

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Радіопередавач стереозвукового супроводу систем CCIR

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

спеціальності 172 Електронні комунікації та

радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Коньчик О.В.

(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 Коньчику Олександр Василювичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Радіопередавач стереозвукового супроводу систем CCIR

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 Напруга живлення – +5...9 В; Вихідна потужність – до 10 мВ;

Значення піднесучаї частоти – 38 кГц; Значення частоти пілот-сигналу – 19 кГц;

Робоча частота передавача – 87,9 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;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Гурик О.Я., доц. каф.МТ		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент _____
(підпис)

Коньчик О.В.
_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Яворський Б.І.
_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Радіопередавач стереозвукового супроводу систем ССІR». Кваліфікаційна робота бакалавра // ТНТУ ім. І. Пулюя, ФПТ, РАс-41 // Тернопіль, 2026р. // с. - 67, рис.- 8, бібліог.- 13, додат.- 3.

Ключові слова: РАДІОПЕРЕДАВАЧ, СТЕРЕОЗВУК, СИСТЕМА ССІR, ДІАПАЗОН, ЧАСТОТА.

В роботі проводиться проєктування радіопередавач стереозвукового супроводу систем ССІR. Проаналізовано вимоги до передавача, зокрема в плані технічних характеристик та параметрів, теплових режимів та електромагнітної сумісності. Також детально виконано аналіз принципів роботи передавачів системи ССІR та власне вимоги систем ССІR, принципи формування стереофонічного сигналу, структуру мультиплексованого сигналу. Наведено математичну модель такого стереосигналу та принципи його декодування, переваги та недоліки системи ССІR. Також проаналізовано типові прототипи передавачів системи ССІR на основі використання мікросхем ВА1404 та NJM2035. Враховуючи доступність, за основу проєктування використано мікросхему ВА1404. Розроблено структурну схему передавача та його схему електричну. В останній додаково виконано підсилювач потужності та високочастотному транзисторові для збільшення радіусу дії передавача.

Технічні вимоги до радіопередавача: напруга живлення – +5...9 В; вихідна потужність – до 10 мВ; значення піднесучаї частоти – 38 кГц; значення частоти пілот-сигналу – 19 кГц; робоча частота передавача – 87,9 МГц.

ANNOTATION

Theme of qualification work : "Radio transmitter for stereo sound support of CCIR systems". Qualifying work of a bachelor // TNTU, FPT, group RAs-41. // Ternopil, 2026 //p. - 67, fig. - 8, bibliog. - 13, appendix- 3.

Keywords: RADIO TRANSMITTER, STEREO SOUND, CCIR SYSTEM, RANGE, FREQUENCY.

The work is devoted to the design of an Radio transmitter for stereo sound support of CCIR systems. The requirements for the transmitter are analyzed, in particular in terms of technical characteristics and parameters, thermal conditions and electromagnetic compatibility. Also, a detailed analysis of the principles of operation of CCIR system transmitters and the requirements of CCIR systems, the principles of stereo signal formation, the structure of the multiplexed signal are performed. A mathematical model of such a stereo signal and the principles of its decoding, the advantages and disadvantages of the CCIR system are presented. Typical prototypes of CCIR system transmitters based on the use of BA1404 and NJM2035 microcircuits are also analyzed. Taking into account the availability, the BA1404 microcircuit was used as the basis for the design. The structural diagram of the transmitter and its electrical circuit were developed. In the latter, a power amplifier and a high-frequency transistor were additionally implemented to increase the transmitter's range.of frequency modulation and operation in the mode of an oscillating frequency generator.

Technical requirements for the radio transmitter: supply voltage – +5...9 V; output power – up to 10 mV; subcarrier frequency value – 38 kHz; pilot signal frequency value – 19 kHz; transmitter operating frequency – 87.9 MHz.

Зміст

Вступ.....	7
1. Основна частина.....	9
1.1 Аналіз технічного завдання.....	9
1.2 Огляд принципів роботи передавачів системи CCIR.....	9
1.3 Огляд аналогів та прототипів.....	16
1.4 Розробка структурної схеми.....	20
1.5 Розробка схеми електричної принципової.....	21
1.6 Параметричний синтез.....	29
1.7 Вибір елементів.....	35
1.8 Розробка плати та вузла передавача.....	38
1.9 Тепловий розрахунок друкованого вузла.....	44
1.10 Електромагнітна сумісність стереофонічного передавача.....	50
1.11 Висновки до розділу 1.....	56
2 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.....	57
2.1. Електробезпека при роботі з апаратом.....	57
2.2. Долікарська допомога при шоку.....	59
2.3. Висновки до розділу 2.....	64
Висновки.....	65
Список використаних джерел.....	66
Додатки	

					КОВ 2.893.001 ПЗ			
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Радіопередавач стереозвукового супроводу систем CCIR	<i>Лім</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		Коньчик О.В..				у	6	67
<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.						

рішень дозволяє покращити експлуатаційні характеристики передавача, знизити енергоспоживання та підвищити надійність роботи системи в цілому.

Таким чином, проектування радіопередавача стереозвукового супроводу систем ССІР є актуальним завданням.

Практичне значення. Розроблений радіопередавач стереозвукового супроводу систем ССІР може бути використаний в процесі модернізації існуючих систем мовлення, а також при проектуванні нових засобів передавання інформації.

					КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
						8
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

- лівий канал (L);
- правий канал (R).

Із цих сигналів формуються дві нові складові:

1) Сумарний сигнал:

$$S=L+R$$

2) Різницевий сигнал:

$$D=L-R$$

Сумарний сигнал містить інформацію, спільну для обох каналів, і використовується як основна складова мультиплексного сигналу. Різницевий сигнал містить інформацію про просторове розташування джерел звуку та забезпечує відтворення стереоефекту.

Застосування такого способу кодування дозволяє забезпечити сумісність із монофонічними приймачами. У випадку прийому сигналу монофонічним радіоприймачем використовується лише сумарна складова (L+R), яка відтворюється як звичайний звуковий сигнал.

1.2.3 Структура мультиплексного сигналу.

Сформований стереофонічний мультиплексний сигнал складається з трьох основних компонентів:

- 1) Основного каналу (L+R);
- 2) Пілот-тону частотою 19 кГц;
- 3) Різницевого каналу (L-R), перенесеного на піднесучу частоту 38 кГц.

Спектральний склад МРХ-сигналу наведений на рис. 1.1.

						КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат			11

Спектр МРХ-сигналу (система ССІR)

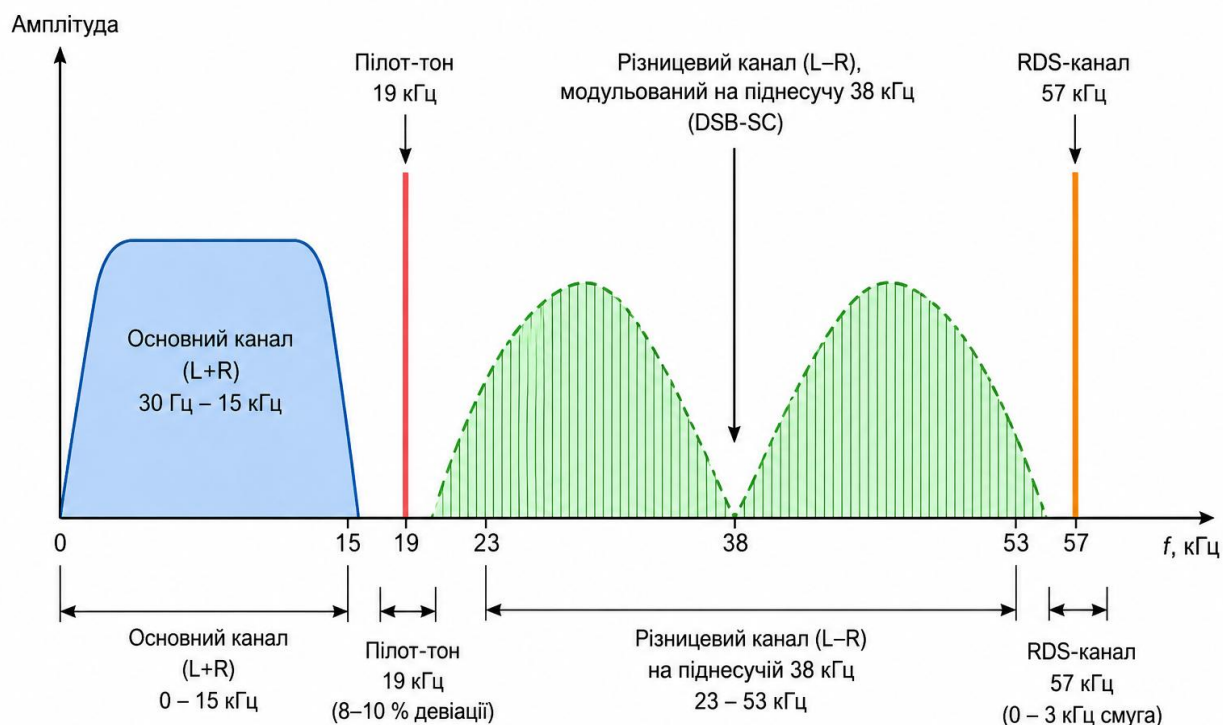


Рисунок 1.1 – Спектральний склад МРХ-сигналу

Основний канал. Сумарний сигнал займає смугу частот від 30 Гц до 15 кГц. Саме ця складова використовується монофонічними приймачами для відтворення звуку.

