the effective value of the signal voltage at the ADC input exceeds the quantization step:

$$U_{\text{эфек.(C+3)}} > q, \quad (\text{A. 1.5})$$

where $U_{\text{эфек.(C+3)}}$ – effective voltage of the mixture of signal and interference;

q – ADC quantization step [4].

The received signal should be stronger than the quantization noise:

$$U_{\text{ш.кв.}}^2 \gg U_{\text{эфек.С}}, \quad (\text{A. 1.6})$$

where $U_{\text{ш.кв.}}^2$ – quantization noise;

$U_{\text{еф.ек.с}}$ – the level of the received signal [4].

The number of quantization levels, bit rate and quantization step of the ADC depend on the dynamic range of the input signals. The main parameters of the ADC are the number of quantization levels, bit rate and quantization step. These parameters are closely related. The dependence of the quantization levels on the dynamic range of the input signals is determined by the following formula:

$$L \geq \Delta_{\text{BX.C.}}, \quad (\text{A. 1.7})$$

where L – number of quantization levels;

$\Delta_{\text{BX.C.}}$ – dynamic range of input signals [4].

The limited speed of the ADC does not allow its use at a sufficiently high frequency of the radio signal. Formulas can be used to select the sampling rate depending on the carrier frequency and spectrum width:

$$f_{\text{д}} > 2\Delta F_{\text{СП}}; \quad (\text{A. 1.8})$$

$$f_{\text{д}} = \frac{4f_c}{2N_z - 1}, \quad (\text{A. 1.9})$$

where $N_z = 1, 2, 3 \dots$ - Nyquist zone number;

$2\Delta F_{\text{СП}}$ – spectrum width;

f_c - signal carrier frequency [4].

Based on the above, it is necessary to install a frequency converter between the antenna and the ADC. The frequency converter will bring the frequency of the radio signal to the desired value of the frequency of the input voltage ADC:

$$F_{\text{BX АЦП}} = F_{\text{ТР АЦП}} \leq \frac{1}{2} f_{\text{д}}, \quad (\text{A. 2.0})$$

where $F_{\text{BX AЦП}}$ - the frequency value of the input voltage ADC;

$F_{\text{TP AЦП}}$ - the desired value of the frequency of the input voltage ADC;

$f_{\text{д}}$ - sampling frequency [4].

When sampling analog signals in the ADC, spectrum overlap channels are created. Suppression of these channels is performed by a filter that is connected between the antenna and the ADC [4].

It is necessary to limit the spectrum of the received signal to reduce distortion, as well as to implement the required bit ADC. Based on this, a bandpass filter is required between the antenna and the ADC, which will provide the required bandwidth [4].

The number of bits of the ADC determines the required value of the input voltage of the ADC.

Block diagram of a digital radio receiver (Fig. A.1.7) to the ADC is a structure of a superheterodyne receiver. The advantages of such a receiver include the reduction of the requirements for the speed of the ADC while reducing the average frequency of the signal spectrum to the intermediate [4].

