

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: FM-тюнер портативного радіоприймача

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи РАс-41

спеціальності 172 Електронні комунікації та

радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Батюк Д.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Яворський Б.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Хвостівська Л.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Дунець В.Л.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Дедів Л.Є.

(прізвище та ініціали)

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«28» квітня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 Електронні комунікації та радіотехніка  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Батьоку Дмитру Петровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи FM-тюнер портативного радіоприймача

Керівник роботи Яворський Богдан Іванович, д.т.н., професор  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 28 » 04 2026 року № 4/7-198

2. Термін подання студентом завершеної роботи 11.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Діапазон приймальних частот - 87,5–108 МГц; Тип приймача –  
Супергетеродинний; Проміжна частота - 10,7 МГц;

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

аналіз технічного завдання; аналіз схемних рішень виконання виробу;

розроблення схеми структурної виробу, схеми електричної принципової,

розрахунок номіналів елементів схеми електричної принципової; конструювання виробу,

а саме: обґрунтування вибору елементної бази, трасування друкованої плати,

розробка компоновки друкованого вузла.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Структурна схема;

2. Схема електрична принципова;

3. Друкована плата;

4. Друкований вузол;



## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «FM-тюнер портативного радіоприймача». Кваліфікаційна робота бакалавра // ТНТУ ім. І. Пулюя, ФПТ, РАс-41 // Тернопіль, 2026р. // с. - 67, рис.- 4, бібліог.- 13, додат.- 3.

Ключові слова: ТЮНЕР, РАДІОПРИЙМАЧ, СУПЕРГЕТЕРОДИН, ПІДСИЛЮВАЧ ПРОМІЖНОЇ ЧАСТОТИ.

В роботі проводиться проектування FM-тюнера портативного радіоприймача. Проаналізовано вимоги до технічних характеристик, яким має задовільняти проєктований FM-тюнер. Проведений аналіз принципів роботи FM-тюнерів показав, що найбільш ефективною архітектурою для портативних радіоприймачів є супергетеродинна структура з перетворенням частоти на стандартну проміжну частоту 10,7 МГц. Використання сучасних інтегральних рішень та цифрових методів обробки сигналів дає можливість створювати компактні та енергоефективні FM-тюнери з покращеними характеристиками прийому.

Технічні вимоги до радіоприймача: Діапазон приймальних частот - 87,5–108 МГц; Тип приймача – Супергетеродинний; Проміжна частота - 10,7 МГц; Спосіб налаштування - Цифровий PLL-синтез; Вид модуляції - Частотна (FM); Максимальна девіація частоти -  $\pm 75$  кГц.

## ANNOTATION

Theme of qualification work: "Portable radio FM tuner". Qualifying work of a bachelor // TNTU, FPT, group RA-41. // Ternopil, 2026 //p. - 67, fig. - 4, , bibliog. - 13, appendix- 3.

Keywords: TUNER, RADIO RECEIVER, SUPERHETERODYNE, INTERMEDIATE FREQUENCY AMPLIFIER.

The work is devoted to the design of an FM tuner for a portable radio receiver. The requirements for the technical characteristics that the designed FM tuner must satisfy are analyzed. The analysis of the principles of operation of FM tuners showed that the most effective architecture for portable radio receivers is a superheterodyne structure with frequency conversion to a standard intermediate frequency of 10.7 MHz. The use of modern integrated solutions and digital signal processing methods makes it possible to create compact and energy-efficient FM tuners with improved reception characteristics.

Technical requirements for the radio receiver: Receiving frequency range - 87.5–108 MHz; Receiver type - Superheterodyne; Intermediate frequency - 10.7 MHz; Tuning method - Digital PLL synthesis; Modulation type - Frequency (FM); Maximum frequency deviation -  $\pm 75$  kHz.

## Зміст

Вступ.....	7
1. Основна частина.....	9
1.1 Аналіз технічного завдання.....	9
1.2 Теоретичні основи побудови FM-тюнерів портативних радіоприймачів.....	10
1.3 Аналіз сучасних мікросхем FM-тюнерів.....	18
1.4 Розробка та опис структурної схеми FM-тюнера портативного радіоприймача.....	21
1.5 Опис принципової електричної схеми FM-тюнера портативного радіоприймача.....	22
1.6 Розрахунок номіналів елементів та основних вузлів FM-тюнера.....	31
1.7 Вибір елементів.....	44
1.8 Розробка друкованої плати та вузла FM-тюнера.....	48
1.9 Висновки до розділу 1.....	58
2 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.....	60
2.1. Заходи електробезпеки при роботі з виробом.....	60
2.2. Пожежна безпека.....	62
2.3. Висновки до розділу 2.....	64
Висновки.....	65
Список використаних джерел.....	66
Додатки	

					БДП 2.893.001 ПЗ			
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	FM-тюнер портативного радіоприймача	<i>Лім</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		Батюк Д.П.				у	6	61
<i>Перевір.</i>		Яворський Б.І.				ТНТУ, РАс-41		
<i>Н. контр.</i>		Хвостівська Л.В.						
<i>Зат. каф.</i>		Дунець В.Л.						
<i>Рецензент</i>		Дедів Л.Є.						



використанню сучасної елементної бази, інтегральних мікросхем високого ступеня інтеграції, цифрової обробки сигналів та сучасних схемотехнічних рішень. Розробка FM-тюнера дозволяє дослідити принципи побудови високочастотних трактів, систем автоматичного налаштування частоти, демодуляції частотно-модульованих сигналів та обробки аудіосигналів.

Таким чином, питання проектування та вдосконалення FM-тюнерів залишається актуальним напрямом розвитку сучасної радіоелектронної апаратури.

*Практичне значення.* Отримані результати можуть бути використані при розробці сучасних портативних радіоприймачів, мультимедійних пристроїв та інших радіоелектронних систем, що працюють у діапазоні ультракоротких хвиль.

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
						8
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

## 1. Основна частина

### 1.1 Аналіз технічного завдання

В даній роботі потрібно розробити FM-тюнер портативного радіоприймача. Він повинен задовільняти наступним вимогам:

- 1) Діапазон приймальних частот - 87,5–108 МГц;
- 2) Тип приймача – Супергетеродинний;
- 3) Проміжна частота - 10,7 МГц;
- 4) Спосіб налаштування - Цифровий PLL-синтез;
- 5) Вид модуляції - Частотна (FM);
- 6) Максимальна девіація частоти -  $\pm 75$  кГц;
- 7) Тип приймання – Стереофонічне;
- 8) Система стереодекодування - PLL Stereo Decoder;
- 9) Чутливість при  $S/N = 26$  дБ - не гірше 3 мкВ;
- 10) Вибірковість по сусідньому каналу - не менше 60 дБ;
- 11) Вибірковість по дзеркальному каналу - не менше 50 дБ;
- 12) Співвідношення сигнал/шум - не менше 55 дБ;
- 13) Коефіцієнт гармонічних спотворень - не більше 1 %;
- 14) Розділення стереоканалів - не менше 30 дБ;
- 15) Вихідна напруга аудіосигналу - 200–500 мВ;
- 16) Напруга живлення - 9 В;
- 17) Споживаний струм - не більше 80 мА;
- 18) Споживана потужність - не більше 0,8 Вт;
- 19) Дистанційне керування - ІЧ-пульт.

## 1.2 Теоретичні основи побудови FM-тюнерів портативних радіоприймачів

### 1.2.1 Загальні відомості про FM-радіомовлення.

FM – це спосіб передавання інформації шляхом зміни миттєвої частоти високочастотного несучого сигналу відповідно до амплітуди інформаційного сигналу. У діапазоні ультракоротких хвиль (УКХ) FM-модуляція використовується для високоякісного радіомовлення завдяки високій завадостійкості та широкому частотному спектру передаваного сигналу.

В Україні та більшості країн світу FM-радіомовлення здійснюється в діапазоні частот від 87,5 до 108 МГц. Максимальна девіація частоти становить  $\pm 75$  кГц, а ширина каналу зазвичай дорівнює 200 кГц. Такий частотний ресурс дозволяє забезпечити якісне передавання звукових програм із високим співвідношенням сигнал/шум.

Основною перевагою частотної модуляції порівняно з амплітудною є її стійкість до імпульсних і атмосферних завад. Оскільки інформація передається зміною частоти, а не амплітуди сигналу, випадкові зміни рівня сигналу практично не впливають на якість прийому.

### 1.2.2 Принцип роботи FM-тюнера.

FM-тюнер є функціональним вузлом радіоприймача, призначеним для приймання, селекції, підсилення та перетворення радіосигналів FM-діапазону в низькочастотний аудіосигнал. Він включає в себе антену, вхідний селективний контур, високочастотний підсилювач, змішувач, гетеродин, підсилювач проміжної частоти, FM-демодулятор, аудіопідсилювач та систему автоматичного регулювання частоти.

Прийнятий антеною сигнал надходить до вхідного контуру, який виконує попередню частотну селекцію та подавляє сигнали сусідніх каналів. Після цього сигнал підсилюється високочастотним підсилювачем і подається на змішувач.

							БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат				10

У змішувачі відбувається перетворення частоти шляхом змішування прийнятого сигналу з сигналом локального генератора (гетеродина). У результаті утворюються сумарна та різницева частоти. Для подальшої обробки використовується різницева частота, яка називається проміжною частотою. Для більшості FM-приймачів значення проміжної частоти становить 10,7 МГц. Використання сталої проміжної частоти дозволяє спростити схему приймача та забезпечити стабільні характеристики підсилення і селекції.

Після підсилення на проміжній частоті сигнал надходить до демодулятора, який відновлює низькочастотний інформаційний сигнал. Далі аудіосигнал підсилюється та подається на гучномовець або навушники.

### 1.2.3 Перетворення частоти в супергетеродинних приймачах

Найпоширенішою архітектурою FM-тюнерів є супергетеродинна схема. Її основною перевагою є можливість виконання основного підсилення та фільтрації на одній фіксованій проміжній частоті.

Частота гетеродина визначається співвідношенням:

$$f_{\text{ГЕТ}} = f_{\text{СИГ}} + f_{\text{ПЧ}}$$

де:  $f_{\text{СИГ}}$  — частота прийнятої радіостанції;  $f_{\text{ПЧ}}$  — проміжна частота;  $f_{\text{ГЕТ}}$  — частота локального генератора.

Наприклад, при прийомі радіостанції на частоті 100 МГц частота гетеродина становитиме 110,7 МГц.

Після змішування формується сигнал проміжної частоти 10,7 МГц, який підсилюється та фільтрується вузькосмуговими фільтрами.

### 1.2.4 Методи демодуляції FM-сигналів

Для виділення інформаційного сигналу з FM-коливання використовуються спеціальні демодулятори.

Найбільш поширеними є: частотний дискримінація Фостера–Сілі, детектор відношень, квадратурний детектор, фазовий детектор, цифрові DSP-демодулятори.

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		11

У сучасних інтегральних FM-тюнерах найчастіше застосовується квадратурний детектор, який забезпечує високу лінійність перетворення та добру завадостійкість.

Цифрові FM-тюнери використовують алгоритми цифрової обробки сигналів (DSP), що дозволяє реалізувати автоматичне налаштування, цифрову фільтрацію, компенсацію завад та стереодекодування програмними методами.

#### 1.2.5 Сучасні FM-тюнери на базі інтегральних мікросхем

Розвиток мікроелектроніки привів до створення високорівнево інтегрованих FM-тюнерів, у яких практично всі функціональні блоки приймача реалізовані на одному кристалі.

