

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Радіопередавач УКХ діапазону потужністю 1 Вт

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи РА-41
спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка"

(шифр і назва спеціальності)

Кучмай М.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Нормоконтроль Дунець В.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Дунець В.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Дунець В.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

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

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

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня _____ бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю _____ 172 Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)
студенту _____ Кучмаю Максиму Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Радіопередавач УКХ діапазону потужністю 1 Ват

Керівник роботи _____ Дедів Ірина Юріївна канд. тех. наук, доц. кафедри РТ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 28 » 04 2026 року № 4/9-199

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи вихідна потужність 1 Вт; напруга живлення 9...16 В; вихідний опір 50 або 75 Ом; діапазон частот 87,5...108 МГц; струм споживання до 400 мА.

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

1. Розрахункова частина

2. Спеціальна частина (САПР)

3. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ДОДАТКИ

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

1. Структурна схема приладу

2. Схема електрична принципова

3. Креслення друкованої плати

4. Складальне креслення друкованого вузла

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Радіопередавач УКХ діапазону потужністю 1 Вт». Кваліфікаційна робота бакалавра// Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, групу РА-41.// Тернопіль, 2026р. // с.-81, рис.- 23, табл.-6, бібліог.- 29, додат.-13.

Ключові слова: РАДІОПЕРЕДАВАЧ, УКХ ДІАПАЗОН, ЗАДАЮЧИЙ ГЕНЕРАТОР, ЧАСТОТНА МОДУЛЯЦІЯ, ПІДСИЛЮВАЧ ПОТУЖНОСТІ, ДРУКОВАНА ПЛАТА, САПР, КОНСТРУКТОРСЬКА ДОКУМЕНТАЦІЯ.

Розробка документації на малопотужний радіопередавач ультракоротких хвиль (УКХ потужністю 1 Вт). Особливістю архітектури пристрою є застосування двофазного задаючого генератора на базі двох зустрічно налаштованих контурів, що забезпечує підвищену стабільність робочої частоти без використання складних синтезаторів.

Радіопередавач орієнтований на використання в умовах малоканалних систем радіозв'язку, малопотужного радіомовлення, а також може бути застосований у демонстраційних, навчальних або лабораторних середовищах для дослідження високочастотних пристроїв. Основні технічні параметри: вихідна потужність – до 1 Вт (при напрузі живлення 16 В), вихідний опір – 50 або 75 Ом, робочий діапазон частот – 87,5...108 МГц (УКХ/FM), напруга живлення – 9...16 В, струм споживання – до 400 мА.

ANNOTATION

Theme of the qualification work: "1-watt VHF radio transmitter".
Bachelor's qualification work// Ternopil National Technical University
named after Ivan Pulyuy , Faculty of Applied Information Technologies
and Electrical Engineering, group RA-41.// Ternopil, 2026p. // p.-81 ,
fig.-23 , tab.-6 , bibl.-29 , app.-13.

Keywords: RADIO TRANSMITTER, VHF RANGE, CONTROL
GENERATOR, FREQUENCY MODULATION, POWER AMPLIFIER,
PRINTED BOARD, CAD, DESIGN DOCUMENTATION.

The work is devoted to the development of documentation for a low-power ultrashort wave radio transmitter (VHF with a power of 1 W). A feature of the device architecture is the use of a two-phase master oscillator based on two counter-tuned circuits, which provides increased stability of the operating frequency without the use of complex synthesizers.

The radio transmitter is aimed at use in conditions of small-channel radio communication systems, low-power radio broadcasting, and can also be used in demonstration, educational or laboratory environments for research of high-frequency devices. Main technical parameters: output power – up to 1 W (at a supply voltage of 16 V), output impedance – 50 or 75 Ohm, operating frequency range – 87.5...108 MHz (VHF/FM), supply voltage – 9...16 V, current consumption – up to 400 mA.

Зміст

Вступ.....	7
1 Основна частина.....	10
1.1 Аналіз технічного завдання.....	10
1.1.1 Обґрунтування актуальності теми.....	12
1.1.2 Аналіз існуючих радіопередавачів УКХ.....	13
1.2 Розробка структурної схеми радіопередавача УКХ.....	17
1.3 Розрахунок вузлів електричної принципової схеми радіопередавача УКХ.....	20
1.3.1 Розрахунок вузлів електричної принципової схеми.....	20
1.3.2 Розрахунок коливального контуру задаючого генератора з ЧМ.....	22
1.3.3 Розрахунок вихідного підсилювача потужності ВЧ.....	24
1.3.4 Розрахунок вихідного П-подібного фільтра нижніх частот.....	26
1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази.....	27
1.5 Компоновка друкованого вузла пристрою.....	40
1.6 Висновки до розділу 1.....	51
2 Спеціальна частина (САПР).....	52
2.1 Обґрунтування вибору програмного середовища САПР.....	52
2.2 Етапи проектування друкованої плати в САПР DipTrace.....	53
2.3 Висновки до розділу 2.....	56
3 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	58
3.1 Забезпечення евакуації персоналу.....	58
3.2 Аналіз впливу електромагнітного випромінювання на персонал і населення....	60
3.3 Висновки до розділу 3.....	64
Висновки.....	66
Список використаних джерел.....	68
Додатки.....	72

					КМВ 2.019.001 ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Радіопередавач діапазону потужністю 1Вт			Лім.	Арк.	Аркуші		
Розроб.		Кучмай М.В.								5		
Перевір.		Дедів І. Ю.						ТНТУ, ФПТ каф. РТ гр. РА-41				
Реценз.												
Н. Контр		Хвостівська Л. В										
Затв..		Дунець В. Л.										