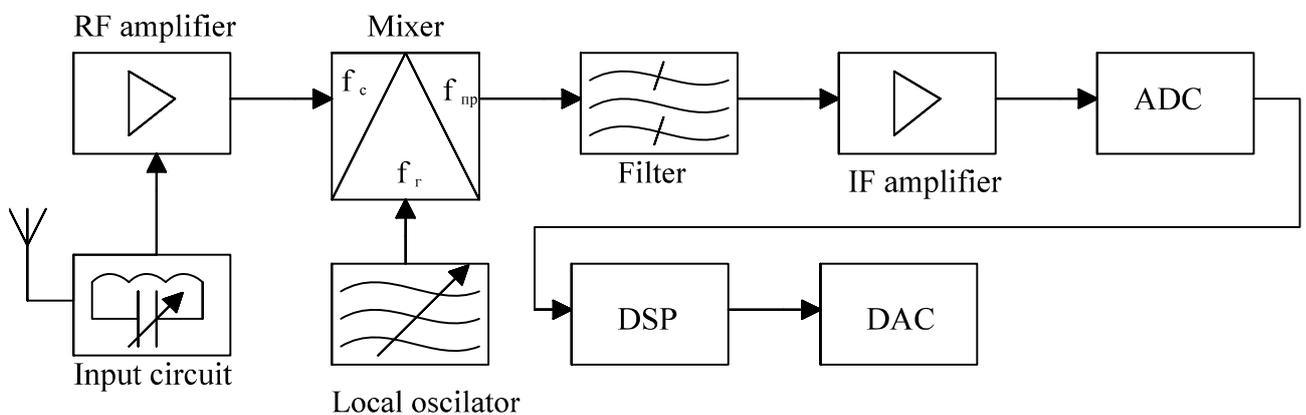


Figure A.1.7 – Block diagram of the digital radio receiver

The disadvantage of this type of receiver is the loss of information about the phase ratio and the envelope of the signal in asynchronous heterodyne. To prevent this, two-channel quadrature frequency converters are used [4].

The block diagram of the digital radio receiver (Fig. A.1.8) to the ADC is the structure of the direct conversion receiver with the formation of quadrature components before digitizing the signal. Adding quadrature components allows you to analyze both the amplitude and phase of the received signal [4].

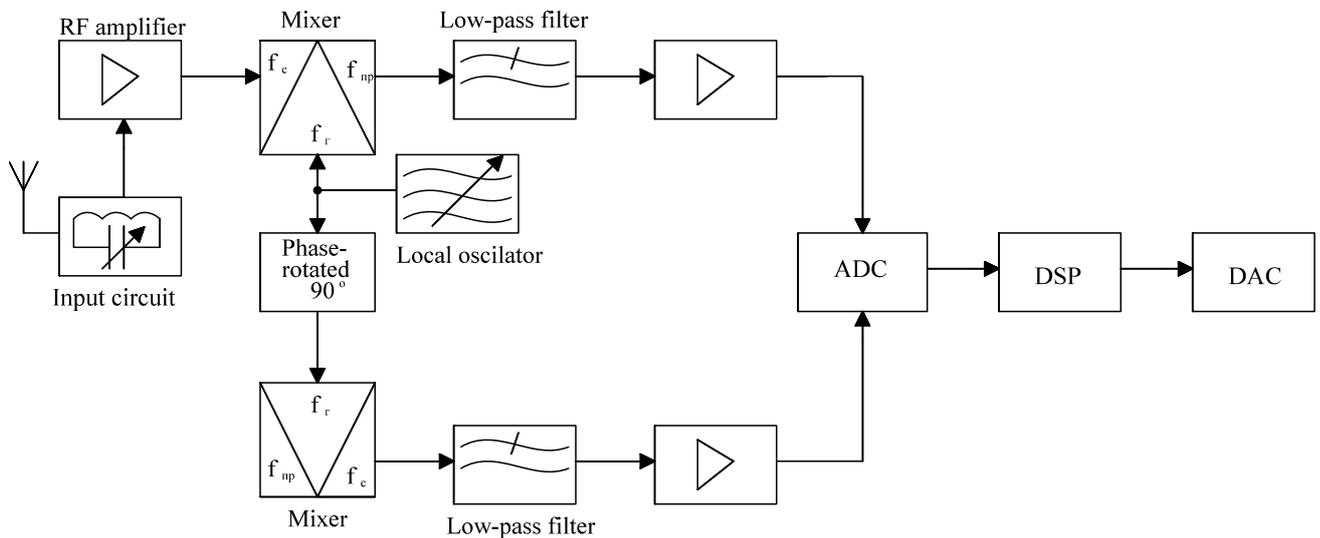


Figure A.1.8 – Block diagram of a digital radio receiver with quadrature transformation

To obtain quadrature samples, the radio signal is divided into two parts, and falls into two different mixers. The input of the second mixer receives a local oscillator signal, shifted in phase by 90° relative to the signal that enters the input of the first mixer. The resulting signals are called in-phase and quadrature. As a result, each signal sampling point has two values. These signals are simultaneously processed by the ADC. Heterodyne-type receivers have high selectivity and sensitivity. The main problems of heterodyne-type receivers include: suppression of side channels, coordination of quadrature channels by phase [4].