До складу сучасних FM-тюнерів входять: високочастотний тракт, синтезатор частоти, цифровий PLL-контур, підсилювач проміжної частоти, FM-демодулятор, стереодекодер, система автоматичного пошуку станцій, цифровий інтерфейс керування.

Використання таких мікросхем дозволяє значно зменшити розміри пристрою, знизити енергоспоживання та підвищити стабільність роботи приймача.

Високочастотний тракт (RF Front-End) є першим каскадом FM-тюнера та призначений для приймання сигналів від антени, їх селекції та попереднього підсилення. Основними елементами високочастотного тракту є антенний вхід, вхідний смуговий фільтр, узгоджувальні кола, малошумний підсилювач високої частоти (LNA).

Основним завданням вхідного тракту є виділення корисного сигналу з великої кількості електромагнітних коливань, що одночасно надходять на антену. Вхідний смуговий фільтр пропускає лише сигнали діапазону FM-мовлення від 87,5 до 108 МГц та подавляє сигнали інших частотних діапазонів.

Після фільтрації сигнал надходить на малошумний підсилювач (Low Noise Amplifier), який збільшує рівень корисного сигналу без суттєвого

					БДП 2.893.001 ПЗ	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		12

збільшення власних шумів системи. Основними характеристиками високочастотного тракту є: коефіцієнт підсилення, шумова температура, динамічний діапазон, вибірковість, коефіцієнт стоячої хвилі.

Саме від параметрів ВЧ-тракту значною мірою залежить чутливість радіоприймача.

Синтезатор частоти призначений для формування високостабільної частоти локального генератора (гетеродина), необхідної для налаштування приймача на потрібну радіостанцію.

У ранніх моделях приймачів налаштування здійснювалося за допомогою змінних конденсаторів. У сучасних пристроях використовується цифровий синтез частоти. До складу синтезатора входять: кварцовий генератор, фазовий детектор, програмований дільник, генератор, керований напругою (VCO), цифровий блок керування.

Кварцовий генератор формує високостабільний опорний сигнал. На його основі створюється необхідна частота гетеродина, яка використовується для прийому конкретної FM-станції. Застосування синтезатора частоти забезпечує високу точність налаштування, стабільність частоти, автоматичний пошук станцій, цифрове керування приймачем, можливість збереження налаштувань у пам'яті.

Цифровий PLL-контур. PLL (Phase Locked Loop) — система фазового автопідлаштування частоти, яка забезпечує стабілізацію частоти локального генератора. Принцип роботи PLL базується на порівнянні фаз двох сигналів: опорного сигналу та сигналу з виходу генератора.

У разі появи різниці фаз фазовий детектор формує сигнал похибки, який через фільтр коригує частоту генератора. Основними складовими PLL є: фазовий компаратор, петльовий фільтр, VCO-генератор, програмований дільник частоти.

Переваги цифрового PLL-контролю – це висока стабільність налаштування, мінімальний дрейф частоти, швидке захоплення частоти,

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		13

стійкість до температурних змін та можливість дистанційного цифрового керування.

Саме PLL є основою сучасних систем автоматичного налаштування радіоприймачів.

Підсилювач проміжної частоти (ППЧ). Після перетворення частоти у змішувачі сигнал переноситься на проміжну частоту, яка для FM-приймачів зазвичай становить 10,7 МГц.

ППЧ виконує такі функції: підсилення сигналу, селекцію корисного каналу, пригнічення сусідніх каналів, зменшення рівня шумів.

Основною перевагою використання проміжної частоти є те, що всі наступні каскади працюють на одній фіксованій частоті незалежно від частоти прийнятої радіостанції.

Для фільтрації сигналів застосовуються керамічні фільтри, кварцові фільтри, активні смугові фільтри.

Від характеристик ППЧ залежить вибірковість приймача та якість розділення близько розташованих радіостанцій.

Стереодекодер виконує розділення композитного FM-сигналу на лівий та правий аудіоканали.

На виході FM-демодулятора присутній мультиплексний сигнал, що містить сумарний сигнал (L + R), пілот-тон 19 кГц та різницевий сигнал (L – R).

Стереодекодер виконує виділення пілот-тону, відновлення піднесучої 38 кГц, декодування сигналів лівого та правого каналів, придушення перехресних перешкод між каналами.

Основними характеристиками стереодекодера є коефіцієнт поділу каналів, коефіцієнт гармонічних спотворень, співвідношення сигнал/шум.

Сучасні DSP-тюнери реалізують стереодекодування програмними методами без використання додаткових зовнішніх компонентів.

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		14

Однією з важливих функцій сучасних FM-тюнерів є автоматичний пошук радіостанцій. Принцип роботи полягає у безперервній зміні частоти налаштування та аналізі параметрів прийнятого сигналу. Під час сканування контролюються рівень сигналу RSSI, співвідношення сигнал/шум, наявність пілот-тону 19 кГц, рівень помилок декодування. Коли рівень сигналу перевищує встановлений поріг, система припиняє пошук та фіксує частоту знайденої станції.

Переваги автоматичного пошуку: швидке налаштування, зручність експлуатації, автоматичне збереження станцій, мінімізація впливу користувача.

У сучасних мікросхемах алгоритм пошуку реалізується вбудованим мікроконтролером.

Цифровий інтерфейс забезпечує взаємодію FM-тюнера з мікроконтролером або процесором керування. Через інтерфейс здійснюються налаштування частоти прийому, керування режимами роботи, запуск автоматичного пошуку, регулювання рівня звуку, зчитування параметрів сигналу, передача сервісної інформації.

#### 1.2.6 Система фазового автопідлаштування частоти (PLL)

Сучасні FM-тюнери практично повністю перейшли від механічного налаштування до цифрового синтезу частоти на основі систем PLL.

Система PLL складається з фазового детектора, фільтра нижніх частот, генератора, керованого напругою (VCO), програмованого дільника частоти.

Принцип роботи PLL полягає у порівнянні фази опорного сигналу з фазою сигналу генератора. У результаті формується сигнал похибки, який коригує частоту генератора до моменту синхронізації. Для PLL справедливе співвідношення:

$$f_{вих} = N \times f_{оп}$$

										БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
											15
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат							



співвідношенням  $S = U_{\text{мін}}$ , де  $U_{\text{мін}}$  — мінімальна напруга сигналу на вході антени. Для сучасних FM-тюнерів чутливість становить 1–5 мкВ.

2) Вибірковість. Вибірковість характеризує здатність приймача подавлювати сигнали сусідніх каналів. Коефіцієнт вибірковості визначається:

$$K_v = U_{\text{кор}} / U_{\text{завади}}$$

де:  $U_{\text{кор}}$  – рівень корисного сигналу;  $U_{\text{завади}}$  – рівень сигналу завади.

3) Співвідношення сигнал/шум. Одним із найважливіших параметрів є співвідношення сигнал/шум.

$$\text{SNR} = 10 \times \log_{10}(P_{\text{сиг}} / P_{\text{шум}})$$

де:  $P_{\text{сиг}}$  – потужність корисного сигналу;  $P_{\text{шум}}$  – потужність шумів.

Для якісного FM-прийому значення SNR повинно перевищувати 50–60 дБ.

4) Коефіцієнт гармонічних спотворень. Рівень нелінійних спотворень оцінюється коефіцієнтом гармонік:

$$\text{THD} = (\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2} / U_1) \times 100 \%$$

де:  $U_1$  – амплітуда основної гармоніки;  $U_2, U_3 \dots U_n$  – амплітуди вищих гармонік.

Для сучасних приймачів значення THD зазвичай не перевищує 0,1–0,5 %.

### 1.3 Аналіз сучасних мікросхем FM-тюнерів

Під час розробки портативних радіоприймачів важливим етапом є вибір інтегральної мікросхеми FM-тюнера. Сучасний ринок пропонує велику кількість спеціалізованих рішень, які відрізняються архітектурою, функціональними можливостями, енергоспоживанням та якістю прийому. Найбільш поширеними мікросхемами для побудови FM-приймачів є TEA5767, RDA5807M, Si4703, CXA1538, AR1010 та Si4735.

#### 1.3.1 Мікросхема TEA5767

TEA5767 розроблена компанією Philips (згодом NXP) та є однією з найпоширеніших мікросхем FM-тюнерів для портативних пристроїв. Вона являє собою однокристальний FM-приймач із повністю інтегрованим трактом проміжної частоти, демодулятором та стереодекодером. Основні характеристики:

- діапазон частот 87,5–108 МГц;
- цифрове налаштування PLL;
- інтегрований FM-демодулятор;
- автоматичне сканування станцій (AST);
- інтерфейс I<sup>2</sup>C або 3-wire;
- напруга живлення від 2,5 В;
- низьке енергоспоживання.

До складу TEA5767 входять: ВЧ-підсилювач, змішувач, PLL-синтезатор, підсилювач проміжної частоти, квадратурний демодулятор, стереодекодер, AGC-контролер, система автоматичного пошуку.

#### 1.3.2 Мікросхема RDA5807M

RDA5807M є сучасним DSP-тюнером китайської компанії RDA Microelectronics та сьогодні широко використовується в портативних приймачах, Bluetooth-колонках і мультимедійних системах. Основні характеристики:

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		18

- робочий діапазон 50–115 МГц;
- підтримка RDS/RBDS;
- цифровий Low-IF приймач;
- внутрішній DSP-процесор;
- цифровий AGC;
- автоматичний пошук станцій;
- споживання менше 20 мА;
- інтерфейс I<sup>2</sup>C.

Особливістю RDA5807M є цифровий тракт обробки сигналу: ВЧ-приймач, цифровий синтезатор частоти, Low-IF перетворювач, АЦП, DSP-процесор, цифровий демодулятор, стереодекодер, декодер RDS.

### 1.3.3 Мікросхема Si4703.

Si4703 виробництва Silicon Laboratories належить до сімейства високоякісних DSP-тюнерів. Основні характеристики:

- FM-діапазон 76–108 МГц;
- підтримка RDS/RBDS;
- цифрова архітектура DSP;
- інтегрований стереодекодер;
- високоточний PLL-синтезатор;
- інтерфейс I<sup>2</sup>C та SPI.

Si4703 використовує архітектуру Digital Low IF, що забезпечує високу вибірковість, придушення дзеркального каналу, автоматичне регулювання підсилення, цифрову компенсацію шумів.

### 1.3.4 Мікросхема CXA1538.

CXA1538 розроблена компанією Sony та належить до класичних аналогових FM/AM-приймачів. Основні характеристики:

- підтримка AM та FM;
- супергетеродинна архітектура;
- аналоговий тракт обробки сигналу;

- низьке енергоспоживання;
- висока інтеграція вузлів.

Мікросхема містить ВЧ-підсилювач, змішувач, гетеродин, підсилювач ПЧ, АМ-детектор, FM-демоделюлятор, систему АРП.

#### 1.3.5 Мікросхема AR1010.

AR1010 компанії Airoha є цифровим FM-тюнером із підтримкою сучасних функцій прийому. Основні характеристики:

- FM-діапазон 50–115 МГц;
- підтримка RDS;
- DSP-обробка;
- автоматичний пошук;
- цифровий інтерфейс I<sup>2</sup>C.

#### 1.3.6 Мікросхема Si4735

Si4735 є однією з найфункціональніших сучасних мікросхем сімейства Silicon Labs. Основні характеристики:

- підтримка FM, AM, LW та SW;
- RDS/RBDS;
- DSP-обробка;
- цифровий аудіотракт;
- автоматичне сканування;
- підтримка декількох діапазонів.