Пілот-тон. Для індикації наявності стереопередачі до складу сигналу вводиться гармонічний сигнал частотою $f_{п} = 19$ кГц.

Амплітуда пілот-тону зазвичай становить 8–10 % від максимальної девіації частоти передавача.

Пілот-тон виконує такі функції:

- повідомляє приймач про наявність стереосигналу;
- забезпечує синхронізацію декодера;
- використовується для відновлення піднесучої частоти 38 кГц.

Різницевий канал. Для передачі різницевого сигналу використовується метод двобічної амплітудної модуляції з подавленою несучою (DSB–SC).

Частота піднесучої дорівнює: $f_{пн} = 38$ кГц.

- висока завадостійкість;
- можливість передавання додаткових сервісів (RDS);
- відносна простота реалізації.

Недоліками системи є:

- зменшення відношення сигнал/шум у стереорежимі;
- складніша схема приймача порівняно з монофонічним;
- підвищені вимоги до точності частотної синхронізації.

Таблиця 1.1 – Основні технічні параметри стереофонічної системи

Параметр	Значення
Смуга звукових частот	30 Гц – 15 кГц
Частота пілот-тону	19 кГц
Частота піднесучої	38 кГц
Частота RDS	57 кГц
Максимальна девіація	± 75 кГц
Ширина МРХ-сигналу	до 53 кГц
Відношення сигнал/шум	понад 60 дБ
Розділення каналів	30–50 дБ

Таким чином, стереопередавач системи CCIR є ключовим елементом сучасного FM-радіомовлення. Його робота базується на формуванні сумарного та різницевого сигналів звукових каналів, введенні пілот-тону частотою 19 кГц та передачі різницевого сигналу на піднесучій частоті 38 кГц. Такий принцип забезпечує повну сумісність із монофонічними приймачами, ефективне використання смуги частот та високу якість відтворення звуку. Завдяки своїм технічним перевагам система CCIR стала міжнародним

стандартом стереофонічного FM-мовлення та широко використовується в сучасних радіомовних мережах.

1.3 Огляд аналогів та прототипів

Проведемо аналіз способів реалізації стереопередавачів. Розглянемо схему, що наведена на рис. 1.2. Це малопотужний УКХ ЧМ передавач, що працює у системі стереосупроводу з пілот-сигналом (стандарт CCIR).

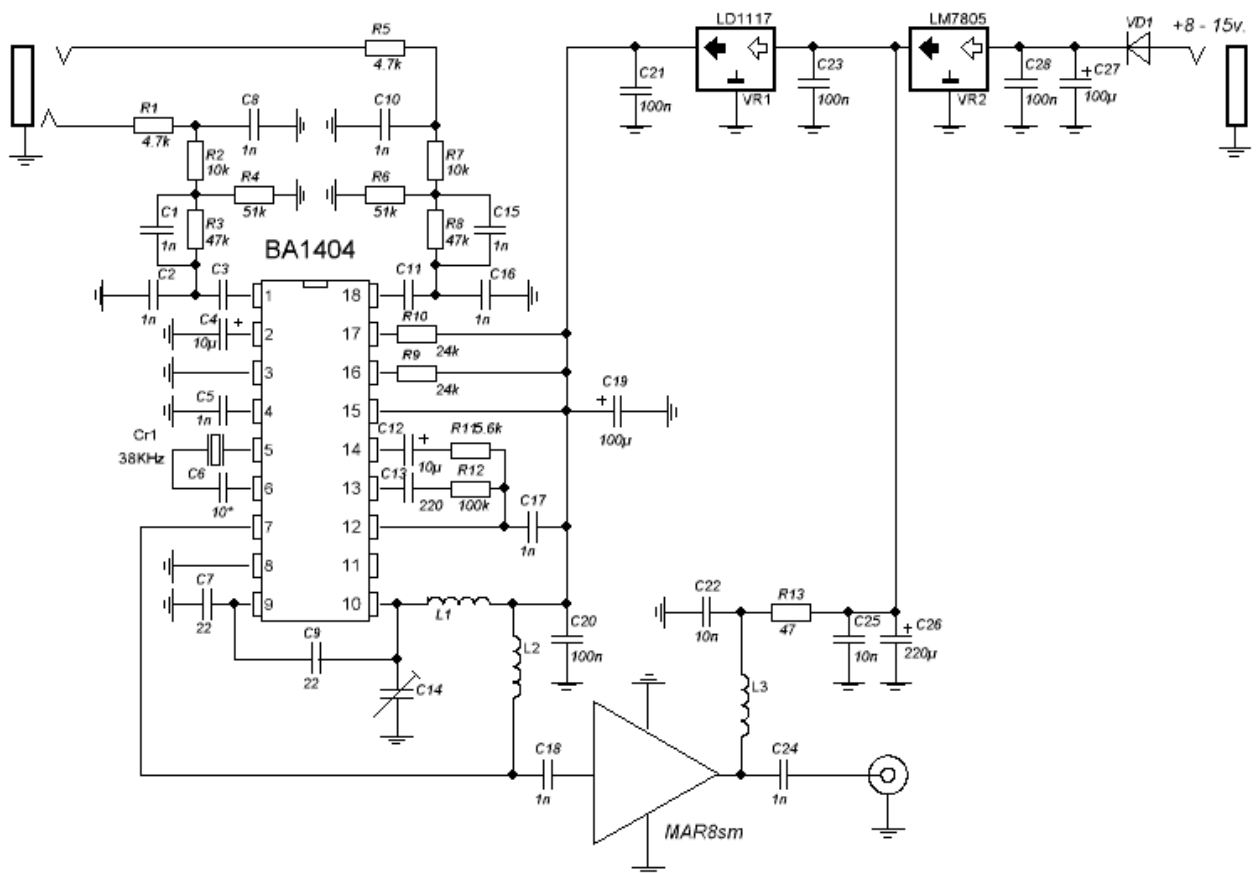


Рисунок 1.2 – Схема простого стереопередавача

Основа передавача – спеціалізована мікросхема стереокодера BA1404, що також має у своєму складі генератор ВЧ, з несучою на потрібному діапазоні частот. Мікросхему включено майже за стандартною схемою. Тут потрібно звернути увагу на кола попередньої фільтрації вхідних сигналів з

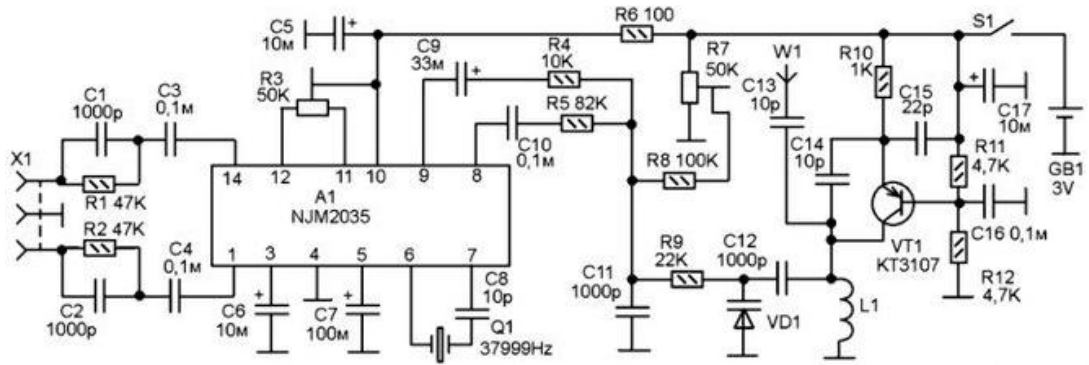
метою виключення проникнення на вхід мікросхеми звукових сигналів з частотою вище 15 кГц, які, підсилюючись додатково в мікросхемі, проникають на вихід і створюють перешкоди пілот-тону (19кГц), що призводить до збоїв в роботі. Для такої простої конструкції виявилось достатньо пасивного ФНЧ на вході.

Вихідний ВЧ сигнал мікросхеми дуже малий і його недостатньо буває навіть при застосуванні довгих антен. Тому був застосований додатковий підсилювач потужності на ММІС MAR8sm, що забезпечує на частоті 100МГц пісилення 32дБ і забезпечує на навантаженні 50 Ом до двадцяти-тридцяти міліват потужності.

Зазвичай цю мікросхему живлять від найпростішого параметричного стабілізатора на одному стабілітроні – незначний рівень споживання струму дозволяє це робити, але така схема не має високого коефіцієнта стабілізації і при зміні вхідної напруги вихідна напруга може змінюватися в невеликих межах. На роботу власне кодера це ніяк не може вплинути, зате сильно впливає на частоту генерації ВЧ генератора. Для виключення дрейфу частоти через вплив напруги живлення був застосований інтегральний стабілізатор LD1117-3.3, на напругу 3.3 вольт, який у свою чергу живиться від п'ятивольтового стабілізатора на мікросхемі LM7805. Необхідність наявності п'ятивольтового джерела обумовлена необхідністю живлення ММІС стабілізованою напругою і дозволило застосовувати як джерело живлення стереопередавача будь-які мережеві адаптери з вихідною напругою 8-15 вольт.

Тепер розглянемо структуру мікропотужного стереопередавача (рис. 1.3).