Another option for constructing a block diagram of a digital radio receiving device is a circuit that represents the structure of the receiver of direct amplification of Figs. A.1.9. In this case, the input circuit is a filter that suppresses the channels of overlapping spectra. The radio frequency amplifier provides the required signal level for the ADC to work properly. Such receivers have poorer selectivity and sensitivity than those described above [4].

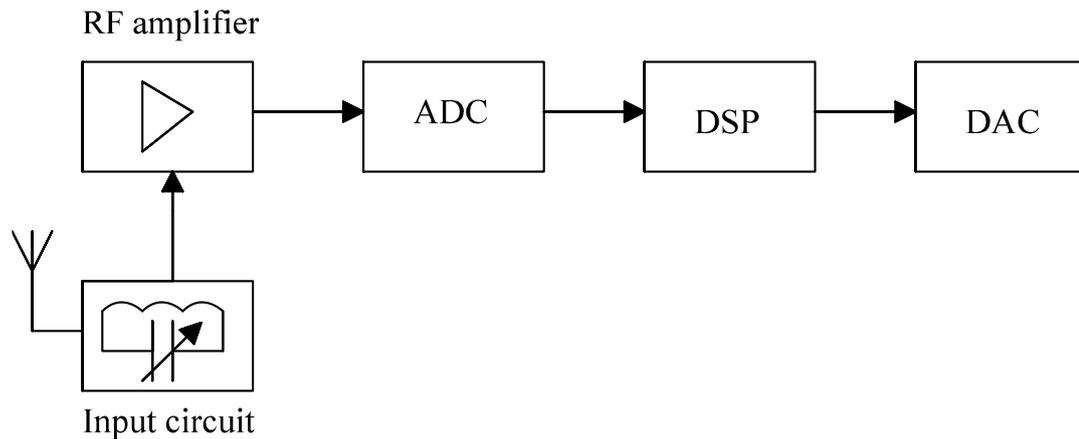


Figure A.1.9 – Block diagram of a digital radio receiver with ADC processing

A.1.3 Conclusion to the first section

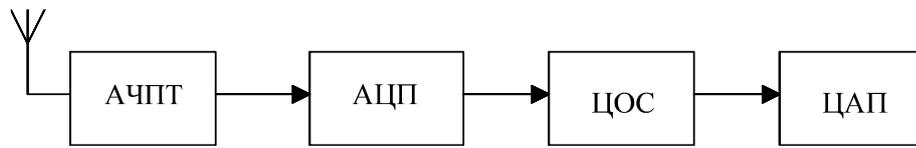
Based on the above logic of the implementation of digital signal processing in the technique of radio reception, the generalized block diagram of a digital radio receiving device will contain:

1. analog part of the receiving path;
2. block analog-to-digital converter;
3. digital part of the receiving path.

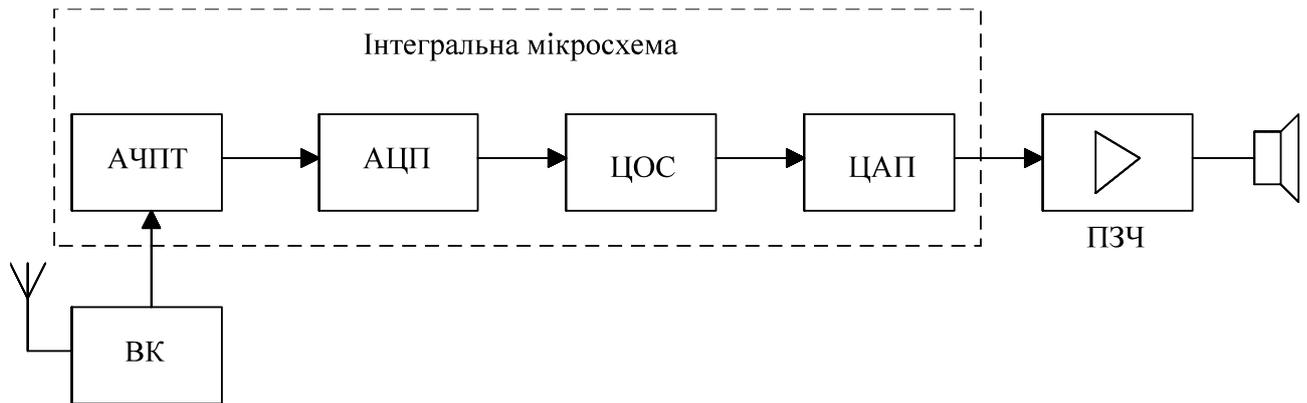
The composition of the analog part of the receiving path may be a superheterodyne circuit, a direct conversion circuit or a direct amplification circuit.