Проведений аналіз показує, що для розробки сучасного портативного FM-приймача найбільш доцільним є використання мікросхем RDA5807M або Si4703. Вони забезпечують найкраще співвідношення між функціональністю, якістю прийому, енергоспоживанням та складністю реалізації. Мікросхема TEA5767 залишається популярною завдяки простоті використання та великій кількості готових модулів, однак поступається сучасним DSP-рішенням за чутливістю, завадостійкістю та функціональними можливостями. CXA1538

				БДП 2.893.001 ПЗ		Арк
						20
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

доцільно розглядати як представника класичних аналогових рішень, тоді як Si4735 орієнтована на більш складні багатодіапазонні приймачі.

#### 1.4 Розробка та опис структурної схеми FM-тюнера портативного радіоприймача

За основу проектування використано мікросхему CXA1538 та додано цифрові тракти налаштування частоти та керування тюнером із можливістю індикації режимів роботи. Розроблений FM-тюнер побудований за супергетеродинною схемою з цифровим синтезом частоти на основі PLL-системи. Основними функціональними вузлами пристрою є:

- антенний тракт;
- високочастотний приймальний тракт;
- змішувач і гетеродин;
- підсилювач проміжної частоти;
- FM-демодулятор;
- стереодекодер;
- PLL-синтезатор частоти;
- мікроконтролер керування;
- інфрачервоний приймач дистанційного керування;
- вузол живлення;
- вихідний аудіотракт.

Вигляд структурної схеми наведено на рис. 1.1.

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		21





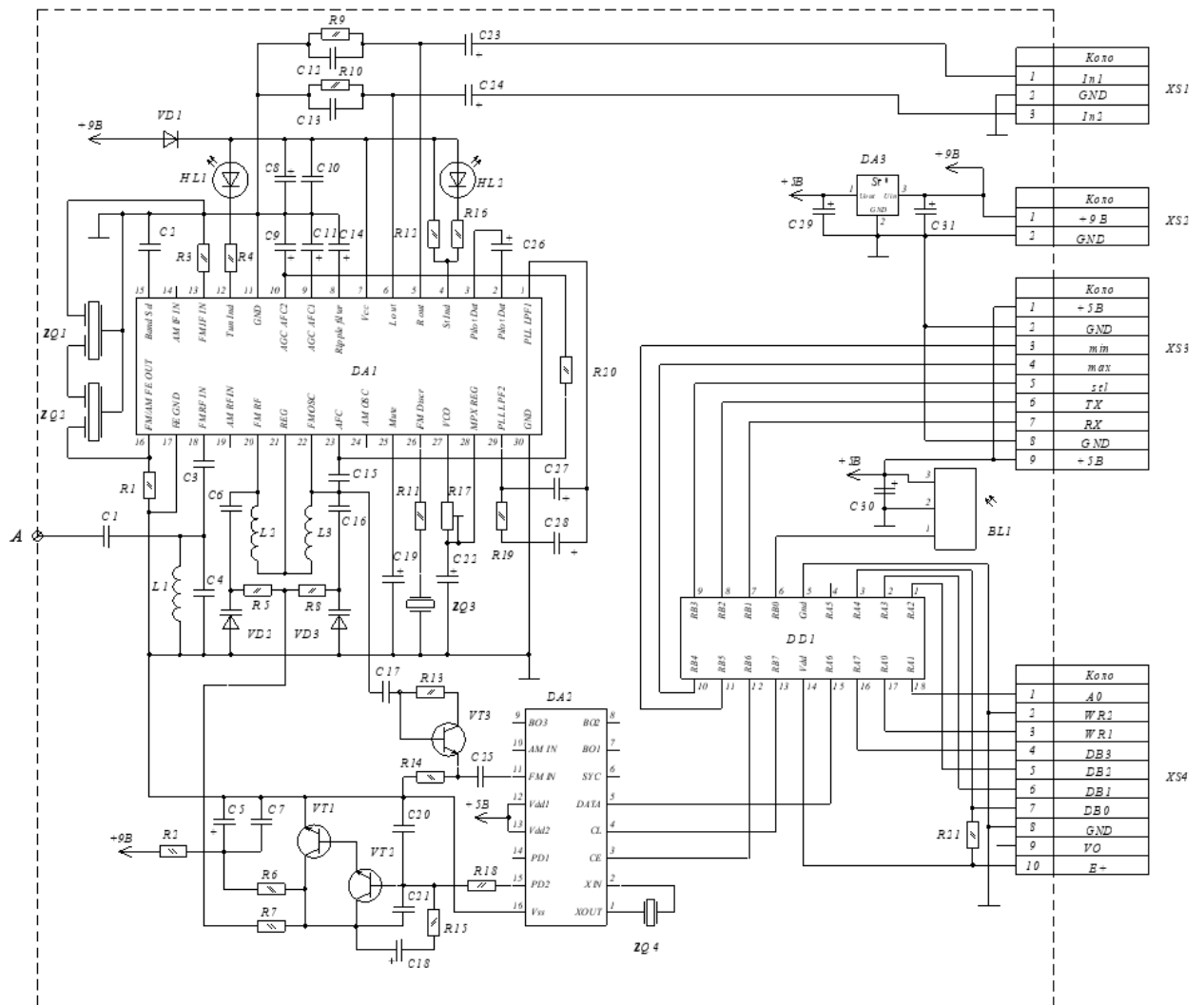


Рисунок 1.2 – Електрична схема пропонованого FM-тюнера портативного радіоприймача

Керування синтезатором DA2 здійснює мікроконтролер DD1 PIC16F628. Він приймає команди від кнопок або зовнішнього блока керування через роз'єм XS3, а також може приймати команди дистанційного керування через інфрачервоний приймач BL1 TSOP1736. Мікроконтролер формує цифрові сигнали керування для LM7001, забезпечуючи перемикання частот, пошук станцій та інші режими роботи.

Живлення схеми здійснюється від джерела +9 В. Частина вузлів працює безпосередньо від цієї напруги, а для цифрової частини використовується стабілізована напруга +5 В, яку формує стабілізатор DA3 7805.

DA1 CXA1538 є основною мікросхемою радіоприймального тракту. До мікросхеми підключені зовнішні коливальні контури L1, L2, L3, варикапи VD2, VD3, кварцові або керамічні фільтри ZQ1, ZQ2, ZQ3, а також елементи частотної корекції та фільтрації.

CXA1538 виконує перетворення прийнятого сигналу FM-діапазону у сигнал проміжної частоти, подальше його підсилення, детектування та формування аудіосигналу.

DA2 LM7001 – це цифровий синтезатор частоти з PLL-контуром. Він призначений для стабілізації та цифрового керування частотою гетеродина приймача.

Мікросхема отримує керуючі сигнали від мікроконтролера DD1 по цифрових лініях DATA, CL і CE. На основі цих даних LM7001 формує керуючу напругу на виході PD, яка після фільтрації подається на варикапи VD2 і VD3.

Основні функції DA2: формування частоти налаштування, стабілізація частоти гетеродина, цифрове керування приймачем, забезпечення точного кроку перебудови, робота у складі PLL-системи.

Кварцовий резонатор ZQ4 задає опорну частоту для роботи синтезатора.

DA3 7805 – інтегральний стабілізатор напруги. Його призначення – формування стабілізованої напруги +5 В із вхідної напруги +9 В. Стабілізована напруга +5 В використовується для живлення цифрової частини пристрою, зокрема мікроконтролера DD1 PIC16F628, синтезатора частоти DA2 LM7001 та інфрачервоного приймача BL1.

Конденсатори C29, C30 і C31 забезпечують фільтрацію напруги живлення, запобігають самозбудженню стабілізатора та зменшують рівень імпульсних завад.

DD1 PIC16F628 – мікроконтролер, який виконує функції керування FM-тюнером. Його основні завдання: формування команд для синтезатора частоти LM7001, приймання команд від кнопок або зовнішнього блока керування,

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		25



Цей каскад потрібний для узгодження рівнів сигналу та забезпечення надійної роботи PLL-синтезатора. Він дозволяє LM7001 контролювати частоту гетеродина, не навантажуючи основний коливальний контур.

VD1 встановлений у колі живлення +9 В. Його основне призначення – захист схеми від неправильної полярності підключення живлення. У разі помилкового підключення джерела живлення діод запобігає проходженню струму в неправильному напрямку та захищає елементи схеми.

VD2 та VD3 – варикапи, тобто напівпровідникові діоди зі змінною ємністю, яка залежить від прикладеної зворотної напруги. Вони входять до коливальних контурів L2 і L3 та забезпечують електронне налаштування частоти. Керуюча напруга від синтезатора DA2 змінює ємність варикапів, унаслідок чого змінюється резонансна частота контурів. Завдяки варикапам налаштування приймача виконується електронним способом без механічного змінного конденсатора.

HL1 та HL2 — світлодіодні індикатори. Резистори R3, R4, R16 обмежують струм через світлодіоди та захищають їх від перевантаження.

ZQ1 та ZQ2 підключені до виводів IF OUT та IF IN мікросхеми DA1. Вони виконують функцію фільтрів проміжної частоти. У FM-приймачах такі фільтри зазвичай працюють на частоті 10,7 МГц.

Їх призначення: виділення корисного каналу, подавлення сусідніх каналів, формування необхідної смуги пропускання, підвищення вибіркової приймача.

ZQ3 підключений до частини схеми FM-детектора або контуру проміжної частоти. Він бере участь у процесі демодуляції FM-сигналу та забезпечує правильне перетворення частотних відхилень у звуковий сигнал.

ZQ4 є кварцовим резонатором синтезатора частоти DA2 LM7001. Він задає стабільну опорну частоту, від якої залежить точність налаштування приймача.

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		27





Система налаштування побудована на основі PLL-синтезатора LM7001. Мікроконтролер DD1 задає потрібну частоту прийому, передаючи в DA2 цифровий код. LM7001 порівнює частоту гетеродина з опорною частотою, сформованою кварцовим резонатором ZQ4.

Якщо частота гетеродина відрізняється від заданої, на виході PD формується сигнал похибки. Через фільтрувальні кола цей сигнал перетворюється на плавну керуючу напругу, яка подається на варикапи VD2 і VD3. Зміна напруги на варикапах змінює їх ємність, а отже, змінює резонансну частоту контурів L2 і L3. Таким чином, система автоматично встановлює і стабілізує частоту гетеродина.

Після прийому та демодуляції сигналу в DA1 формуються низькочастотні сигнали лівого та правого каналів. Вони проходять через елементи фільтрації та корекції, після чого через конденсатори C23 і C24 подаються на вихідний роз'єм XS1.

Розділові конденсатори не пропускають постійну складову напруги, захищаючи наступний підсилювач або навушники від зміщення за постійним струмом.

Цифрова частина схеми складається з мікроконтролера DD1, ІЧ-приймача BL1, роз'ємів XS3, XS4 та синтезатора DA2.

Мікроконтролер виконує програмне керування тюнером. Через порти RA і RB він: приймає сигнали від користувача, обробляє команди з ІЧ-пульта, керує синтезатором частоти, виводить інформацію на дисплей, забезпечує автопошук станцій.

ІЧ-приймач BL1 дозволяє реалізувати дистанційне керування. Сигнал із нього подається на один із входів мікроконтролера, де програмно декодується.

Розглянута схема є повноцінним FM-тюнером із цифровим керуванням частотою. Мікросхема CXA1538 виконує функції аналогового радіоприймального тракту, LM7001 забезпечує точне цифрове налаштування

частоти за допомогою PLL, а PIC16F628 реалізує логіку керування, індикацію, дистанційне керування та автоматичний пошук станцій.