						КОВ 2.893.001 ПЗ	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>			17



Рисуннок 1.3 – Схема мікропотужного стереопередавача

Цей передавач призначений для бездротового підключення будь-якого джерела аудіо стереосигналу до апаратури, здатної приймати FM-радіомовні станції в діапазоні 88-108 МГц. Функціонально вона складається із стереокодера на мікросхемі А1 типу NJM2035, що формує з аудіо стереосигналу сигнал з пілот-тоном для модуляції передавача, і власне передавач на транзисторі VT1.

Потужність передавача зовсім не висока, тому що планується прийом на приймач з відстані, що не перевищує кількох метрів. Так, стереокодер виконаний на мікросхемі NJM2035. Схема стереокодера складається з попереднього підсилювача, цифрового формувача комплексного сигналу і пілот-тону, а також мікшера.

Комплексний сигнал виводиться на вивід 9, сигнал пілот-тону виводиться на вивід 8. Мікшер виконаний за найпростішою схемою на резисторах R4 і R5 і конденсаторах C9 C10. Величина опорів цих резисторів задає необхідне співвідношення цих сигналів.

Передспотворення сигналів задаються ланками C1-R1 і C2-R2. Це допомагає усунути шум, що виникає під час передачі FM-сигналу. На наступному етапі аудіосигнали стереоканалів надходять на попередні підсилювачі - формувачі мікросхеми (2CH AMP і 1CH AMP) через її виводи 14 і 1.

Для роботи цифрової схеми стерео-кодера використовується генератор із зовнішнім кварцовим резонатором (OSC AMP), підключеним через конденсатор C8 між виводами 6 та 7 мікросхеми. Резонатор має бути налаштований на частоту 38 кГц (або близько до цього). За допомогою схеми D-тригера дана частота ділиться на два сигнали по 19 кГц з різницею фаз на 180 градусів. Після цього ці дві частоти надходять на два цифрових перемикачі MPX з часовим поділом, по одному для кожного аудіоканалу.

Тут аудіоканали перемикаються між собою із загальною частотою 38 кГц. Таким чином, на вивід 9 мікросхеми надходять аудіосигнали різних стереоканалів по чергово. Спершу йде лівий канал, потім правий. У той самий час формується інший сигнал частотою 19 кГц. Цей сигнал називається пілот-тоном, тому що він допомагає стереодекодеру приймача розпізнати де лівий, а де правий канал і виділити їх назад на лівий та правий аудіоканали.

Третій етап це мікшер, що створює загальний модульний сигнал. Як сказано вище, мікшер виконаний за найпростішою схемою на резисторах R4 і R5 і конденсаторах C9 і C10. Роль цієї схеми полягає в поєднанні мультиплексної піднесучої з пілот-тоном.

При по черговому надходженні сигналів з аудіоканалів на вивід 9, утворюється сигнал мультиплексної піднесучої, який являє собою суму і різницю як лівого, так і правого аудіо-каналів, які перемикаються із частотою 38 кГц.

Сигнал пілот-тону, що виходить на вивід 8, є частотою 19 кГц, яка використовується для визначення того, який канал в даний час транслюється, і без нього стерео-декодування буде неможливим. Комплексний сигнал надходить на частотний модулятор малопотужного передавача на транзисторі VT1. Він є LC-генератором сигналу в діапазоні 88-108 МГц. Частота генерації залежить від котушки L1 та ємності варикапа VD1, яка, своєю чергою, залежить від напруги на варикапі.

				КОВ 2.893.001 ПЗ		Арк
						19
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Ця напруга складається з двох складових - постійної напруги, отриманої з резистора R7 і змінної напруги ЗЧ, отриманої з виходу стереокодера. Режим роботи каскаду на VT1 визначається напругою зміщення за допомогою резисторів R11 і R12.

Варикап VD1 – типу MV209, але можна використати будь-який варикап максимальною ємністю не більше 15-20пФ. Наприклад, MV2109, MV2105 або навіть кремнієвий діод, або емітерний перехід кремнієвого транзистора.

1.4 Розробка структурної схеми

1.2.5. Структура стереопередавача.

До складу стереопередавача входять такі функціональні вузли:

- вхідні підсилювачі лівого та правого каналів;
- матричний перетворювач;
- генератор пілот-тону 19 кГц;
- генератор піднесучої 38 кГц;
- балансний модулятор;
- суматор мультиплексного сигналу;
- FM-модулятор;
- високочастотний передавач.

Принцип роботи системи полягає в тому, що після формування сигналів (L+R) та (L-R) різницевої сигнал надходить на балансний модулятор, де виконується його перенесення на піднесучу частоту 38 кГц. Після цього всі складові об'єднуються в єдиний мультиплексний сигнал.

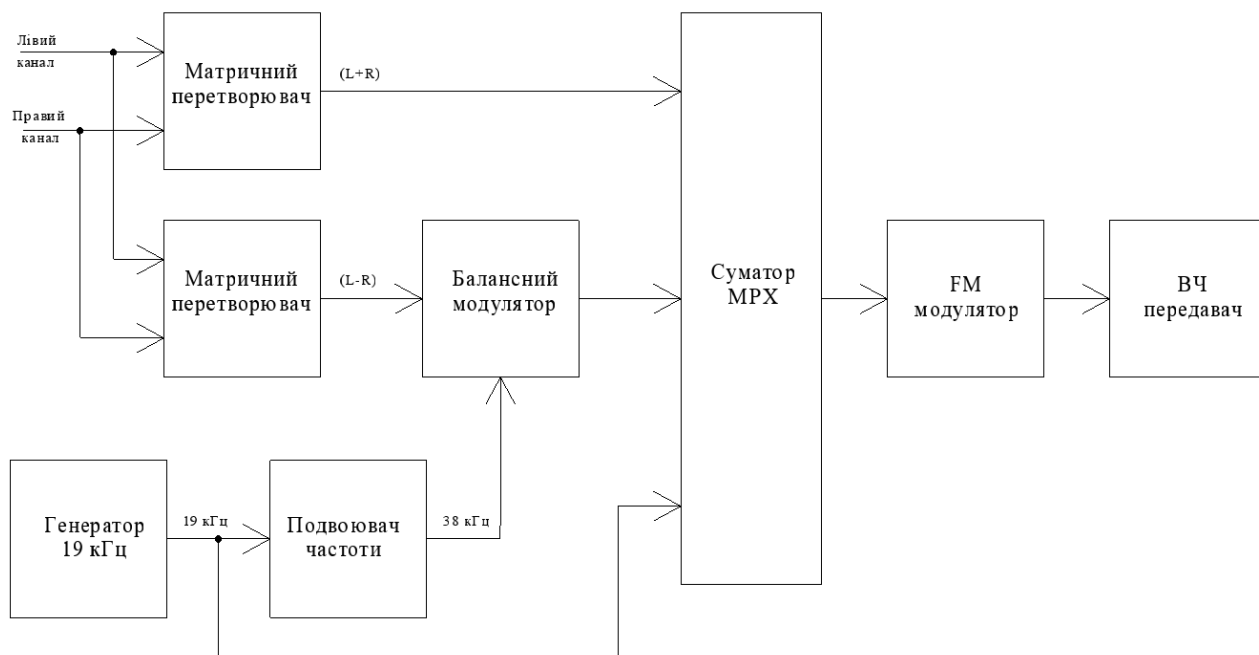


Рисунок 1.4 – Принцип роботи стереопередавача системи CCIR

1.5 Розробка схеми електричної принципової

На основі проведеного аналізу розроблено схему електричну (рис. 1.5).

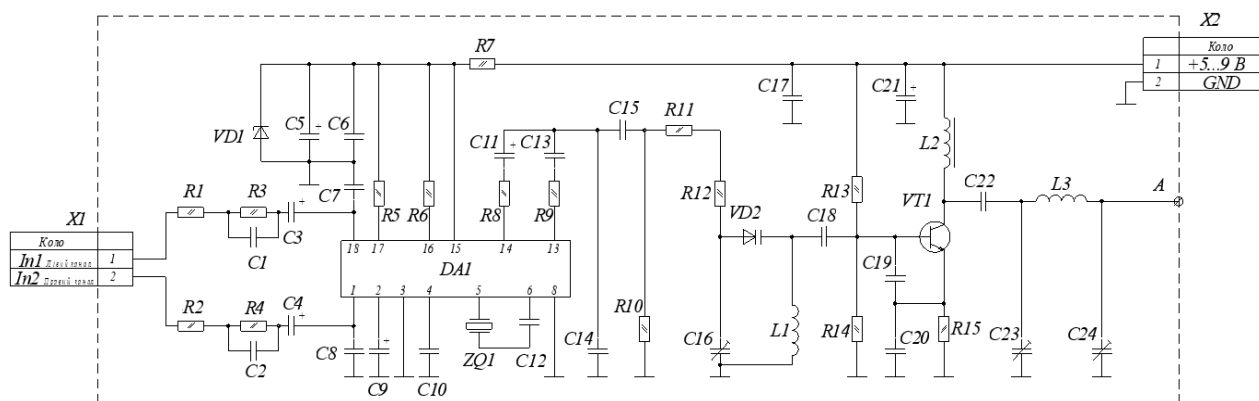


Рисунок 1.5 – Схема електрична проектованого стереопередавача

Схема складається з кількох функціональних вузлів:

- Вхідні аудіоканали.
- Стереокодер на BA1404.
- Кварцовий генератор опорної частоти.

Основним елементом схеми є мікросхема DA1 (BA1404).

BA1404 — це спеціалізована мікросхема FM-стереопередавача.