The advantages and disadvantages of digital radio are related to the advantages and disadvantages of the circuits of analog and digital parts of digital radio receivers.

After analyzing the literature and periodicals, we can conclude that to build modern receivers it is most appropriate to use single-chip chips with a high level of integration. Such chips have in their structure all the necessary blocks. Therefore, taking into account this information, a block diagram of the receiver was developed (see Appendix B) using chips of this type



Узагальнена блок-схема цифрового радіоприймального пристрою



Структурна схема приймача

Додаток В

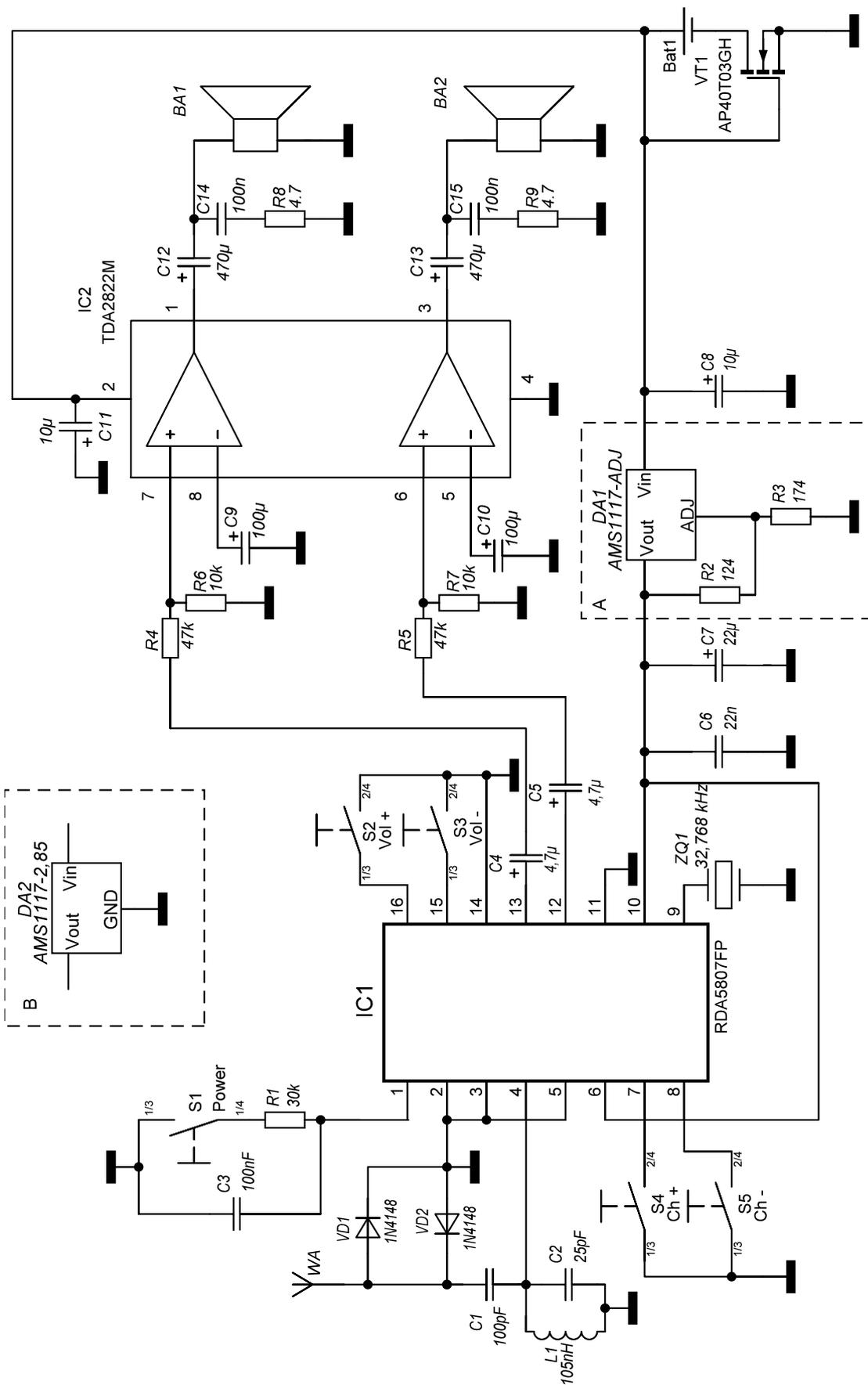


Схема електрична принципова приймача мовного діапазону

Додаток Г

Демонстраційні матеріали

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки
Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

Тема кваліфікаційної роботи: «Розроблення приймача мовного діапазону та моделювання його характеристик»