Перевагою такої схеми є поєднання якісного аналогового FM-приймача з цифровою системою налаштування, що дозволяє отримати стабільний прийом, зручне керування та можливість використання пристрою в портативному радіоприймачі.

### 1.6 Розрахунок номіналів елементів та основних вузлів FM-тюнера

Розрахунок коливальних контурів FM-діапазону. Основним параметром вхідного та гетеродинного контурів FM-приймача є резонансна частота. Вона визначається за формулою:

$$f = 1 / (2\pi\sqrt{LC})$$

де:  $f$  — резонансна частота контуру, Гц;  $L$  — індуктивність котушки, Гн;  $C$  — сумарна ємність контуру, Ф.

FM-приймач працює в діапазоні частот:  $f_{\min} = 87,5$  МГц...  $f_{\max} = 108$  МГц. Для прийому сигналів цього діапазону вхідний контур  $L1$  повинен перебудовуватися в межах 87,5–108 МГц. Прийmemo індуктивність котушки  $L1 = 100$  нГн. Тоді необхідна ємність контуру на нижній межі діапазону визначається так:

$$C_{\max} = 1 / ((2\pi f_{\min})^2 L)$$

Підставимо числові значення:

$$C_{\max} = 1 / ((2 \times 3,14 \times 87,5 \times 10^6)^2 \times 100 \times 10^{-9})$$

$$C_{\max} \approx 33 \text{ пФ}$$

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		31

На верхній межі діапазону:

$$C_{\min} = 1 / ((2\pi f_{\max})^2 L)$$

$$C_{\min} = 1 / ((2 \times 3,14 \times 108 \times 10^6)^2 \times 100 \times 10^{-9})$$

$$C_{\min} \approx 21,7 \text{ пФ}$$

Отже, для перекриття FM-діапазону при  $L1 = 100 \text{ нГн}$  сумарна ємність контуру повинна змінюватися приблизно в межах  $C = 22\text{--}33 \text{ пФ}$

З урахуванням паразитних ємностей монтажу, вхідної ємності мікросхеми DA1 СХА1538 та ємності варикапів практично можна прийняти:

$$L1 = 90\text{--}120 \text{ нГн}$$

$$C_{\text{екв}} = 20\text{--}35 \text{ пФ}$$

У супергетеродинному FM-приймачі частота гетеродина відрізняється від частоти прийнятого сигналу на значення проміжної частоти. Для FM-приймачів стандартна проміжна частота становить  $f_{\text{ПЧ}} = 10,7 \text{ МГц}$ . При верхньому налаштуванні гетеродина:

$$f_{\text{гет}} = f_{\text{сиг}} + f_{\text{ПЧ}}$$

Для нижньої межі FM-діапазону:

$$f_{\text{гет min}} = 87,5 \text{ МГц} + 10,7 \text{ МГц} = 98,2 \text{ МГц}$$

Для верхньої межі FM-діапазону:

$$f_{\text{гет max}} = 108 \text{ МГц} + 10,7 \text{ МГц} = 118,7 \text{ МГц}$$

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		32

Отже, гетеродинний контур повинен перебудовуватися в межах:

$$f_{\text{гет}} = 98,2-118,7 \text{ МГц}$$

Прийmemo індуктивність гетеродинної котушки  $L2 = 82 \text{ нГн}$ . Ємність контуру на частоті  $98,2 \text{ МГц}$ :

$$C_{\text{max}} = 1 / ((2\pi \times 98,2 \times 10^6)^2 \times 82 \times 10^{-9})$$

$$C_{\text{max}} \approx 32 \text{ пФ}$$

Ємність контуру на частоті  $118,7 \text{ МГц}$ :

$$C_{\text{min}} = 1 / ((2\pi \times 118,7 \times 10^6)^2 \times 82 \times 10^{-9})$$

$$C_{\text{min}} \approx 21,9 \text{ пФ}$$

Отже, для гетеродинного контуру доцільно прийняти:

$$L2 = 82 \text{ нГн}$$

$$C_{\text{екв}} = 22-32 \text{ пФ}$$

Перебудова контуру здійснюється варикапами  $VD2$  і  $VD3$ , ємність яких змінюється під дією керуючої напруги від PLL-синтезатора  $DA2$  LM7001.

Розрахунок варикапного налаштування. Варикапи  $VD2$  і  $VD3$  працюють у режимі зворотного зміщення. Їх ємність зменшується зі збільшенням зворотної напруги. Для FM-діапазону можна прийняти типові значення ємності варикапа:

$$C_{\text{VD}} \text{ max} = 25-30 \text{ пФ}$$

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		33

$$CVD \min = 5-8 \text{ пФ}$$

З урахуванням послідовних та паралельних конденсаторів, а також паразитних ємностей, еквівалентна ємність контуру повинна відповідати розрахованим межам. Для вхідного контуру  $C_{\text{екв}} = 22-33 \text{ пФ}$ . Для гетеродинного контуру  $C_{\text{екв}} = 22-32 \text{ пФ}$ .

Керуюча напруга з PLL-синтезатора повинна змінюватися орієнтовно в межах  $U_{\text{кер}} = 1-8 \text{ В}$ . При зростанні керуючої напруги ємність варикапа зменшується, тому резонансна частота контуру збільшується.

Розрахунок проміжної частоти. У схемі застосовується стандартна проміжна частота FM-приймачів  $f_{\text{ПЧ}} = 10,7 \text{ МГц}$ . Керамічні фільтри ZQ1 і ZQ2 повинні мати центральну частоту  $f_0 = 10,7 \text{ МГц}$ .

Ширина смуги пропускання для FM-мовлення зазвичай становить:

$$\Delta f = 150-280 \text{ кГц}$$

Для якісного прийому можна прийняти керамічні фільтри ZQ1, ZQ2 — 10,7 МГц, смуга 180 кГц. Таке значення забезпечує компроміс між якістю звуку та вибірковістю приймача.

Розрахунок частоти дзеркального каналу. Для супергетеродинного приймача частота дзеркального каналу визначається за формулою:

$$f_{\text{дз}} = f_{\text{сиг}} + 2f_{\text{ПЧ}}$$

Для станції з частотою  $f_{\text{сиг}} = 100 \text{ МГц}$  отримаємо:

$$f_{\text{дз}} = 100 \text{ МГц} + 2 \times 10,7 \text{ МГц}$$

$$f_{\text{дз}} = 121,4 \text{ МГц}$$

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		34

Отже, при прийомі станції 100 МГц можливий дзеркальний канал знаходиться на частоті 121,4 МГц. Для його подавлення використовується вхідний селективний контур L1–C1–C4 та високочастотні фільтрувальні елементи.

Розрахунок PLL-синтезатора на LM7001. Мікросхема DA2 LM7001 використовується для цифрового синтезу частоти гетеродина. Основне співвідношення для PLL-синтезатора:

$$f_{\text{гет}} = N \times f_{\text{крок}}$$

де:  $f_{\text{гет}}$  – частота гетеродина;  $N$  – коефіцієнт поділу;  $f_{\text{крок}}$  – крок сітки частот.

Для FM-приймача можна прийняти стандартний крок налаштування  $f_{\text{крок}} = 100$  кГц. Для прийому станції  $f_{\text{сиг}} = 100$  МГц. Частота гетеродина дорівнює  $f_{\text{гет}} = 100$  МГц + 10,7 МГц = 110,7 МГц.

Коефіцієнт поділу:

$$N = f_{\text{гет}} / f_{\text{крок}}$$

$$N = 110,7 \text{ МГц} / 100 \text{ кГц}$$

$$N = 1107$$

Отже, для налаштування на станцію 100 МГц мікроконтролер DD1 PIC16F628 повинен передати в синтезатор LM7001 код, що відповідає коефіцієнту поділу  $N = 1107$ .

Для нижньої межі FM-діапазону:

$$N_{\text{min}} = 98,2 \text{ МГц} / 100 \text{ кГц} = 982$$

Для верхньої межі FM-діапазону:

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		35

$$N_{\max} = 118,7 \text{ МГц} / 100 \text{ кГц} = 1187$$

Отже, діапазон коефіцієнтів поділу PLL становить:

$$N = 982-1187$$

Розрахунок фільтра керуючої напруги PLL. Вихід PD мікросхеми LM7001 формує імпульсний сигнал помилки. Для отримання плавної керуючої напруги використовується RC-фільтр нижніх частот. Частота зрізу RC-фільтра визначається за формулою:

$$f_c = 1 / (2\pi RC)$$

Для фільтра керуючої напруги бажано, щоб частота зрізу була малою, наприклад  $f_c = 10 \text{ Гц}$ . Виберемо конденсатор  $C = 1 \text{ мкФ}$ . Тоді опір:

$$R = 1 / (2\pi f_c C)$$

$$R = 1 / (2 \times 3,14 \times 10 \times 1 \times 10^{-6})$$

$$R \approx 15,9 \text{ кОм}$$

Приймаємо стандартне значення:

$$R = 15 \text{ кОм}$$

$$C = 1 \text{ мкФ}$$

У схемі цю функцію виконують елементи фільтра біля DA2 та VT3, зокрема R13, R14, C20, C21, C25.

Розрахунок стабілізатора напруги DA3 7805. Стабілізатор DA3 7805 формує напругу  $U_{\text{вих}} = 5 \text{ В}$ . Вхідна напруга  $U_{\text{вх}} = 9 \text{ В}$ . Падіння напруги на стабілізаторі:

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		36

$$\Delta U = U_{вх} - U_{вих}$$

$$\Delta U = 9 \text{ В} - 5 \text{ В} = 4 \text{ В}$$

Припустимо, що струм цифрової частини становить  $I = 50 \text{ мА}$ .  
Потужність, яка розсіюється на стабілізаторі:

$$P = \Delta U \times I$$

$$P = 4 \text{ В} \times 0,05 \text{ А}$$

$$P = 0,2 \text{ Вт}$$

Отже, при струмі 50 мА стабілізатор 7805 розсіює близько 0,2 Вт, що допускає його роботу без радіатора.

Якщо струм навантаження зросте до 100 мА, тоді:

$$P = 4 \text{ В} \times 0,1 \text{ А} = 0,4 \text{ Вт}$$

У цьому випадку бажано передбачити збільшену площу мідної фольги на друкованій платі для тепловідведення.

Для стабільної роботи 7805 використовуються конденсатори:

C29 = 10 мкФ — на вході стабілізатора;

C31 = 10 мкФ — на виході стабілізатора;

C30 = 10 мкФ — біля цифрової мікросхеми.

Розрахунок струмообмежувальних резисторів світлодіодів. Світлодіоди HL1 і HL2 використовуються для індикації режимів роботи.

Резистор для світлодіода розраховується за формулою:

$$R = (U_{жив} - U_{LED}) / I_{LED}$$

де:  $U_{жив}$  – напруга живлення;  $U_{LED}$  – пряме падіння напруги на світлодіоді;  
 $I_{LED}$  – струм світлодіода.

При живленні  $U_{жив} = 9$  В, для червоного світлодіода приймаємо  $U_{LED} = 2$  В. Струм світлодіода  $I_{LED} = 10$  мА. Тоді:

$$R = (9 \text{ В} - 2 \text{ В}) / 0,01 \text{ А}$$

$$R = 700 \text{ Ом}$$

Приймаємо стандартне значення  $R = 680$  Ом.