Вона містить:

- стереокодер;
- генератор пілот-тону 19 кГц;
- формувач сигналу L–R;
- FM-модулятор;
- високочастотний генератор.

Усередині BA1404 формуються L+RL+RL+R L–RL–RL–R та пілот-тон 19 кГц. Після цього формується MPX-сигнал та виконується частотна модуляція ВЧ-генератора.

Кола живлення BA1404.

VD1 – стабілітрон, призначений для стабілізації напруги живлення мікросхеми та захисту від перевищення напруги.

Оскільки передавач працює від 5...9 В, BA1404 бажано живити стабілізованою напругою.

C5 – блокувальний конденсатор, який фільтрує високочастотні завади.

C6 – електролітичний фільтр живлення, що подавляє пульсації напруги.

C7 – додатковий ВЧ-фільтр. Запобігає проникненню ВЧ сигналу в лінію живлення.

R7 – розв'язувальний резистор живлення. Виконує фільтрацію та зменшення взаємного впливу каскадів.

Кола налаштування BA1404.

R5 – задає режим одного з внутрішніх підсилювачів.

R6 – формує робочу точку внутрішнього генератора.

C8 – фільтр внутрішнього джерела опорної напруги.

C9 – конденсатор системи стереокодування. Впливає на роботу матриці L+R/L–R.

C10 – частина генератора пілот-тону.

					КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		23

Кварцовий генератор ZQ1 має частоту 38 кГц. Забезпечує точну частоту пілот-тону та правильне формування стереосигналу.

C12 – конденсатор кварцового генератора.

Коло формування МРХ-сигналу.

C11 – конденсатор внутрішнього фільтра стереокодера.

C13 – фільтр пілот-тону.

C14 – фільтр високочастотних складових.

C15 – розділовий конденсатор між ВА1404 і генератором. Передає ВЧ-сигнал.

R8, R9 – резистори внутрішнього навантаження. Визначають режими роботи генератора.

R10 – резистор витоку. Формує робочу точку генератора.

ВЧ-генератор

L1 – елемент коливального контура генератора. Разом із C16 визначає частоту передавача.

C16 – підстроювальний конденсатор. Саме ним налаштовують частоту передачі.

Формула резонансу:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

де:

L = індуктивність котушки L1;

C = ємність C16.

VD2 – варикап. Виконує частотну модуляцію. Під дією звукового сигналу змінює свою ємність. Це викликає зміну резонансної частоти генератора. Саме тут реалізується FM-модуляція.

R11 – подає зміщення на варикап.

					КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		24

R12 – задає робочу точку варикапа.

Підсилювач потужності

Після ВА1404 сигнал має дуже малу потужність. Тому використовується підсилювач на VT1.

VT1 – ВЧ-транзистор. Може використовуватись BF199, BF494, 2N3904, KT368.

Його задача – збільшити потужність сигналу до рівня, достатнього для роботи антени.

R13 – резистор зміщення бази.

R14 – формує робочу точку транзистора.

R15 – емітерний резистор. Забезпечує температурну стабілізацію.

C18 – розділовий конденсатор. Передає ВЧ сигнал на базу транзистора.

C19 – конденсатор ВЧ-шунтування.

C20 – емітерний байпасний конденсатор. Підвищує коефіцієнт підсилення.

Колекторний контур

L2 – дросель живлення. Пропускає постійний струм. Блокує ВЧ сигнал.

C17 – блокування ВЧ по живленню.

C21 – електrolітичний фільтр живлення каскаду VT1.

Вихідний контур

C22 – конденсатор зв'язку. Відокремлює постійну складову від антени.

L3 – вихідна узгоджувальна котушка. Забезпечує максимальну передачу потужності та фільтрацію гармонік.

C23 – підстроювальний конденсатор контуру.

C24 – другий конденсатор вихідного контуру. Разом з L3 формує П-контур.

Точка А – точка підключення антени.

Зазвичай використовується телескопічна антена або дріт довжиною приблизно 75 см ($\frac{1}{4}$ хвилі для 100 МГц).

					КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		25

Роз'єм живлення X2:

- контакт 1: +5...9 В;
- контакт 2: GND.

Загальний принцип роботи

Лівий і правий аудіосигнали надходять через X1.

BA1404 формує стереосигнал CCIR: L+R, L-R, пілот-тон 19 кГц.

Варикап VD2 здійснює частотну модуляцію генератора L1-C16.

Генерується FM-сигнал у діапазоні 88-108 МГц.

VT1 підсилює потужність сигналу.

Контур L3-C23-C24 узгоджує передавач з антеною.

Через точку А сигнал випромінюється антеною в ефір.

Тепер детально проаналізуємо призначення виводів базової мікросхеми проєктованого стереопередавача.

Мікросхема BA1404 є спеціалізованою інтегральною схемою для побудови стереофонічних FM-передавачів. Усередині мікросхеми реалізовані вузли стереокодування, генератор пілот-тону 19 кГц, формувач різницевого сигналу (L-R), мультиплексор та частотний модулятор. Мікросхема випускається в корпусі DIP-18 та має 18 виводів.

Вивід 1 – вхід правого каналу На даний вивід подається звуковий сигнал правого каналу через вхідний RC-фільтр. Усередині мікросхеми сигнал надходить до матричного стереокодера, де бере участь у формуванні сумарного та різницевого сигналів.

Вивід 2 – коло попередньої обробки правого каналу. До цього виводу підключаються зовнішні елементи корекції частотної характеристики. Він використовується для формування необхідного рівня та спектра аудіосигналу.

Вивід 3 – RC-ланка стереокодера. До виводу підключаються зовнішні конденсатори та резистори, які визначають параметри внутрішніх підсилювачів та матричного перетворювача.

						КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат			26

Вивід 4 – загальний провід. Є спільною точкою живлення всіх внутрішніх вузлів мікросхеми.

Виводи 5 та 6 – кварцовий генератор. До цих виводів підключається кварцовий резонатор, що забезпечує стабільність частоти $f = 38$ кГц.

Таблиця 1.2 – Призначення виводів BA1404

№ виводу	Призначення
1	Вхід правого аудіоканалу (Right Input)
2	Вхід схеми попередньої обробки правого каналу
3	Вивід зовнішнього RC-ланцюга стереокодера
4	Загальний провід (GND)
5	Підключення кварцового резонатора
6	Підключення кварцового резонатора
7	Формування опорної частоти генератора
8	Фільтр внутрішнього генератора
9	Фільтр внутрішнього джерела опорної напруги
10	Вихід формувача МРХ-сигналу
11	Вивід ланцюга частотної модуляції
12	Вхід керування варикапом
13	ВЧ-вихід генератора
14	Вивід зовнішнього ВЧ-контур
15	Підключення резонансного кола генератора
16	Живлення ВЧ-частини
17	Живлення стереокодера
18	Вхід лівого аудіоканалу (Left Input)

Саме з цієї частоти формуються:

- пілот-тон 19 кГц;
- піднесуча 38 кГц;
- система стереокодування.

Стабільність кварцу визначає якість розділення стереоканалів.

Вивід 18 – вхід лівого каналу. На даний контакт подається звуковий сигнал лівого каналу. Далі сигнал обробляється стереокодером аналогічно правому каналу.

Таким чином мікросхема ВА1404 виконує практично всі основні функції стереопередавача: формування стереофонічного МРХ-сигналу, генерацію пілот-тону, створення різницевого каналу, частотну модуляцію та формування високочастотного FM-сигналу, а зовнішні каскади забезпечують підсилення потужності та узгодження передавача з антеною.

Тепер, структурна схема проєктованого передавача в більш загальному вигляді із позначенням основних елементів наведена на рис. 1.6.

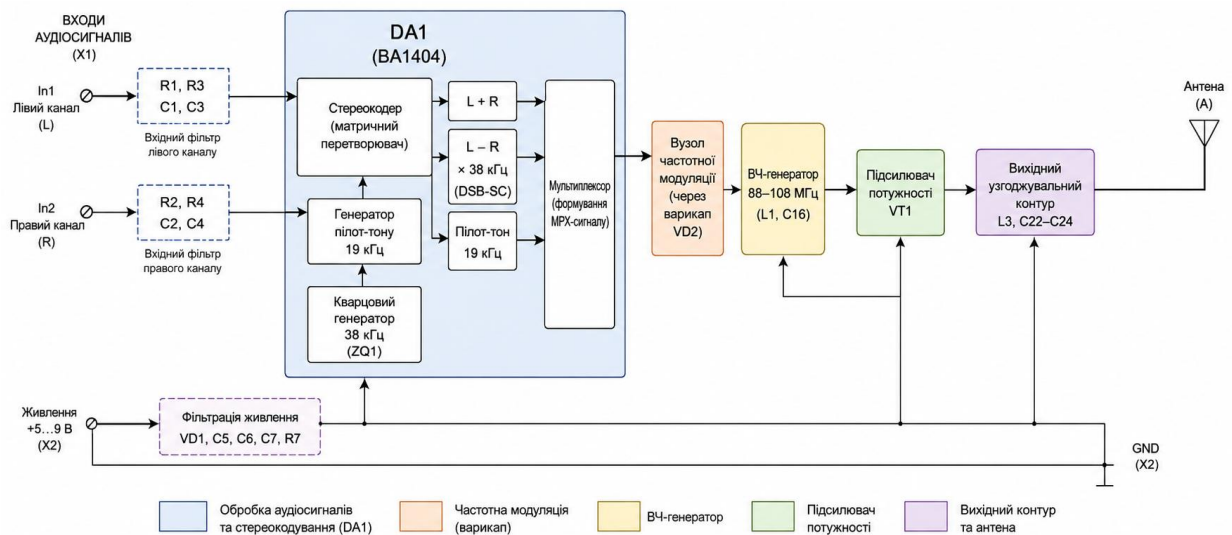


Рисунок 1.6 – Структурна схема проходження сигналів в стереопередавачі

1.6 Параметричний синтез

Проведемо розрахунки деяких вузлів схеми.