ВИКОНАВ: СТУДЕНТ ГРУПИ 401-ТТ ЯРСЬКИЙ В. В.

КЕРІВНИК: Д.Т.Н., ПРОФЕСОР КОСЕНКО В. В.

Полтава 2021

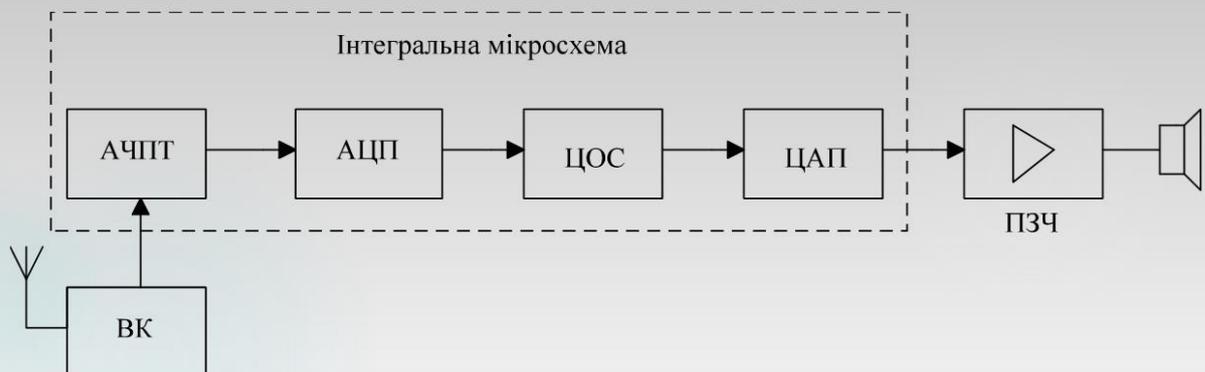
Актуальність

2

- ❖ **Актуальність** даної теми полягає в тому, що сучасна радіоприймальна техніка розвивається методами впровадження цифрової мікросхемотехніки, яка дозволяє покращити її характеристики.
- ❖ **Метою роботи** є удосконалення та закріплення теоретичних знань та практичних навичок в сфері проектування радіоприймальних пристроїв метрового діапазону.
- ❖ **Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи** є процес розроблення приймача мовного діапазону.
- ❖ **Предметом розробки кваліфікаційної роботи** є приймач мовного діапазону.

Структурна схема приймача

3



АЦП – аналого-цифровий перетворювач.
 АЧПТ – аналогова частина приймального тракту.
 ВК – вхідне коло.

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач.
 ЦОС – цифрова обробка сигналів.
 ПЗЧ – підсилювач звукової частоти.