Для зменшення споживання струму портативного пристрою, можна прийняти  $I_{LED} = 5$  мА. Тоді:

$$R = (9 \text{ В} - 2 \text{ В}) / 0,005 \text{ А}$$

$$R = 1400 \text{ Ом}$$

Приймаємо стандартне значення  $R = 1,5$  кОм. Отже, для світлодіодів HL1 і HL2 доцільно використовувати резистори  $R4, R16 = 1,5$  кОм

Розрахунок розділових конденсаторів аудіовиходу. Аудіосигнали з виходів DA1 подаються на роз'єм XS1 через розділові конденсатори C23 і C24.

Разом із вхідним опором наступного каскаду ці конденсатори утворюють фільтр верхніх частот. Нижня гранична частота визначається за формулою:

$$f_H = 1 / (2\pi R_{вх} C)$$

Нехай вхідний опір наступного підсилювача  $R_{вх} = 47$  кОм. Потрібна нижня гранична частота  $f_H = 20$  Гц. Тоді необхідна ємність:

						БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат			38

$$C = 1 / (2\pi R_{вх} f_n)$$

$$C = 1 / (2 \times 3,14 \times 47000 \times 20)$$

$$C \approx 0,17 \text{ мкФ}$$

Приймаємо стандартне значення  $C_{23} = C_{24} = 0,22 \text{ мкФ}$ .

Якщо навантаження має менший опір, наприклад  $R_{вх} = 10 \text{ кОм}$ , тоді:

$$C = 1 / (2 \times 3,14 \times 10000 \times 20)$$

$$C \approx 0,8 \text{ мкФ}$$

Приймаємо стандартне значення  $C_{23} = C_{24} = 1 \text{ мкФ}$

Отже, для універсального аудіовиходу доцільно використовувати  $C_{23}$ ,  $C_{24} = 1 \text{ мкФ}$

Розрахунок фільтрувальних конденсаторів живлення. Для зменшення пульсацій і високочастотних завад біля кожної мікросхеми встановлюються блокувальні конденсатори. Типові значення:  $C_8, C_{10} = 0,1 \text{ мкФ}$ ;  $C_9, C_{11}, C_{14}, C_{29}, C_{30}, C_{31} = 10 \text{ мкФ}$ .

Керамічний конденсатор  $0,1 \text{ мкФ}$  ефективно подавляє високочастотні завади, а електrolітичний конденсатор  $10\text{--}47 \text{ мкФ}$  згладжує низькочастотні пульсації живлення.

Для оцінки пульсацій можна використати формулу:

$$\Delta U = I / (fC)$$

де:  $\Delta U$  – амплітуда пульсацій;  $I$  – струм навантаження;  $f$  – частота пульсацій;  
 $C$  – ємність фільтра. При:

$$I = 50 \text{ мА}$$

$$f = 100 \text{ Гц}$$

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		39

$$C = 470 \text{ мкФ}$$

Отримаємо:

$$\Delta U = 0,05 / (100 \times 470 \times 10^{-6})$$

$$\Delta U \approx 1,06 \text{ В}$$

Тому для живлення всієї схеми бажано використовувати вхідний фільтр не менше  $C_{жив} = 470\text{--}1000 \text{ мкФ}$ . А біля кожної мікросхеми додатково встановлюються  $0,1 \text{ мкФ} + 10 \text{ мкФ}$

Розрахунок транзисторного каскаду VT3. Транзистор VT3 BF597 використовується як буферний каскад для подачі сигналу гетеродина на вхід FM IN синтезатора LM7001. Прийmemo струм колектора  $I_c = 1 \text{ мА}$ . Напруга живлення каскаду  $U_{жив} = 5 \text{ В}$ . Для стабільної роботи задаємо напругу на колекторі приблизно половину напруги живлення  $U_c \approx 2,5 \text{ В}$ . Тоді опір колекторного резистора:

$$R_c = (U_{жив} - U_c) / I_c$$

$$R_c = (5 \text{ В} - 2,5 \text{ В}) / 0,001 \text{ А}$$

$$R_c = 2,5 \text{ кОм}$$

Приймаємо стандартне значення  $R_{13} = 2,7 \text{ кОм}$ .

Для базового кола приймаємо струм бази  $I_b = I_c / h_{FE}$ . Для транзистора BF597 можна прийняти  $h_{FE} = 50$ . Тоді:

$$I_b = 1 \text{ мА} / 50$$

$$I_b = 0,02 \text{ мА}$$

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		40

Для стабільного режиму роботи струм подільника приймають у 5–10 разів більшим за струм бази  $I_{\text{под}} = 0,2 \text{ мА}$ . Якщо напруга на базі повинна бути близько  $U_b = 0,7 \text{ В}$ , то загальний опір подільника:

$$R = U_{\text{жив}} / I_{\text{под}}$$

$$R = 5 \text{ В} / 0,0002 \text{ А}$$

$$R = 25 \text{ кОм}$$

Отже, для базового зміщення можна прийняти резистори порядку:

$$R_{14} = 22 \text{ кОм}$$

$$R_{15} = 10 \text{ кОм}$$

Розрахунок транзисторів VT1 і VT2. Транзистори VT1 і VT2 BF597 працюють у високочастотному тракті. Для таких каскадів важливо забезпечити малий рівень шуму, стабільність робочої точки та достатній коефіцієнт підсилення. Прийmemo  $U_{\text{жив}} = 9 \text{ В}$ ,  $I_c = 1,5 \text{ мА}$ ,  $U_c \approx 4,5 \text{ В}$ . Тоді колекторний опір:

$$R_c = (U_{\text{жив}} - U_c) / I_c$$

$$R_c = (9 \text{ В} - 4,5 \text{ В}) / 0,0015 \text{ А}$$

$$R_c = 3 \text{ кОм}$$

Приймаємо стандартне значення  $R_c = 2,7 \text{ кОм}$  або  $3,3 \text{ кОм}$ . Емітерний резистор для термостабілізації  $R_e = 470 \text{ Ом} - 1 \text{ кОм}$ .

Напруга на емітері:

$$U_e = I_c \times R_e$$

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		41

При  $I_c = 1,5 \text{ mA}$ :

$$R_e = 680 \text{ Ом}$$

Отримаємо:

$$U_e = 0,0015 \times 680$$

$$U_e \approx 1,02 \text{ В}$$

Напруга на базі:

$$U_b = U_e + 0,65 \text{ В}$$

$$U_b = 1,02 \text{ В} + 0,65 \text{ В}$$

$$U_b \approx 1,67 \text{ В}$$

Для подільника базового зміщення приймаємо струм подільника  $I_{под} = 0,2 \text{ mA}$ . Загальний опір подільника:

$$R_{заг} = 9 \text{ В} / 0,0002 \text{ А}$$

$$R_{заг} = 45 \text{ кОм}$$

Нижній резистор:

$$R_{ниж} = U_b / I_{под}$$

$$R_{ниж} = 1,67 \text{ В} / 0,0002 \text{ А}$$

$$R_{ниж} \approx 8,35 \text{ кОм}$$

Верхній резистор:

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		42

$$R_{\text{верх}} = R_{\text{заг}} - R_{\text{ниж}}$$

$$R_{\text{верх}} = 45 \text{ кОм} - 8,35 \text{ кОм}$$

$$R_{\text{верх}} \approx 36,6 \text{ кОм}$$

Приймаємо стандартні значення:

$$R_{\text{верх}} = 39 \text{ кОм}$$

$$R_{\text{ниж}} = 8,2 \text{ кОм}$$

Такі значення можуть бути використані для задання режиму роботи ВЧ-транзисторів VT1 і VT2.

Розрахунок резисторів підтягування цифрових ліній. Для цифрових ліній мікроконтролера DD1 та керування синтезатором DA2 можуть використовуватися підтягувальні резистори. Типові значення підтягувальних резисторів  $R_{\text{pull-up}} = 4,7\text{--}10 \text{ кОм}$ .

При напрузі живлення  $U = 5 \text{ В}$  і резисторі  $R = 10 \text{ кОм}$  струм через підтягувальний резистор становить:

$$I = U / R$$

$$I = 5 \text{ В} / 10000 \text{ Ом}$$

$$I = 0,5 \text{ мА}$$

Таке значення не перевантажує порт мікроконтролера і забезпечує стабільний логічний рівень. Тому для цифрових ліній DATA, CL, CE, а також входів керування доцільно використовувати  $R = 4,7\text{--}10 \text{ кОм}$

Розрахунок ІЧ-приймача TSOP1736. ІЧ-приймач BL1 TSOP1736 живиться від стабілізованої напруги  $U_{\text{жив}} = 5 \text{ В}$ . Типовий струм споживання такого приймача становить приблизно  $I = 0,5\text{--}1,5 \text{ мА}$ . Для стабільної роботи

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		43





Виводи 11–16 – тракт проміжної частоти. Ці виводи використовуються для підключення керамічних фільтрів 10,7 МГц, контурів проміжної частоти, FM-дискримінатора. Саме тут виконується основне підсилення та фільтрація сигналу проміжної частоти.

Вивід 17 – GND (RF Ground) – основний високочастотний загальний провід. До нього підключаються вхідний контур, ВЧ-підсилювач, змішувач, контури проміжної частоти. При проектуванні друкованої плати цей вивід необхідно підключати до широкої шини землі для забезпечення стабільної роботи радіочастотного тракту.

Виводи 18–22 – FM Front-End. Дані виводи використовуються для роботи вхідного FM-тракту. До них підключаються: антенний контур, гетеродин, варикапи, коливальні контури L1, L2, L3. Через ці виводи здійснюється прийом радіосигналу та його перетворення в проміжну частоту.

Вивід 21 – VCC Front-End – живлення високочастотного тракту. Безпосередньо біля цього виводу необхідно встановлювати блокувальні конденсатори малої ємності для подавлення високочастотних завад.

Виводи 23–26 – вузол гетеродина. Використовуються для підключення коливального контуру генератора та варикапів налаштування. Через ці виводи здійснюється електронна перебудова частоти приймача за допомогою PLL-синтезатора LM7001.

Виводи 27 та 28 – VCO Control – виводи генератора стереодекодера. До них підключаються зовнішні резистори та конденсатори, які визначають частоту роботи внутрішнього генератора стереодекодера (приблизно 76 кГц).

Вивід 30 – MPX Ground – загальний провід стереодекодера та MPX-тракту. Забезпечує стабільну роботу вузла декодування стереосигналу та має підключатися до загальної шини землі окремою короткою доріжкою.

Як синтезатор частоти вибрано мікросхему LM7001 – це спеціалізована мікросхема PLL-синтезатора частоти (Phase Locked Loop) для електронного налаштування АМ/FM-приймачів.



Кварцовий резонатор вибрано типу JT10.7MG18-A з резонансною частотою 10,7 МГц.

Кварцовий фільтр використано з параметрами 10.7МГц 280кОм типу LT10.7MA5 SFEL.

Конденсатори використано типу ЕСАР та К10-17, резистори типу С2-33.

### 1.8 Розробка друкованої плати та вузла FM-тюнера

Для реалізації розробленого FM-тюнера була спроектована одностороння друкована плата, призначена для монтажу радіоприймального тракту на мікросхемі СХА1538, синтезатора частоти LM7001, мікроконтролера PIC16F628, стабілізатора живлення 7805 та допоміжних елементів схеми.

Друкована плата виконана з фольгованого склотекстоліту марки FR-4 товщиною 1,5 мм з одностороннім мідним покриттям товщиною 35 мкм. Вибір даного матеріалу обумовлений його високою механічною міцністю, хорошими діелектричними характеристиками та широким застосуванням у виробництві радіоелектронної апаратури.