Розрахунок коливального контура генератора.

Контур утворений елементами L1, C16, ємністю варикапа VD2 та паразитними ємностями монтажу.

Резонансна частота визначається:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Звідси:

$$L = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C}$$

Для ВА1404 зазвичай:

$$C_{\Sigma} = 20 \text{ пФ}$$

Частота:

$$f_0 = 87.9 \cdot 10^6 \text{ Гц}$$

Тоді

$$L = \frac{1}{(2\pi \cdot 87.9 \cdot 10^6)^2 \cdot 20 \cdot 10^{-12}}$$

$$L = 1.64 \cdot 10^{-7} \text{ Гн}$$

$$L \approx 0.164 \text{ мкГн}$$

Розрахунок підстроювального конденсатора С16. Після вибору:

$$L_1 = 0.16 \text{ мкГн}$$

Отримуємо:

					КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
						30
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$C = \frac{1}{(2\pi f)^2 L}$$

Підставляємо:

$$C = \frac{1}{(2\pi \cdot 87.9 \cdot 10^6)^2 \cdot 0.16 \cdot 10^{-6}}$$

$$C = 20.5 \text{ пФ}$$

Отже

$$C_{16} = 5...30 \text{ пФ}$$

Розрахунок варикапа VD2. Для FM-модуляції необхідна девіація:

$$\Delta f = \pm 75 \text{ кГц}$$

Відносна зміна частоти:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{75 \cdot 10^3}{87.9 \cdot 10^6}$$

$$\frac{\Delta f}{f} = 8.53 \cdot 10^{-4}$$

Для резонансного контуру:

$$\frac{\Delta f}{f} = -\frac{1}{2} \frac{\Delta C}{C}$$

					КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		31

Тоді

$$\Delta C = 2C \frac{\Delta f}{f}$$

$$\Delta C = 2 \cdot 20 \cdot 8.53 \cdot 10^{-4}$$

$$\Delta C = 0.034 \text{ пФ}$$

Отже варикап повинен забезпечувати зміну ємності приблизно 0.03–0.05 пФ для повної девіації.

Розрахунок вихідного контуру L3-C23-C24. Контур налаштовується на ту ж частоту 87.9 МГц

Приймаємо:

$$C_{\text{екв}} = 15 \text{ пФ}$$

Тоді

$$L_3 = \frac{1}{(2\pi f)^2 C}$$

$$L_3 = 0.22 \text{ мкГн}$$

Розрахунок колекторного дроселя L2. Реактивний опір дроселя повинен бути мінімум у 10 разів більшим за навантаження. Для $f=87.9$ МГц та $X_L = 500$ Ом одержимо:

					КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		32

$$L = \frac{X_L}{2\pi f}$$
$$L = \frac{500}{2\pi \cdot 87.9 \cdot 10^6}$$
$$L = 0.905 \text{ мкГн}$$

Розрахунок підсилювача VT1.

Припустимо: живлення 9 В; струм колектора 10 мА.

Емітерний резистор:

$$R_{15} = \frac{V_E}{I_E}$$

Беремо:

$$V_E = 1 \text{ В}$$
$$R_{15} = \frac{1}{0.01} = 100 \text{ Ом}$$

База:

$$V_B = V_E + 0.7$$
$$V_B = 1.7 \text{ В}$$

Для дільника:

$$R_{13} = 4.7 \text{ кОм}$$
$$R_{14} = 1.2 \text{ кОм}$$

Розрахунок антени. Для чвертьхвильового випромінювача:

					КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		33

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Де

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{87.9 \cdot 10^6}$$

$$\lambda = 3.41 \text{ м}$$

Довжина антени:

$$l = \frac{\lambda}{4}$$

$$l = 0.853 \text{ м}$$

У стандарті CCIR використовується преємфазис із постійною часу $\tau = 50 \text{ мкс}$.

Преємфазис потрібний для покращення співвідношення сигнал/шум після FM-модуляції. Він реалізується RC-ланками на входах лівого та правого каналів.

Постійна часу визначається як $\tau = RC$. Приймаємо:

$$R_3 = R_4 = 15 \text{ кОм}$$

Тоді:

					КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		34

$$C = \frac{\tau}{R}$$

$$C = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{15 \cdot 10^3}$$

$$C = 3.33 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

$$C \approx 3.3 \text{ нФ}$$

Отже $C_1 = C_2 = 3.3 \text{ нФ}$.

Розрахунок розділових конденсаторів входу. Конденсатори C_3 і C_4 відсікають постійну складову. Нижня гранична частота $f_H = 30 \text{ Гц}$.

При $R = 15 \text{ кОм}$ отримуємо:

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot 30 \cdot 15000}$$

$$C = 0.35 \text{ мкФ}$$

Найближчий стандартний номінал 1 мкФ .

Вибір кварцового резонатора ZQ1. У ВА1404 стереокодування виконується за допомогою кварцового генератора 38 кГц . У середині мікросхеми формується пілот-тон 19 кГц і піднесуча 38 кГц . Тому вибираємо ZQ1=38 кГц. Точність кварцу $\pm 20 \text{ ppm}$ або краще.

Конденсатор фільтра генератора. Конденсатор C_{12} забезпечує фільтрацію генератора 38 кГц . Приймаємо $C_{12}=10 \text{ нФ}$.

1.7 Вибір елементів

Основою передавача є мікросхема ВА1404. ВА1404 є спеціалізованою інтегральною мікросхемою, призначеною для побудови малопотужних стереофонічних FM-передавачів. Мікросхема поєднує в одному корпусі

					КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		35

стереокодер, генератор пілот-тону, мультиплексор, FM-модулятор та високочастотний генератор.

Робоча напруга живлення $V_{CC}=1.5\div 3.0$ В. Типове значення $V_{CC}=3$ В.

У більшості практичних схем використовується живлення від 3 В або стабілізованого джерела через додаткові елементи фільтрації.

Типовий струм споживання $I_{CC}=5\div 8$ мА.

Завдяки низькому енергоспоживанню мікросхема придатна для автономних передавачів із батарейним живленням.

Діапазон формування несучої частоти $76\div 108$ МГц.

Максимальна девіація несучої $\Delta f=\pm 75$ кГц. Дане значення відповідає міжнародним стандартам FM-мовлення.

Смуга передаваних звукових частот 30 Гц $\div 15$ кГц, що забезпечує якісну передачу музичних та мовних програм.

Пілот-тон 19 кГц формується автоматично всередині мікросхеми.

Для передачі сигналу L–R використовується піднесуча 38 кГц, яка формується шляхом подвоєння частоти пілот-тону.

Типове розділення каналів $35\div 45$ дБ. Цей параметр характеризує ступінь взаємного проникнення сигналів лівого та правого каналів.

Коефіцієнт нелінійних спотворень. Типове значення $THD\leq 0.3\%$ при номінальному рівні сигналу. Низький коефіцієнт спотворень забезпечує високу якість передаваного звуку.

Відношення сигнал/шум. Типове значення $S/N\approx 60$ дБ. Завдяки цьому забезпечується достатньо чисте звучання в приймачі.

Вихідна потужність. Без зовнішнього підсилювача потужність ВЧ-сигналу становить лише декілька мікروات: $P_{out}\approx 10\div 100$ мкВт. Тому в практичних схемах використовується додатковий транзисторний каскад підсилення (у нашій схемі – VT1).

Мікросхема випускається в корпусі DIP-18.

					КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		36

Конденсатори полярні ЕСАР та неелектролітичні К10-17, резистори типу С2-33. Підстроювальні конденсатори типу КТ4-21б.

Стабілітрон використано типу 1N4728А. Він належить до серії кремнієвих стабілітронів 1N4728–1N4764, призначених для стабілізації напруги, обмеження перенапруг та формування опорної напруги в електронних пристроях.

У схемі стереофонічного FM-передавача на ВА1404 стабілітрон 1N4728А (VD1) використовується для стабілізації напруги живлення мікросхеми та зменшення впливу коливань напруги джерела живлення на частоту генератора і параметри стереокодера. Основними перевагами є: проста схема включення; низька вартість; висока надійність; потужність розсіювання до 1 Вт; стабільна напруга 3,3 В; широкий температурний діапазон роботи.

ВЧ транзистор використано типу ВF597. це кремнієвий біполярний NPN-транзистор високої частоти, призначений для роботи в підсилювачах радіочастоти, генераторах, змішувачах та проміжних каскадах телевізійної й радіопередавальної апаратури.

У схемі FM-передавача на ВА1404 транзистор ВF597 використано як підсилювач потужності ВЧ-сигналу після мікросхеми стереокодера та генератора. Його гранична частота достатня для роботи в діапазоні FM-мовлення 88–108 МГц.

В якості варикапа вибрано ВВ109. Він характеризується широким діапазоном зміни ємності (4,3–32 пФ), малим струмом витоку та придатністю для роботи в діапазоні УКХ. Завдяки цим властивостям він широко використовується в генераторах і FM-передавачах як керований конденсатор для електронного налаштування частоти та здійснення частотної модуляції.

					КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		37

1.8 Розробка плати та вузла передавача

Плата виготовляється методом хімічного травлення на односторонньому фольгованому склотекстоліті FR-4.

Відповідно до вимог ДСТУ та IPC для малосерійної апаратури приймається 3 клас точності. Основні параметри:

- Мінімальна ширина провідника – 0,25 мм;
- Мінімальний зазор – 0,25 мм;
- Мінімальний діаметр отвору – 0,8 мм.

Розрахунок ширини провідників

Максимальний струм споживання передавача:

BA1404:

$$I_{BA1404} = 8 \text{ мА}$$

каскад VT1:

$$I_{VT1} = 15 \text{ мА}$$

Загальний струм:

$$I_{max} = 23 \text{ мА}$$

Приймаємо:

$$I_{max} = 30 \text{ мА}$$

із запасом.

					КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		38

Для зовнішнього шару товщина міді $h=35$ мкм. Допустима густина струму:

$$J = 20 \text{ А/мм}^2$$

Необхідна площа перерізу:

$$S = \frac{I}{J}$$

$$S = \frac{0.03}{20}$$

$$S = 0.0015 \text{ мм}^2$$

Ширина провідника:

$$b = \frac{S}{h}$$

$$b = \frac{0.0015}{0.035}$$

$$b = 0.043 \text{ мм}$$

Отримане значення значно менше технологічного мінімуму. Тому приймаємо $b = 0.5$ мм для сигнальних доріжок.

Для ланцюгів живлення $b = 1.0$ мм .

Розрахунок падіння напруги.

Для найдовшої доріжки живлення довжина $l = 80$ мм .

Товщина міді $h = 35$ мкм , ширина $b = 1$ мм , площа $S = 0.035 \text{ мм}^2$.

Питомий опір міді:

$$\rho = 0.0175 \frac{\Omega \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

					КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		39

Опір доріжки:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

$$R = 0.0175 \frac{0.08}{0.035}$$

$$R = 0.04 \Omega$$

Падіння напруги:

$$\Delta U = IR$$

$$\Delta U = 0.03 \times 0.04$$

$$\Delta U = 1.2 \text{ мВ}$$

Отже втратами можна знехтувати.

Розрахунок ВЧ-доріжок.

Робоча частота $f=87.9$ МГц.

Довжина хвилі:

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{87.9 \cdot 10^6}$$

$$\lambda = 3.41 \text{ м}$$

Критична довжина:

$$l_{\text{кр}} = \frac{\lambda}{20}$$

$$l_{\text{кр}} = 17 \text{ см}$$

					КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		40

На платі найдовша ВЧ-доріжка має довжину приблизно $l_{\text{ВЧ}} \approx 4 \text{ см}$.
Оскільки

$$l_{\text{ВЧ}} < \frac{\lambda}{20}$$

доріжки можна вважати зосередженими елементами. Спеціальний розрахунок хвильового опору не потрібний.

Аналіз полігону землі

На платі використано суцільний полігон GND.

Його функції:

- зменшення паразитної індуктивності;
- екранування генератора;
- зменшення рівня перешкод;
- покращення стабільності частоти.

Площа плати:

$$75 \times 55 = 4125 \text{ мм}^2.$$

Полігон займає близько 55% площі.

Тоді:

$$S_{\text{GND}} = 0.55 \times 4125 = 2268 \text{ мм}^2$$

Розрахунок монтажної щільності.

Кількість отворів:

$$N \approx 70$$

					КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		41

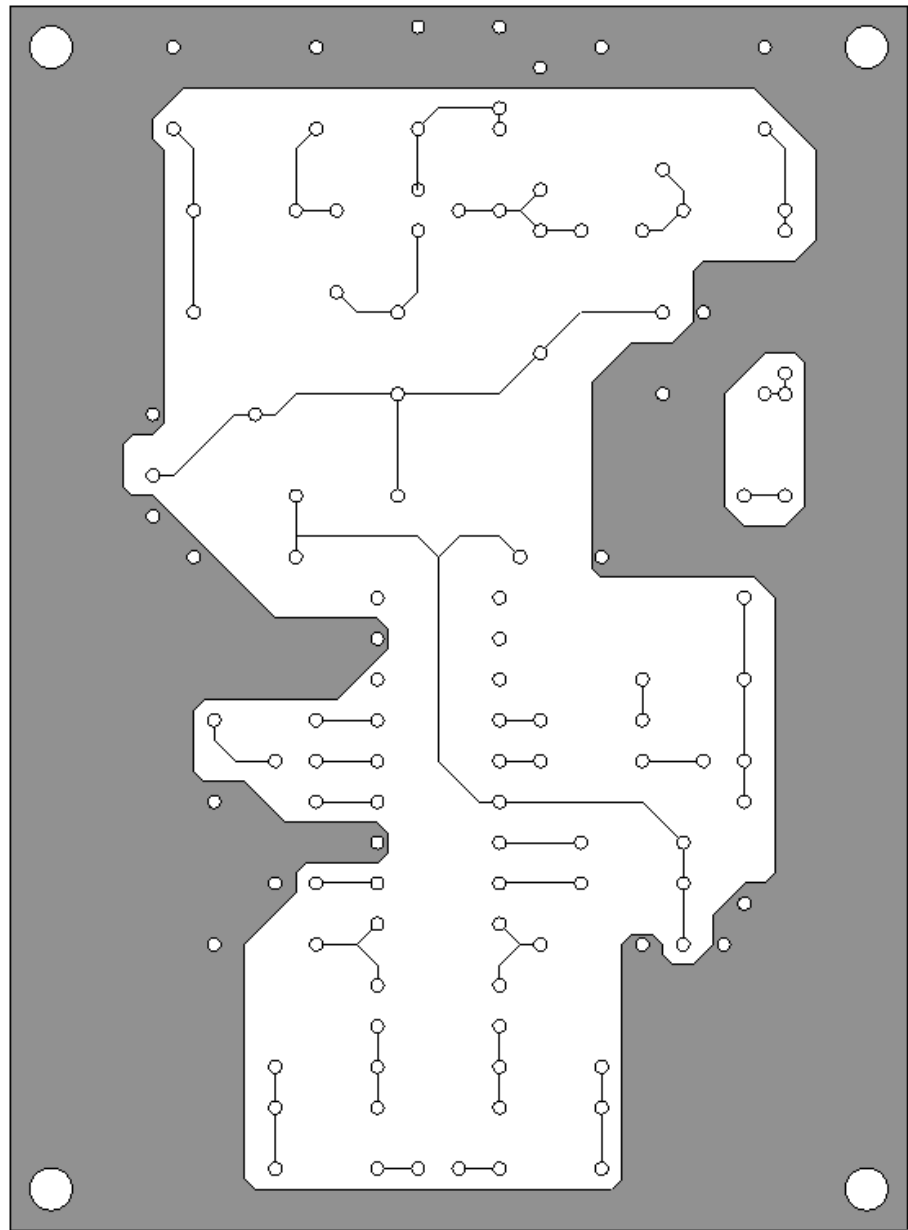


Рисунок 1.7 – Креслення провідного рисунка друкованої плати передавача

Також підготовлено креслення друкованого вузла та показано розміщення елементів (рис. 1.8).

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

КОВ 2.893.001 ПЗ

Арк

43

$$P_{DA1} = 3 \cdot 0.006 = 0.018 \text{ Вт}$$

$$P_{DA1} = 18 \text{ мВт}$$

Отримане значення свідчить про те, що мікросхема працює в малопотужному режимі та практично не нагрівається під час експлуатації.

Розрахунок тепловиділення транзистора BF597. Найбільше теплове навантаження в схемі припадає на транзистор BF597, який виконує функцію високочастотного підсилювача потужності.

Під час роботи через транзистор проходить колекторний струм

$$I_C = 10 \text{ мА}$$

при напрузі між колектором та емітером

$$U_{CE} = 5 \text{ В}$$

Тоді потужність, що розсіюється на транзисторі, становить:

$$P_{VT1} = U_{CE} \cdot I_C$$

$$P_{VT1} = 5 \cdot 0.01$$

$$P_{VT1} = 0.05 \text{ Вт}$$

або

$$P_{VT1} = 50 \text{ мВт}$$

Одержана потужність є значно меншою за максимально допустиму для транзистора BF597, яка становить 360 мВт. Це свідчить про наявність значного запасу надійності.

					КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		46

Розрахунок тепловиділення стабілітрона. Стабілітрон VD1 забезпечує стабілізацію напруги живлення мікросхеми BA1404. У процесі стабілізації частина електричної енергії також перетворюється на тепло.

При напрузі стабілізації

$$U_Z = 3.3 \text{ В}$$

та струмі

$$I_Z = 10 \text{ мА}$$

розсіювана потужність дорівнює:

$$P_{VD1} = U_Z \cdot I_Z$$

$$P_{VD1} = 3.3 \cdot 0.01$$

$$P_{VD1} = 0.033 \text{ Вт}$$

або

$$P_{VD1} = 33 \text{ мВт}$$

Це лише 3,3 % від максимально допустимої потужності стабілітрона 1N4728A, яка дорівнює 1 Вт.