Структурна схема мікросхеми FP5807FP

4

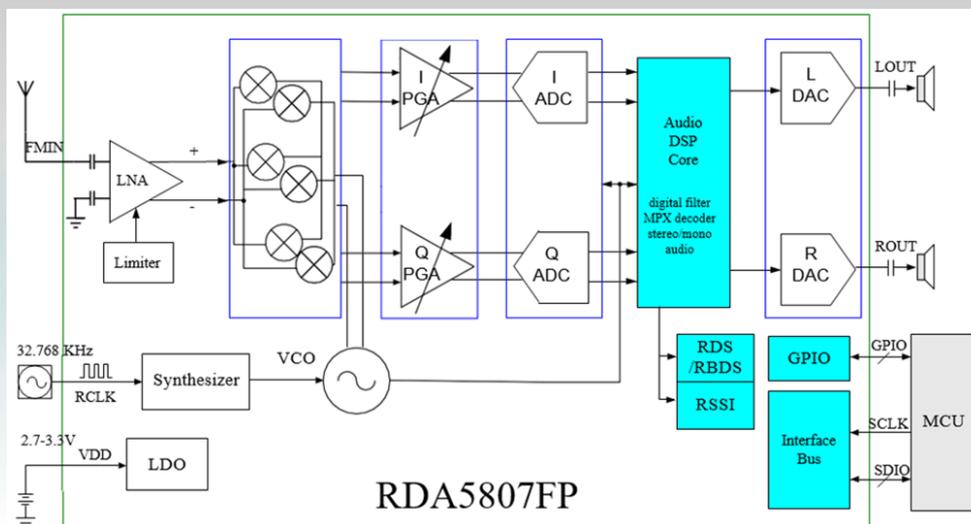
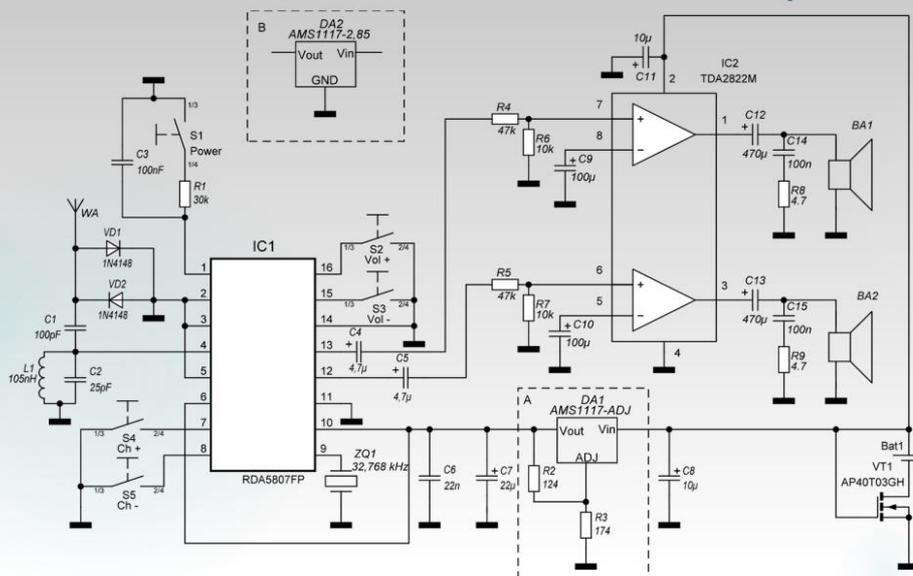


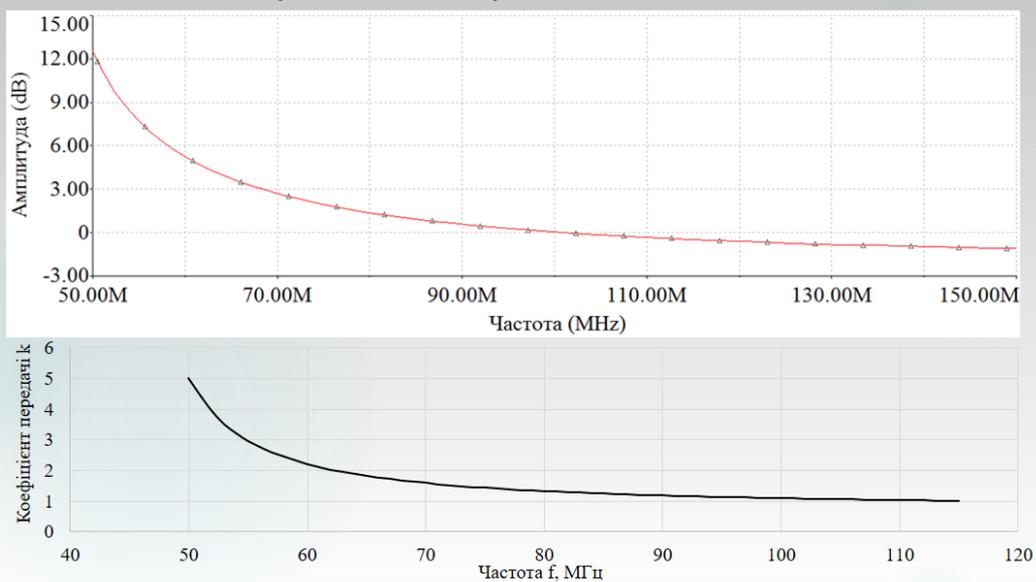
Схема електрична принципова приймача мовного діапазону