Габаритні розміри плати становлять: ширина – 60 мм; висота – 100 мм; товщина – 1,5 мм.

Для кріплення плати в корпусі передбачено чотири монтажні отвори діаметром 2,6 мм, розташовані по кутах плати. Відстань від краю плати до центру отворів становить 2,5 мм.

Конструкція друкованої плати забезпечує компактне розміщення елементів, мінімальну довжину високочастотних з'єднань та розділення цифрової і аналогової частин пристрою.

Топологія плати умовно поділяється на чотири функціональні області.

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		48

1) Високочастотний тракт. У верхній частині плати розташовані: мікросхема DA1 CXA1538, контури L1, L2, L3, варикапи VD2, VD3, керамічні фільтри ZQ1, ZQ2, дискримінатор ZQ3.

Таке компонування дозволяє мінімізувати паразитні індуктивності та ємності монтажу, що особливо важливо для роботи на частотах понад 100 МГц.

Високочастотні доріжки виконані максимально короткими та прямолінійними. Кількість переходів між вузлами мінімізована.

2) Вузол синтезатора частоти. У центральній частині плати розташовані: DA2 LM7001, кварцовий резонатор ZQ4, транзистори VT1–VT3, RC-фільтр PLL.

Таке розташування дозволяє зменшити вплив високочастотних завад на систему фазового автопідлаштування частоти.

3) Цифровий вузол керування. У правій нижній частині плати розташовані: DD1 PIC16F628, приймач інфрачервоного керування TSOP1736, роз'єми підключення дисплея, роз'єми зовнішнього керування.

Цифрові ланцюги віддалені від високочастотних контурів для зменшення взаємного впливу.

4) Вузол живлення. У верхній правій частині плати розташований стабілізатор DA3 типу 7805 та фільтрувальні конденсатори. Таке компонування забезпечує рівномірний розподіл живлення по всій платі та мінімальну довжину силових доріжок.

Провідний рисунок друкованої плати визначає електричну та теплову надійність пристрою. Основними параметрами провідників є їх ширина, товщина та відстань між сусідніми доріжками.

										БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
											49
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат							

Таблиця 1.3 – Конструктивні параметри для виготовлення плати

Параметр	Значення
Матеріал	FR-4
Товщина плати	1,5 мм
Товщина міді	35 мкм
Тип монтажу	Вивідний
Тип плати	Одностороння
Розміри	60×100 мм
Діаметр монтажних отворів	0,8–1,0 мм
Кріпильні отвори	Ø2,6 мм

При проектуванні використовується допустима густина струму для зовнішніх провідників друкованої плати:

$$J = 15 \text{ А/мм}^2$$

де  $J$  – допустима густина струму.

Товщина мідної фольги  $h = 35 \text{ мкм} = 0,035 \text{ мм}$

Мінімальна площа поперечного перерізу провідника визначається:

$$S = I / J$$

де:  $S$  – площа поперечного перерізу провідника,  $\text{мм}^2$ ;  $I$  – струм,  $\text{А}$ ;  $J$  – допустима густина струму,  $\text{А/мм}^2$ .

Ширина друкованої доріжки:

$$W = S / h$$

де:  $W$  – ширина провідника,  $\text{мм}$ ;  $h$  – товщина мідної фольги.

Розрахунок доріжки живлення +9 В. Максимальний струм споживання пристрою оцінюється як  $I = 150 \text{ мА} = 0,15 \text{ А}$ . Тоді площа поперечного перерізу провідника:

$$S = 0,15 / 15$$

$$S = 0,01 \text{ мм}^2$$

Необхідна ширина доріжки:

$$W = 0,01 / 0,035$$

$$W = 0,286 \text{ мм}$$

З урахуванням технологічного запасу приймаємо:

$$W(+9 \text{ В}) = 0,4 \text{ мм}$$

Розрахунок лінії живлення +5 В. Максимальний струм цифрової частини  $I = 80 \text{ мА} = 0,08 \text{ А}$

Площа провідника:

$$S = 0,08 / 15$$

$$S = 0,0053 \text{ мм}^2$$

Ширина доріжки:

$$W = 0,0053 / 0,035$$

$$W = 0,152 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне значення  $W(+5 \text{ В}) = 0,25 \text{ мм}$

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		51

Розрахунок ліній живлення окремих вузлів. Струм споживання одного вузла  $I = 30 \text{ мА} = 0,03 \text{ А}$ . Площа провідника:

$$S = 0,03 / 15$$

$$S = 0,002 \text{ мм}^2$$

Ширина провідника:

$$W = 0,002 / 0,035$$

$$W = 0,057 \text{ мм}$$

Для забезпечення механічної міцності та технологічності приймаємо  $W = 0,15 \text{ мм}$

Розрахунок сигнальних доріжок. Струм сигнальних ліній становить одиниці міліампер. Теоретично допустима ширина може бути меншою за  $0,1 \text{ мм}$ , однак з урахуванням технології виготовлення приймаємо  $W_{\text{сигн}} = 0,15 \text{ мм}$ . Таке значення забезпечує надійність друкованого монтажу та достатню механічну міцність провідників.

Розрахунок високочастотних доріжок. Для високочастотних кіл FM-тюнера важливим є зменшення паразитних параметрів. Тому ширина високочастотних провідників приймається:  $WBЧ = 0,15\text{--}0,20 \text{ мм}$

Мінімальна довжина високочастотних доріжок дозволяє знизити паразитні індуктивності та ємності монтажу. Особливо це стосується з'єднань: антена – DA1, L1–L3; варикапи VD2, VD3; керамічні фільтри ZQ1, ZQ2; вузол дискримінатора ZQ3.

Розрахунок загальної шини землі. Загальний струм через шину землі  $I_{\text{зем}} = 150 \text{ мА} = 0,15 \text{ А}$ . Площа провідника:

$$S = 0,15 / 15$$

$$S = 0,01 \text{ мм}^2$$

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		52

Ширина доріжки:

$$W = 0,01 / 0,035$$

$$W = 0,286 \text{ мм}$$

Для покращення завадостійкості приймається  $W_{зем} = 0,5$  мм. На практиці доцільно використовувати максимально можливу ширину шини землі по всій платі.

Розрахунок відстаней між доріжками. Для напруг до 10 В згідно з вимогами друкованого монтажу мінімальна відстань між провідниками може становити  $L_{min} = 0,2$  мм. Для забезпечення технологічного запасу приймаються: між сигнальними лініями — 0,2 мм; між силовими лініями — 0,3–0,5 мм; між сигнальними та силовими лініями — 0,3 мм. Такі значення забезпечують відсутність пробіїв та спрощують виготовлення друкованої плати.

Оцінка площі провідного рисунка. Площа друкованої плати:

$$S_{пл} = 60 \times 100 = 6000 \text{ мм}^2$$

Орієнтовно провідний рисунок займає близько 25–30 % площі плати. Тоді площа провідників  $S_{пр} \approx 1800 \text{ мм}^2$ . Таке значення забезпечує достатню щільність монтажу без погіршення технологічності виготовлення.

В Altium Designer було проведено трасування провідного рисунка друкованої плати. Його вигляд наведено на рис. рис. 1.3.

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		53



Умовно друковану плату можна поділити на п'ять основних функціональних зон:

1. Високочастотний тракт.
2. Вузол синтезатора частоти.
3. Цифровий вузол керування.
4. Вузол живлення.
5. Інтерфейсні роз'єми.

Подібне зонування дозволяє знизити рівень взаємних перешкод між окремими вузлами та підвищити стабільність роботи приймача.

Високочастотна частина розташована у верхній та центральній частинах друкованої плати. Центральне розташування DA1 дозволяє мінімізувати довжину високочастотних з'єднань між мікросхемою та навколишніми контурами.

Контури L1–L3 розміщені безпосередньо біля відповідних входів мікросхеми. Таке компонування забезпечує мінімальну паразитну індуктивність доріжок, зменшення паразитних ємностей монтажу, покращення стабільності налаштування, зменшення впливу зовнішніх перешкод.

Варикапи VD2 та VD3 розташовані максимально близько до котушок індуктивності, що особливо важливо для роботи PLL-системи.

Керамічні фільтри ZQ1 та ZQ2 встановлені поблизу виводів проміжної частоти мікросхеми CXA1538. Завдяки цьому зменшуються втрати сигналу та покращується вибірковість приймача.

Вхід антени розташований у верхній центральній частині плати, що дозволяє мінімізувати довжину антенного тракту.

Вузол цифрового синтезу частоти розташований у лівій верхній частині плати. Таке розташування обране для мінімізації довжини з'єднань між LM7001 та варикапами керування частотою.

Кварцовий резонатор ZQ4 розташований безпосередньо біля входів синтезатора. Це дозволяє зменшити вплив шумів, підвищити стабільність опорної частоти, покращити роботу PLL-контролю.

Транзистори VT1–VT3 розташовані між DA2 та високочастотним трактом, що забезпечує ефективне узгодження сигналів між вузлами.

Цифрова частина схеми знаходиться в нижній лівій частині друкованої плати.

Мікроконтролер розташований окремо від високочастотного тракту, що дозволяє зменшити рівень цифрових завад.

Приймач інфрачервоного дистанційного керування TSOP1736 встановлений поблизу нижнього краю плати для спрощення виведення його приймального вікна на передню панель корпусу.

Роз'єми XS3 та XS4 знаходяться поруч із мікроконтролером, що забезпечує короткі цифрові лінії та спрощує підключення зовнішніх пристроїв.

Система живлення розташована в центральній нижній частині плати.

Таке розташування дозволяє забезпечити мінімальну довжину силових ліній живлення.

Стабілізатор 7805 розміщений між цифровою та аналоговою частинами плати, що забезпечує рівномірний розподіл стабілізованої напруги +5 В до всіх вузлів споживання.

Фільтрувальні конденсатори встановлені максимально близько до виводів стабілізатора відповідно до рекомендацій виробника.

У правій нижній частині плати розташований аудіовихідний вузол.

Таке розташування дозволяє скоротити довжину вихідних аудіоліній, знизити рівень наведень, спростити підключення зовнішнього підсилювача або навушників.

Вихідний роз'єм винесений безпосередньо до краю плати, що значно спрощує монтаж у корпусі.

						БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат			56

Світлодіоди HL1 та HL2 розташовані у правому верхньому куті друкованої плати. Таке розташування забезпечує зручне виведення індикації на передню панель, візуальний контроль роботи пристрою, мінімальну довжину ланок керування індикаторами.

Запропонована компоновка друкованої плати має ряд переваг:

- компактне розміщення всіх функціональних вузлів;
- мінімальний вплив цифрової частини на ВЧ-тракт;
- висока заводостійкість;
- простота виготовлення односторонньої плати;
- зручність монтажу та налагодження;
- можливість встановлення в компактний корпус портативного радіоприймача.

На рис. 1.4 наведено вигляд компоновки вузла проектного тюнера.