Визначення сумарного тепловиділення друкованого вузла

Для оцінки теплового режиму всієї конструкції визначимо сумарну потужність, яка виділяється у вигляді тепла:

					КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		47

$$P_{\Sigma} = P_{DA1} + P_{VT1} + P_{VD1}$$

$$P_{\Sigma} = 0.018 + 0.05 + 0.033$$

$$P_{\Sigma} = 0.101 \text{ Вт}$$

Таким чином сумарне тепловиділення всієї плати становить приблизно

$$P_{\Sigma} \approx 0.1 \text{ Вт}$$

Для порівняння, навіть невелика друкована плата площею близько 100 см² здатна без будь-яких радіаторів розсіювати декілька ват теплової потужності.

Визначення температури транзистора BF597. Оскільки транзистор VT1 є найбільш навантаженим елементом схеми, необхідно оцінити його температуру.

Для корпусу ТО-92 тепловий опір між кристалом та навколишнім середовищем становить приблизно

$$R_{\theta JA} = 200^{\circ}\text{C/Вт}$$

Перегрів кристала відносно навколишнього середовища:

$$\Delta T = P_{VT1} \cdot R_{\theta JA}$$

$$\Delta T = 0.05 \cdot 200$$

$$\Delta T = 10^{\circ}\text{C}$$

При температурі навколишнього середовища

$$T_A = 25^{\circ}\text{C}$$

										КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
											48
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат							

температура кристала транзистора становитиме

$$T_J = T_A + \Delta T$$

$$T_J = 25 + 10$$

$$T_J = 35^\circ C$$

Таким чином температура транзистора лише на 10 °C перевищує температуру навколишнього середовища.

Визначення температури мікросхеми BA1404

Для корпусу DIP-18 тепловий опір можна прийняти:

$$R_{\theta JA} = 90^\circ C/Вт$$

Перегрів корпусу:

$$\Delta T = 0.018 \cdot 90$$

$$\Delta T = 1.62^\circ C$$

Температура мікросхеми:

$$T_{DA1} = 25 + 1.62$$

$$T_{DA1} = 26.6^\circ C$$

Практично це означає, що мікросхема працюватиме майже при температурі навколишнього середовища.

Аналіз конструкції друкованої плати з точки зору тепловідведення. Згідно з кресленням друкованого вузла плата виконана на односторонньому

					КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		49

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{87.9 \cdot 10^6}$$

$$\lambda = 3.41 \text{ м}$$

Критична довжина:

$$l_{\text{кр}} = \frac{\lambda}{20}$$

$$l_{\text{кр}} = 0.17 \text{ м}$$

$$l_{\text{кр}} = 17 \text{ см}$$

З креслення друкованої плати максимальна довжина ВЧ-доріжки:

$$l_{\text{ВЧ}} \approx 4 \text{ см}$$

Оскільки $4 < 17$, умова виконується. Отже доріжки не працюють як ефективні випромінювачі.

Аналіз полігону загального проводу. На друкованій платі використано суцільний полігон GND. Його переваги:

- зменшення площі струмових контурів;
- зменшення паразитних індуктивностей;
- зменшення наведень між каскадами;
- екранування генератора.

Опір полігону можна оцінити:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

					КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		53

Для мідної фольги товщиною 35 мкм та площі понад 5000 мм² одержуємо опір порядку $10^{-3}\Omega$, тобто практично нульовий.

Оцінка проникнення ВЧ-сигналу в кола живлення.

На схемі використовуються блокувальні конденсатори С5, С6, С11, С13, С17 та С21. Вони створюють малий реактивний опір для ВЧ-сигналів.

Для конденсатора С=100 нФ на частоті 87,9 МГц:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$
$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot 87.9 \cdot 10^6 \cdot 100 \cdot 10^{-9}}$$
$$X_C = 0.018\Omega$$

Отже ВЧ-струми практично повністю відводяться в полігон землі.

Аналіз взаємного впливу вузлів. На друкованій платі умовно можна виділити три функціональні області:

- 1) Низькочастотна частина на елементах Х1, R1–R4, С1–С4.
- 2) Стереокодер на елементах ВА1404, кварц ZQ1, С8–С15.
- 3) Високочастотна частина на елементах VD2, L1, VT1, L2, L3 та С18–С24.

Таке зонування зменшує взаємні наведення між НЧ та ВЧ частинами схеми.

Оцінка напруженості поля поблизу антени. Для малопотужного передавача потужність випромінювання приблизно рівна Р=10 мВт.

Напруженість поля:

$$E = \frac{\sqrt{30P}}{r}$$

На відстані $r=1$ м одержимо:

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot 0.01}}{1}$$

$$E = 0.55 \text{ В/м}$$

Це відповідає рівню малопотужних радіопередавальних пристроїв.

Заходи забезпечення електромагнітної сумісності. У розробленому передавачі електромагнітна сумісність забезпечується такими конструктивними рішеннями:

- 1) Використання суцільного полігону загального проводу.
- 2) Мінімізація довжини високочастотних доріжок.
- 3) Просторове розділення НЧ та ВЧ вузлів.
- 4) Використання блокувальних конденсаторів біля джерел живлення.
- 5) Застосування вихідного резонансного контуру L3–C23–C24.
- 6) Стабілізація живлення за допомогою стабілітрона VD1.
- 7) Розміщення генератора поблизу вихідного каскаду.

Проведений аналіз показав, що друкований вузол стереофонічного FM-передавача на мікросхемі BA1404 має задовільні показники електромагнітної сумісності. Максимальна довжина високочастотних провідників не перевищує критичного значення 17 см, а вихідний контур забезпечує селекцію основної частоти 87,9 МГц та пригнічення вищих гармонік. Суцільний полігон загального проводу та система блокувальних конденсаторів ефективно зменшують рівень паразитних випромінювань і наведень. Розрахунки підтверджують, що розроблена конструкція може стабільно працювати без створення значних електромагнітних завад для навколишньої електронної апаратури.

- консультація зі спеціалістом електротехнічного фаху (якщо не призначений відповідальний за електрогосподарство) щодо вибору генератора відповідно до потреб енергоспоживання;
- якщо електрогенератор стаціонарний — необхідно виконати вимоги, зазначені в п. 9.1-9.20 розд. VIII ПТЕЕС;
- якщо електрогенератор мобільний (бажано з вмонтованою автоматикою введення резерву) — правильно виконати підключення з урахуванням можливих наслідків у випадку появи струму в зовнішній електромережі.

2.2. Долікарська допомога при шоку

Травматичний шок — складний патогенний процес, що виникає внаслідок важкої механічної травми, опіку і характеризується порушенням функцій життєво важливих органів та систем організму.

При комбінованих хімічно-радіаційних ушкодженнях, опіках тканин і органів травматичний шок спостерігається у 30% потерпілих.

В генезі травматичного шоку першочергову роль відіграють такі чинники: втрата крові і біль, розлад дихання, порушення процесів метаболізму, інтоксикація організму недоокисненими продуктами обміну речовин внаслідок руйнування тканин.

Чинники, які сприяють розвитку шоку запізнилі і неповноцінне надання долікарської допомоги, вторинна травматизація в процесі транспортування в лікарню, повторна втрата крові, переохолодження або перегрівання, фізично-емоційне перенапруження, стреси, тривале недоїдання та зневоднення організму тощо.

При пораненнях зміни виникають у підкіркових утвореннях великого мозку та в системі периферійного кровообігу (перерозподіл крові, яка забезпечує життєдіяльність органів, передусім серця і мозку). Розвиваються

						КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат			59

циркулярна гіпотонія, спазм посткапілярних венул (випотіває плазма в позаклітинний простір), набряк і згущення крові. Знижується венозний тиск, слабнуть нирки, печінка, легені, відбувається тромбоутворення, розвиток незворотних змін в органах.

Травма кишечника призводить до інтоксикації організму, ускладнюється стан пораненого, спостерігається розлад дихання і кровообігу. Порушується функція нервової системи. Шок має дві фази: еретильну і торпедну.

Еретильна фаза шоку супроводжується збудженням, надмірною рухливістю. Мова уривчаста, погляд неспокійний, шкірний покрив блідий, іноді виникає гіперемія (різке потовиділення), пульс відхилений від норми — сповільнений або прискорений (100 пульсацій за 1 хвилину). Дихання часте, поверхневе.

Торпідна фаза шоку — фаза пригнічення. Розрізняють 4 ступеня:

I ступінь (легка форма шоку). Це результат ізольованих уражень середньої важкості та втрати 500 — 1000 мл. крові, стан помірного психічного гальмування, блідий шкірний покрив, артеріальний тиск 100 — 95 мм. рт. ст. Прогноз сприятливий.

II ступінь — середня важкість шоку, численні ушкодження тіла, втрата крові до 1000 — 1500 мл, стан важкий, хоч орієнтація і свідомість не втрачені, шкіра бліда, губи ціанотичні, психічна загальмованість, пульс — 110 — 130 пульсацій за 1 хвилину, тиск — 90 — 75 мм рт. ст., нестійкий, прогноз сприятливий при проведенні протишокової терапії.

III ступінь — важкий шок, виникає при важких ушкодженнях грудної клітки, черевної порожнини. Крововтрата — 2000 мл., стан важкий, виражена психічна загальмованість, іноді ступор. Шкіра бліда, ціанотична, пітніє, слизові оболонки сухі, гіпотермія, гіподинамія, зниження сухожильних рефлексів, розлад у роботі нирок, сечовиділення, пульс — 120-160 пульсацій

						КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат			60

У разі стихійного лиха, аварій, коли має місце масове надходження потерпілих, їх медично сортують.