5



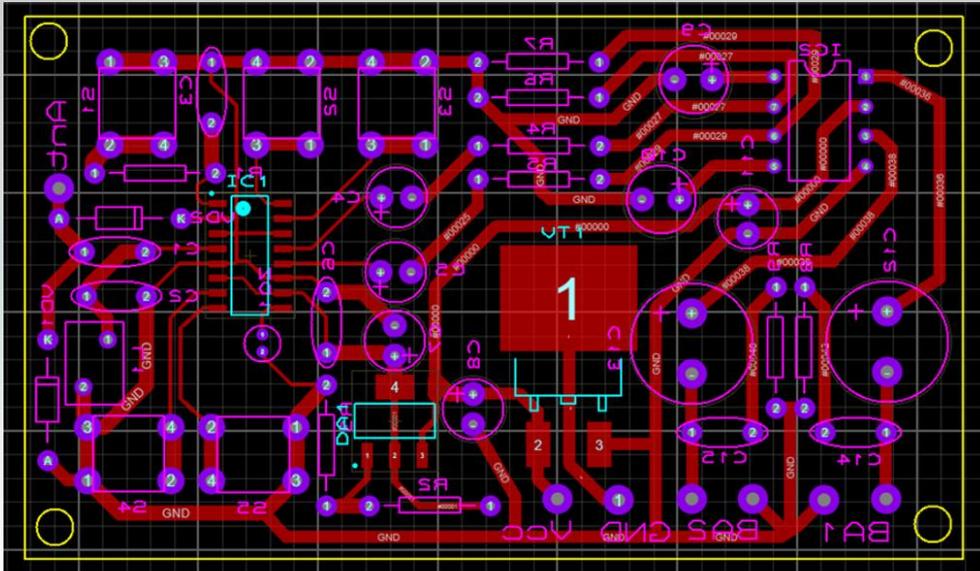
АЧХ та коефіцієнт передачі вхідного кола

6



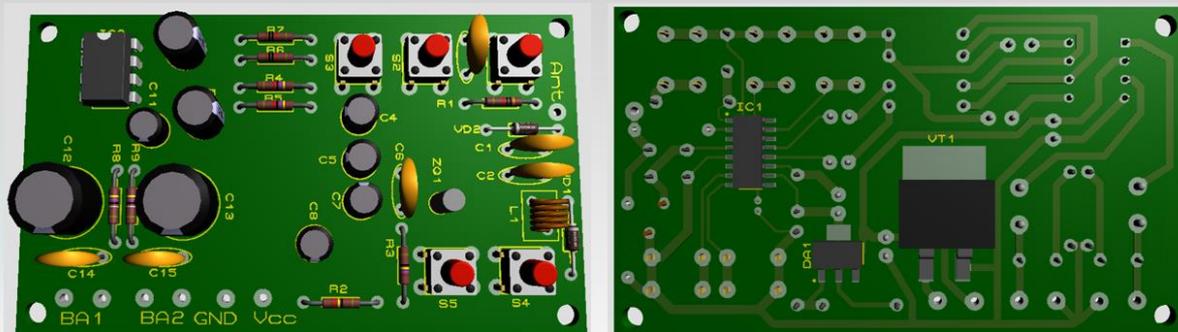
Трасування друкованої плати

7



3D-модель друкованої плати

8



Результати роботи

9

Параметр	Отриманий результат	Вимоги згідно з завданням
Діапазон приймальних частот	88 - 108 МГц	50 - 115 МГц
Модуляція	ЧМ	
Чутливість	1,8 мкВ	2 мкВ
Селективність по сусідньому каналі	50 дБ	45 дБ
Напрацювання на відмову	1519 годин	1000 годин

10

Дякую за увагу!