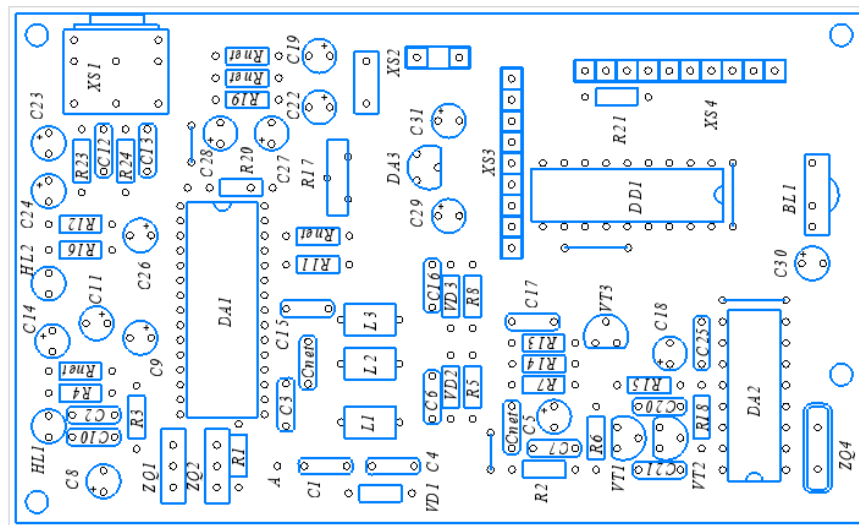


Рисунок 1.4 – Вигляд компоновки вузла проектного тюнера

Розроблена топологія забезпечує надійну роботу FM-тюнера у всьому діапазоні частот 87,5–108 МГц та відповідає вимогам до сучасних портативних радіоприймальних пристроїв.

У результаті аналізу компоновки встановлено, що друкована плата має раціональне функціональне зонування та забезпечує оптимальне розташування всіх вузлів FM-тюнера. Високочастотний тракт, синтезатор частоти, цифровий блок керування та вузол живлення розташовані таким чином, щоб мінімізувати взаємний вплив і забезпечити стабільну роботу приймача. Прийняті конструктивні рішення дозволяють отримати компактний, технологічний та надійний пристрій із хорошими електричними характеристиками.

### 1.9 Висновки до розділу 1

В розділі проаналізовано вимоги до технічних характеристик, яким має задовільняти проєктований FM-тюнер. Проведений аналіз принципів роботи FM-тюнерів показав, що найбільш ефективною архітектурою для портативних радіоприймачів є супергетеродинна структура з перетворенням частоти на стандартну проміжну частоту 10,7 МГц. Використання сучасних інтегральних рішень та цифрових методів обробки сигналів дозволяє створювати компактні та енергоефективні FM-тюнери з покращеними характеристиками прийому.

Запропоновано структурну схему FM-тюнера на основі використання мікросхеми СХА1538, до якої додано цифрові тракти налаштування частоти та керування тюнером із можливістю індикації режимів роботи. Використання супергетеродинного принципу прийому в поєднанні з PLL-синтезатором частоти забезпечило високу стабільність налаштування, хорошу вибірковість і якісний прийом радіостанцій FM-діапазону. Застосування мікроконтролера дало можливість реалізувати сучасні функції цифрового керування та автоматичного пошуку радіостанцій.

Також проведено опис та детальний аналіз принципової електричної схеми FM-тюнера портативного радіоприймача а також виконано розрахунки елементів та режимів їхньої роботи. На основі цього було вибрано елементну

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		58

базу тюнера. Зокрема, як синтезатор частоти вибрано мікросхему LM7001, високочастотні транзистори BF597, варикапи BB109 та решту елементів.

Проведено проектування друкованої плати FM-тюнера. Встановлено, що обрана топологія плати забезпечує мінімальний вплив цифрової частини на високочастотний тракт, знижує рівень електромагнітних завад та гарантує стабільну роботу FM-тюнера у всьому діапазоні робочих частот.

Виконано компоновку друкованої плати та встановлено, що друкована плата має раціональне функціональне зонування та забезпечує оптимальне розташування всіх вузлів FM-тюнера. Високочастотний тракт, синтезатор частоти, цифровий блок керування та вузол живлення розташовані таким чином, щоб мінімізувати взаємний вплив і забезпечити стабільну роботу приймача. Прийняті конструктивні рішення дали можливість отримати компактний, технологічний та надійний пристрій із хорошими електричними характеристиками.

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		59



до місця події за допомогою рубильника або вимикача. Якщо вимикача поруч немає, а напруга живлячої лінії не перевищує 1000 В (напруга в побутових електричних мережах не перевищує 220 В), то звільняють потерпілого за допомогою сухого предмету не провідного електрика: палиці, дошки, сухої частини одягу, наприклад підлоги піджака або коміра куртки. Відтягаючи потерпілого за одяг, потрібно потурбуватися про власну ізоляцію. Для цієї мети підійде сухий шарф, надітий на руку, суконна або шкіряна кепка; можна встати на гумовий автомобільний килимок або прихопити нею потерпілого; можна перерубати дроти сокирою з сухою дерев'яною рукояткою. Перурабати або перекушувати дроти необхідно поодиночі, кожен фазу окремо. При напрузі в мережі вище 1000 В слід надіти діелектричні рукавички і боти, діяти ізолюючою штангою або виробити замикання дротів накоротко, накинувши на них гнучкий дрід, що має чималий перетин, аби не перегорів при виникненні струму короткого замикання. Іншими словами, потрібне спеціальне устаткування.

У всіх випадках удару електричним струмом потрібно викликати швидку медичну допомогу. Якщо потерпілий в свідомості, але був в непритомності, або якщо знаходиться в несвідомому стані, але дихання і пульс збережені, то його треба покласти, розстігнути одяг, зігріти тіло і створити спокійну обстановку довкола. Аби потерпілий не захлинувся від блювоти, голову необхідно обернути набік. Коли потерпілий приходить в свідомість, йому забороняють підійматися і ходити до приїзду швидкої медичної допомоги. Зазвичай таких потерпілих доставляють в стаціонарне відділення і декілька днів спостерігають за їх станом.

Якщо після звільнення від дії електричного струму потерпілий не дихає або дихання у нього рідке, неглибоке, і шкірні покриви поступово синіють, то необхідно провести штучне дихання. Дихання з рота в рот або з рота в ніс забезпечують вступ в легені рятованого необхідної кількості повітря, придатного для дихання. Вдування повітря здійснюється через марлю або

						БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат			61

носову хустку. При цьому методі штучного дихання видно, чи потрапляє повітря в легені рятованого, на вдиху у нього підіймаються ребра, а видих відбувається пасивно, за рахунок природної еластичності грудної клітки.

## 2.2 Пожежна безпека

Пожежа - неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, яке призводить до матеріальної шкоди.

Пожежна безпека – стан об'єкта, при якому з регламентованою ймовірністю виключається можливість виникнення та розвиток пожежі і впливу на людей її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

Причинами пожеж та вибухів на підприємстві є порушення правил і норм пожежної безпеки, невиконання Закону “Про пожежну безпеку”.

Небезпечними факторами пожежі і вибуху, які можуть призвести до травми, отруєння, загибелі або матеріальних збитків є відкритий вогонь, іскри, підвищена температура, токсичні продукти горіння, дим, низький вміст кисню, обвалення будинків і споруд.

За стан пожежної безпеки на підприємстві відповідають її керівники, начальники цехів, майстри та інші керівники.

На підприємствах існує два види пожежної охорони: професійна і воєнізована. Воєнізована охорона створюється на об'єктах з підвищеною небезпекою. Крім того на підприємствах для посилення пожежної охорони організуються добровільні пожежні дружини і команди, добровільні пожежні товариства і пожежно-технічні комісії з числа робітників та службовців. При Міністерстві внутрішніх справ існує управління пожежної охорони (УПО) і його органи на місцях. До складу УПО входить Державний пожежний нагляд який здійснює:

Контроль за станом пожежної безпеки

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		62

Розробляє і погоджує протипожежні норми і праила та контролює їх виконання в проектах і безпосередньо на об'єктах народного господарства

Проводить розслідування і облік пожеж

Організовує протипожежну профілактику.

Протипожежна профілактика – це комплекс організаційних і технічних заходів, які спрямовані на здійснення безпеки людей, на попередження пожеж, локалізацію їх поширення, а також створення умов для успішного гасіння пожежі.

Відповідальним керівником робіт по ліквідації пожеж і аварій на підприємстві є головний інженер. Начальник структурного підрозділу, в якому виникла пожежа, є відповідальним виконавцем робіт по її ліквідації.

Протипожежні вимоги до будинків і споруд

Виходячи з властивостей речовин і матеріалів, умов їх застосування і обробки і у відповідності із ОНТП 24-86 “Визначення категорій приміщень і будівель по вибухопожежній і пожежній небезпеці” приміщення по вибухопожежній і пожежній небезпеці діляться на п'ять категорій – А, Б, В, Г, Д.

До категорії А належать приміщення, де перебувають спалими та легкозаймисті рідини з температурою спалаху, що не перевищує 28°C, а також речовини і матеріали здатні вибухати і горіти при взаємодії з водою, киснем або одне з одним; при утворенні вибухонебезпечних сумішей розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху 5 кПа.

До категорії Б належать приміщення, в яких є пил та волокна, легкозаймисті рідини з температурою спалаху понад 28°C та спалими рідини в такій кількості, що можуть утворюватися вибухонебезпечні пилоповітряні та пароповітряні суміші, при займанні яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху 5 кПа.

До категорії В належать приміщення, де перебувають спалими та важкоспалими рідини, тверді спалими та важкоспалими речовини та матеріали

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		63

(в тому числі пил та волокна), а також речовини і матеріаліякі здатні при взаємодії з водою, киснем повітря та одне з одним тільки горіти (за умови, що ці приміщення не відносяться до категорії А чи Б).

До категорії Г належать приміщення, в яких є неспалимі речовини та матеріали в гарячому, розпеченому або розплавленому стані, а також спалимі гази, рідини та тверді речовини, які спалюються або утилізуються як паливо; процес їх обробки супроводжується виділенням променевої теплоти, іскор та полум'я.

До категорії Д належать приміщення, в яких є неспалимі речовини та матеріали у холодному стані.

На розвиток пожежі у приміщеннях та спорудах значно впливає здатність окремих будівельних елементів чинити опір впливу тепла, тобто їх вогнестійкість.

Вогнестійкість – здатність будівельних конструкцій чинити опір дії високої температури, утворенню наскрізних тріщин та поширенню вогню в умовах пожежі і виконувати при цьому свої звичайні експлуатаційні функції. Вогнестійкість конструкцій будівель характеризується межею вогнестійкості.

Межа вогнестійкості – це час, на протязі якого конструкція може витримати дію вогню, а потім вже починається деформація.

Будинок може належати до того або іншого ступеня вогнестійкості, якщо значення меж вогнестійкості і меж поширення вогню усіх конструкцій не перевищує значень вимог СНиП 2.01.02-85.

### 2.3 Висновки до розділу

В розділі «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» описано заходи електробезпеки при роботі з виробом, а також питання пожежної безпеки на підприємстві.

						БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат			64

## Висновки

В кваліфікаційній роботі виконано проектування FM-тюнера портативного радіоприймача.

Проаналізовано вимоги до технічних характеристик, яким має задовільняти проєктований FM-тюнер. Проведений аналіз принципів роботи FM-тюнерів показав, що найбільш ефективною архітектурою для портативних радіоприймачів є супергетеродинна структура з перетворенням частоти на стандартну проміжну частоту 10,7 МГц. Використання сучасних інтегральних рішень та цифрових методів обробки сигналів дає можливість створювати компактні та енергоефективні FM-тюнери з покращеними характеристиками прийому.

Запропоновано структурну схему FM-тюнера на основі використання мікросхеми СХА1538, до якої додано цифрові тракти налаштування частоти та керування тюнером із можливістю індикації режимів роботи.