В першу чергу виділяють поранених з важким ступенем шоку: 1-га, 2-га група — поранені в стані шоку 1 — 2 год., їм надають протишокову допомогу, тоді оперують; до 3-ї групи належать поранені з ознаками шоку, яких можна прооперувати трохи пізніше. В першу чергу зупиняють кровотечу, компенсують крововтрати, потім нормалізують об'єм циркулюючої крові. Гостра крововтрата (50%) веде до смерті.

Кожна велика втрата крові (зниження тиску до 80 — 70 мм рт. ст.) мусить бути негайно компенсована шляхом переливання крові у вени потерпілого (визначають групу крові, резус-фактор донора і реципієнта) можна робити інфузію плазми крові, поліглюкін тощо.

Розрідження крові при введенні кровозамінників сприяє поліпшенню капілярного кровотоку.

Крововтрата організмом до 700 мл. компенсується самостійно, за рахунок інфузії плазми крові, введення сольових багатокomпонентних розчинів. Рівень гемоглобіну має бути 65%.

При кисневому голодуванні організму проводять оксигенотерапію. При зупиненні дихання — штучне дихання «з рота до рота». При порушенні функцій печінки і нирок вводять 500 мл. глюкози 1 раз на добу з інсуліном (1 ОД. інсуліну на 5 г глюкози).

Температура повітря в протишоковій палаті — 20 — 24°C.

Потерпілому дають гарячий чай, каву, нагріте вино, закутують ковдрою.

Синдром тривалого стискання тканин буває внаслідок землетрусів, коли люди опиняються під уламками споруд і будинків. У потерпілих поряд з переломами, опіками, може спостерігатися синдром тривалого стискання тканин, зокрема тканин верхніх і нижніх кінцівок. При розтрощенні і розчавлюванні тканин різко погіршується кровообіг у м'язах, виникають анемія, гіпонія тканин, інтоксикація, нервово-рефлекторний розлад, спазми

IV ступінь — легкий — стискання рук чи ніг до 2 год. Порушення помірні. Прогноз сприятливий.

Перша медична і долікарняна допомога.

Звільнення від стискання є початком клінічного прояву синдрому стискання тканин. Коли дві кінцівки зазнали стискання (компресія) протягом 8 год., при наявності переломів обов'язкова ампутація. Накладається джгут (вище від місця стискання). Вводяться знеболюючі, антигістамічні та серцево-судинні препарати, призначаються антибіотики, проводять правцеве щеплення.

2.3. Висновки до розділу 2

В розділі «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» описано електробезпеку при роботі з апаратом, а також долікарську допомогу при шоку.

					КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		64

Висновки

В кваліфікаційній роботі проведено проектування радіопередавача стереозвукового супроводу систем CCIR.

Проаналізовано вимоги до передавача, зокрема в плані технічних характеристик та параметрів, теплових режимів та електромагнітної сумісності. Також детально виконано аналіз принципів роботи передавачів системи CCIR та власне вимоги систем CCIR, принципи формування стереофонічного сигналу, структуру мультиплексованого сигналу. Наведено математичну модель такого стереосигналу та принципи його декодування, переваги та недоліки системи CCIR. Також проаналізовано типові прототипи передавачів системи CCIR на основі використання мікросхем BA1404 та NJM2035. Враховуючи доступність, за основу проектування використано мікросхему BA1404. Розроблено структурну схему передавача та його схему електричну. В останній додаково виконано підсилювач потужності та високочастотному транзисторові для збільшення радіусу дії передавача. Проведено детальний опис схеми електричної та виконано розрахунки її елементів. Після вибору конкретних типів елементів на основі їх типорозмірів розроблено креслення топології друкованої плати та її компоновання. Також виконано теплові розрахунки вузла. Отримані результати показали, що всі елементи працюють із великим запасом щодо максимально допустимих температур, а друкована плата забезпечує достатнє природне охолодження. Використання додаткових радіаторів або примусової вентиляції для даної конструкції не потрібне. Також проведено розрахунки електромагнітної сумісності. Встановлено, що розроблений вузол передавача має задовільні показники електромагнітної сумісності. Розроблена конструкція може стабільно працювати без створення значних електромагнітних завад для навколишньої електронної апаратури

Проведено аналіз охорони праці та безпеки життєдіяльності.

					КОВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		65

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: «Радіопередавач стереозвукового супроводу систем ССІR»

Узгоджено:

Керівник кваліфікаційної роботи

Яворський Б.І. _____

“ _____ ” _____ 2026 р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”

Студент групи РАС-41

Коньчик О.В. _____

“ _____ ” _____ 2026 р.

Тернопіль 2026

1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: “Радіопередавач стереозвукового супроводу систем ССІR”

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 Коньчик О.В. групи РАс-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою роботи є розробка радіопередавача стереозвукового супроводу систем ССІR 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:

- Напруга живлення – +5...9 В;
- Вихідна потужність – до 10 мВ;
- Значення піднесучаї частоти – 38 кГц;
- Значення частоти пілот-сигналу – 19 кГц;
- Робоча частота передавача – 87,9 МГц;
- Дотримання теплових режимів;
- Забезпечення вимог електромагнітної сумісності.

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		
	<u>Конденсатори</u>							
	ЕСАР							
	К10-17-16-Н90							
	КТ4-25Б-250В-М270							
C1,C2	К10-17-16-Н90-3,3 нФ±5%				2			
C3,C4	ЕСАР-10В-1 мкФ±20%				2			
C5	ЕСАР-16В-220 мкФ±20%				1			
C6,C17	К10-17-16-Н90-0,1 мкФ±5%				2			
C7,C8,C10	К10-17-16-Н90-1 нФ±5%				3			
C9,C11	ЕСАР-10В-10 мкФ±20%				2			
C12	К10-17-16-Н90-10 нФ±5%				1			
C13	К10-17-16-Н90-330 пФ±5%				1			
C14	К10-17-16-Н90-470 пФ±5%				1			
C15	К10-17-16-Н90-22 нФ±5%				1			
C16,C23,C24	КТ4-25Б-250В-М270-5/25 пФ				3			
C18	К10-17-16-Н90-6,8 пФ±5%				1			
C19	К10-17-16-Н90-39 пФ±5%				1			
C20	К10-17-16-Н90-47 пФ±5%				1			
C21	ЕСАР-16В-100 мкФ±20%				1			
C22	К10-17-16-Н90-100 пФ±5%				1			
	<u>Мікросхеми</u>							
DA1	BA1404				1			
L1	<u>Дросель</u> КОВ 4.7.001 0,16 мкГн				1			
L2	<u>Дросель</u> КОВ 4.7.002 0,22 мкГн				1			
L3	<u>Дросель</u> КОВ 4.7.003 0,9 мкГн				1			
					КОВ 2.893.001 ПЕЗ			
<u>Змн.</u>	<u>Арк.</u>	<u>№ докум.</u>	<u>Підпис</u>	<u>Дата</u>				
<u>Розроб.</u>	Коньчик О.В.				Радіопередавач стереозвукового супроводу систем ССІР Перелік елементів	<u>Лім.</u>	<u>Арк.</u>	<u>Аркушів</u>
<u>Перевір.</u>	Яворський Б.І.						1	2
<u>Н. Контр.</u>	Хвостівська Л.В.							
<u>Зав. каф.</u>	Дунець В.Л.							
<u>Реценз.</u>	Дедів Л.Є.							
						ТНТУ, гр. РА-41		

Форма	Зона	Поз.	Найменування	Найменування	Кіл.	Примітка	
				<u>Документація</u>			
A2			КОВ 3.893.001 СК	Складальне креслення			
A2			КОВ 3.893.001 ЕЗ	Схема електрична принципова			
				<u>Деталі</u>			
		1	КОВ 7.102.001	Плата друкована	1		
				<u>Стандартні вироби</u>			
		2	КОВ 4.001.001	Прокладка	6		
				<u>Інші вироби</u>			
		3		<u>Дросель</u> КОВ 4.7.001 0,16 мкГн	1	L1	
		4		<u>Дросель</u> КОВ 4.7.002 0,22 мкГн	1	L2	
		5		<u>Дросель</u> КОВ 4.7.003 0,9 мкГн	1	L3	
				<u>Діоди</u>			
		6		1N4728A	1	VD1	
		7		BB109	1	VD2	
		8		<u>Кварцовий резонатор</u> 38 кГц	1	ZQ1	
				<u>Конденсатори</u>			
		9		К10-17-16-Н90-3,3 нФ±5%	2	C1,C2	
		10		ЕСАР-10В-1 мкФ±20%	2	C3,C4	
		11		ЕСАР-16В-220 мкФ±20%	1	C5	
		12		К10-17-16-Н90-0,1 мкФ±5%	2	C6,C17	
		13		К10-17-16-Н90-1 нФ±5%	3	C7,C8,C10	
		14		ЕСАР-10В-10 мкФ±20%	2	C9,C11	
		15		К10-17-16-Н90-10 нФ±5%	1	C12	
				КОВ 2.893.001			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			
<i>Розроб.</i>		Коньчик О.В.			<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Яворський Б.І.				1	2
<i>Н. Контр.</i>		Хвостівська Л.В.			ТНТУ, гр. РА-41		
<i>Затверд.</i>		Дунець В.Л.					
<i>Рецензент</i>		Дедів Л.Є.					
Друкований вузол							