Також проведено опис та детальний аналіз принципової електричної схеми FM-тюнера портативного радіоприймача а також виконано розрахунки елементів та режимів їхньої роботи. На основі цього було вибрано елементну базу тюнера.

Проведено проектування друкованої плати FM-тюнера. Встановлено, що обрана топологія плати забезпечує мінімальний вплив цифрової частини на високочастотний тракт, знижує рівень електромагнітних завад та гарантує стабільну роботу FM-тюнера у всьому діапазоні робочих частот.

Виконано компоновку друкованої плати та встановлено, що друкована плата має раціональне функціональне зонування та забезпечує оптимальне розташування всіх вузлів FM-тюнера.

Проведено аналіз безпеки життєдіяльності, основ охорони праці.

					БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		65

## Список використаних джерел

1. Malmstadt, Enke and Crouch, Electronics and Instrumentation for Scientists, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 1981, ISBN 0-8053-6917-1, Chapter 3.
2. Allen, Phillip E.; Holberg, Douglas R. (2002). CMOS Analog Circuit Design. ISBN 978-0-19-511644-1.
3. Universal power adapter and charger solution for mobile terminals and other hand-held ICT devices. International Telecommunication Union. 2011-06-13.
4. The Shocking Truth About Transformerless Power Supplies. Hackaday. April 4, 2017. Archived from the original on April 16, 2022.
5. Дедів Л.Є., Сверстюк А.С., Дедів І.Ю., Хвостівський М.О., Дозорський В.Г., Яворська Є.Б. Математичне та комп'ютерне моделювання електрокардіосигналів у системах голтерівського моніторингу: наукова монографія. Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2021. 120 с. ISBN 978-617-574-218-1.
6. Дедів І.Ю., Сверстюк А.С., Дедів Л.Є., Дозорський В.Г., Хвостівський М.О. Математичне моделювання, методи та програмне забезпечення опрацювання дихальних шумів у комп'ютерних аускультативних діагностичних системах: наукова монографія. Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2021. 126 с. ISBN 978-617-574-219-8.
7. Khvostivska L., Khvostivskiy M., Dunets V., Dediv I. (2023) Matematychnе, alhorytmichne ta prohramne zabezpechennia synfaznoho vyjavlennia radiosyhnaliv v elektronnykh komunikatsiinykh merezhakh iz zavadamy [Mathematical, algorithmic and software support of synphase detection of radio signals in electronic communication networks with noises]. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol. 111, no 3, pp. 48-57 [in Ukrainian].
8. Dozorskyi V., Dediv I., Sverstiuk S., Nykytyuk V., Karnaukhov A. The Method of Commands Identification to Voice Control of the Electric Wheelchair.

Proceedings of the 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. P.233-240. ISSN 1613-0073. CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine.

9. Дозорський В.Г., Дозорська О.Ф., Дедів Л.Є., Дедів І.Ю., Паньків І. М., Яворська Є.Б. Структура системи відбору біосигналів для задачі відновлення комунікативної функції людини. Вісник Хмельницького національного університету: технічні науки. – Хмельницький: редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету". – 2019. - №2(271) – с. 183-186.

10. Ткачук Р. А. Основи технології радіоелектронних апаратів: навчальний посібник / Р.А. Ткачук, В.Г. Дозорський, Л.Є. Дедів, І.Ю. Дедів. - Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. - 336 с.

11. Дозорська О.Ф., Яворська Є.Б., Дозорський В.Г., Дедів Л.Є. і Дедів І.Ю. Метод виявлення ознак основного тону в структурі електроміографічних сигналів для задачі компенсації порушеної комунікативної функції людини», Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування, (81), с. 56-64. doi: 10.20535/RADAR.2020.81.56-64.

12. Методичні вказівки для виконання курсового проекту з дисципліни «Матеріали та основи технології електронних апаратів» : для студентів напряму підготовки 6.050902 "Радіоелектронні апарати" / укл. : В. Г. Дозорський. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2015. – 47 с.

13. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.

						БДП 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат			67

# ДОДАТКИ

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедру РТ  
\_\_\_\_\_ к.т.н. Дунець В.Л.  
“28” квітня 2026 р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу бакалавра

На тему: «FM-тюнер портативного радіоприймача»

Узгоджено:

Керівник кваліфікаційної роботи

Яворський Б.І. \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2026 р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”

Студент групи РА-41

Батюк Д.П. \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2026 р.

Тернопіль 2026

# 1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: “FM-тюнер портативного радіоприймача”

1.2 Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету на затвердження дипломного проекту № 4/7-198 від 28.04.2026 р.).

## 2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1. Студент Батюк Д.П. групи РАс-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

## 3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою роботи є розробка FM-тюнера портативного радіоприймача, що включає в себе:

- вибір апаратного забезпечення для даного пристрою;
- вибір елементної бази розроблювального пристрою;
- розрахунок і вибір компонентів для оптимальної роботи пристрою;
- розробку друкованої плати та друкованого вузла.

## 4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

Пристрій повинен забезпечувати ряд характеристик, а саме:

- 1) Діапазон приймальних частот - 87,5–108 МГц;
- 2) Тип приймача – Супергетеродинний;
- 3) Проміжна частота - 10,7 МГц;
- 4) Спосіб налаштування - Цифровий PLL-синтез;
- 5) Вид модуляції - Частотна (FM);
- 6) Максимальна девіація частоти -  $\pm 75$  кГц;
- 7) Тип приймання – Стерефонічне;
- 8) Система стереодекодування - PLL Stereo Decoder;
- 9) Чутливість при  $S/N = 26$  дБ - не гірше 3 мкВ;
- 10) Вибірковість по сусідньому каналу - не менше 60 дБ;
- 11) Вибірковість по дзеркальному каналу - не менше 50 дБ;
- 12) Співвідношення сигнал/шум - не менше 55 дБ;
- 13) Коефіцієнт гармонічних спотворень - не більше 1 %;
- 14) Розділення стереоканалів - не менше 30 дБ;
- 15) Вихідна напруга аудіосигналу - 200–500 мВ;
- 16) Напруга живлення - 9 В;
- 17) Споживаний струм - не більше 80 мА;
- 18) Споживана потужність - не більше 0,8 Вт;
- 19) Дистанційне керування - ГЧ-пульт.

## 5 ВИМОГИ ДО ДОКУМЕНТАЦІЇ

5.1 Конструкторська документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

5.2. Комплект конструкторської документації повинен складатися з:

- Пояснювальна записка;
- Структурна схема пристрою;
- Принципова схема пристрою;
- Друкована плата;
- Друкований вузол.

## ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Таблиця 6.1 - Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи

№ етапу	Назва етапу виконання	Термін виконання
1	Отримання завдання на виконання роботи	28.04.2026
2	Аналіз отриманого завдання	05.05.2026
3	Виконання розділу 1	15.05.2026
4	Виконання розділу 2	26.05.2026
5	Оформлення пояснювальної записки	02.06.2026
6	Оформлення презентаційного матеріалу	04.06.2026
7	Перевірка кваліфікаційної роботи на антиплагіат	06.06.2026
8	Попередній захист кваліфікаційної роботи	11.06.2026
9	Захист кваліфікаційної роботи	24.06.2026

## ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

.1 Під час виконання кваліфікаційної роботи в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка	
BL1	Інфрачервоний приймач TSOP 1736	1		
	<u>Конденсатори</u>			
	ЕСАР			
	К10-17-16-Н90			
C1	К10-17-16-Н90-68 пФ±5%	1		
C2,C7,C11	К10-17-16-Н90-100 нФ±5%	3		
C3	К10-17-16-Н90-10 пФ±5%	1		
C4,C17,C25	К10-17-16-Н90-22 пФ±5%	3		
C5	ЕСАР-16В-47 мкФ±20%	1		
C6,C16	К10-17-16-Н90-50 пФ±5%	2		
C8	ЕСАР-16В-0,1 мкФ±20%	1		
C9,C11,C14	ЕСАР-16В-4,7 мкФ±20%	3		
C12,C13	К10-17-16-Н90-100 нФ±5%	2		
C15	К10-17-16-Н90-3,3 пФ±5%	1		
C18	ЕСАР-16В-2,2 мкФ±20%	1		
C19,C22,C29-C31	ЕСАР-16В-10 мкФ±20%	5		
C20	К10-17-16-Н90-22 нФ±5%	1		
C21	К10-17-16-Н90-47 нФ±5%	1		
C23,C24,C26	ЕСАР-16В-1 мкФ±20%	3		
C27,C28	ЕСАР-16В-0,47 мкФ±20%	2		
	<u>Мікросхеми</u>			
DA1	СХА1538	1		
DA2	LM7001	1		
DA3	78L05	1		
DD1	РІС16F628	1		
БДП 2.893.001 ПЕЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.	Батюк Д.П.			
Перевір.	Яворський Б.І.			
Н. Контр.	Хвостівська Л.В.			
Зав. каф.	Дунець В.Л.			
Реценз.	Дедів Л.Є.			
FM-тюнер портативного радіоприймача				
Перелік елементів				
Лім.	Арк.	Аркуші		
	1	3		
ТНТУ, гр. РАс-41				



Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка			
ZQ1,ZQ2	<u>Кварцовий фільтр LT10.7 MA5 SFEL</u>	2				
ZQ3,ZQ4	<u>Кварцовий резонатор JT10.7 MG18-A</u>	2				
	<u>Роз'єми</u>					
XS1	<u>Аудіороз'єм FC68125</u>	1				
XS2	<u>Конектор роз'єм 2pin 2.5</u>	1				
XS3	<u>Конектор роз'єм 9pin 2.5</u>	1				
XS4	<u>Конектор роз'єм 10pin 2.5</u>	1				
					БДП 2.893.001 ПЕЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

Форма	Зона.	Поз.	Найменування	Найменування	Кіл.	Примітка
				<b><u>Документація</u></b>		
A2			БДП 3.893.001 СК	Складальне креслення		
A2			БДП 3.893.001 ЕЗ	Схема електрична принципова		
				<b><u>Деталі</u></b>		
		1	БДП 7.102.001	Плата друкована	1	
				<b><u>Стандартні вироби</u></b>		
		2	БДП 4.001.001	Прокладка	16	
				<b><u>Інші вироби</u></b>		
		3		Дросель AL0307 100 нГн	1	L1
		4		Дросель AL0307 82 нГн	2	L2, L3
				<b><u>Діоди</u></b>		
		5		1N4001	1	VD1
		6		BB109	2	VD2,VD3
		7		Інфрачервоний приймач TSOP 1736	1	BL1
		8		Кварцовий фільтр LT10.7 MA5 SFEL	2	ZQ1,ZQ2
		9		Кварцовий резонатор JT10.7 MG18-A	2	ZQ3,ZQ4
				<b><u>Конденсатори</u></b>		
		10		K10-17-16-H90-68 пФ±5%	1	C1
		11		K10-17-16-H90-100 нФ±5%	3	C2,C7,C11
		12		K10-17-16-H90-10 пФ±5%	1	C3
		13		K10-17-16-H90-22 пФ±5%	3	C4,C17,C25
		14		ЕСАР-16В-47 мкФ±20%	1	C5
				БДП 2.893.001		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		
Розроб.		Батюк Д.П.			Лім.	Арк.
Перевір.		Яворський Д.П.				Аркушів
Н. Контр.		Хвостівська Л.В.				1 3
Затверд.		Дунець В.Л.			ТНТУ, гр. РАс-41	
Рецензент		Дедів Л.Є.				
Друкований вузол						