Вступ

На сучасному етапі розвитку глобального інформаційного простору, цифрових комунікацій та радіоелектронних технологій бездротові системи передачі інформації залишаються головним фундаментом для побудови оперативних, надійних та автономних мереж зв'язку. Особливе місце у загальній структурі радіозв'язку посідає ультракороткохвильовий (УКХ) радіопередавач, зокрема його комерційний сегмент FM-мовлення (87.5–108 МГц). Даний діапазон має унікальні фізичні та технічні переваги: високу стійкість до промислових, атмосферних та космічних завад, здатність забезпечувати надзвичайно високу якість (Hi-Fi) трансляції стерео- та монофонічних звукових сигналів, а також можливість застосування малогабаритних та ефективних антено-фідерних систем.

У контексті сучасних реалій стрімко зростає інтерес до малопотужних радіопередавальних пристроїв з вихідною потужністю до 1 Вт. Такі системи є критично важливими для розгортання локальних (малозональних) комплексів бездротового сповіщення цивільної оборони, організації внутрішнього радіомовлення на великих промислових об'єктах, у навчальних закладах, спортивних комплексах, аграрних підприємствах чи паркових зонах. Головна перевага малопотужних передавачів полягає в їхній високій мобільності, низькому енергоспоживанні, економічній доступності та можливості швидкого введення в експлуатацію без необхідності залучення значних фінансових ресурсів та капітального будівництва, які притаманні потужним комерційним радіомовним станціям.

Разом з тим, проектування високочастотних радіопередавальних засобів аналогового типу на дискретних компонентах супроводжується низкою жорстких інженерних, схмотехнічних та конструктивно-технологічних викликів. Традиційні малопотужні передавачі, побудовані на базі простих однотранзисторних задаючих генераторів, мають суттєвий недолік — низьку

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

температурну та часову стабільність несучої частоти. Під впливом нагрівання компонентів, коливань напруги живлення або зміни параметрів навколишнього середовища частота генератора починає «плавати», що призводить до виходу сигналу за межі виділеного каналу та критичного погіршення якості прийому. Інтеграція складних цифрових мікросхем синтезаторів частоти з фазовим автопідстроюванням (ФАПЧ / PLL) частково вирішує цю проблему, проте суттєво ускладнює архітектуру пристрою, збільшує його вартість, вимагає програмування мікроконтролерів і створює додаткові цифрові завади у високочастотному тракці.

У зв'язку з цим виникає гостра науково-технічна потреба у дослідженні та розробці альтернативних, високоефективних схемотехнічних рішень. Одним із таких рішень є архітектура радіопередавача УКХ. Його фундаментальна особливість полягає у використанні унікального двотактного задаючого генератора, де два плеча працюють на половинній частоті (близько 50 МГц), а в результаті синфазного додавання сигналів та виділення другої гармоніки формується стабільна робоча частота в діапазоні 100 МГц. Такий підхід дозволяє досягти високої спектральної чистоти та температурної стабільності частоти на базі доступних дискретних елементів без застосування дорогих та дефіцитних мікросхем синтезаторів.

Ефективна практична реалізація такого пристрою вимагає глибокого аналізу та комплексного проектування всіх його функціональних вузлів. Необхідно забезпечити якісну попередню обробку низькочастотних сигналів від різних джерел (динамічних мікрофонів та лінійних виходів аудіоапаратури), реалізувати високу лінійність частотної модуляції за допомогою варикапних матриць, спроектувати каскади проміжного та вихідного підсилення потужності високої частоти (ВЧ), а також розрахувати багатоланковий фільтр нижніх частот для ефективного придушення вищих гармонік та точного узгодження виходу передавача з антено-фідерним трактом.

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Окремим важливим аспектом є конструктивно-технологічне проектування пристрою. Робота у діапазоні 100 МГц вимагає суворого дотримання правил високочастотного монтажу. Найменша помилка при трасуванні друкованих провідників може призвести до виникнення паразитної індуктивності та ємності, взаємного наведення між каскадами, самозбудження підсилювача потужності або значних втрат корисного сигналу. Тому застосування сучасних систем автоматизованого проектування (САПР), зокрема Altium Designer, для створення оптимальної топології двосторонньої друкованої плати, створення суцільних екранних заземлюючих поверхонь та тривимірного моделювання конструкції є надзвичайно актуальним інженерним завданням.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка, комплексний схемотехнічний розрахунок та конструктивно-технологічне проектування радіопередавача УКХ діапазону потужністю 1 Вт на дискретній компонентній базі з оптимізацією топології друкованої плати у САПР Altium Designer для забезпечення максимальної стабільності частоти.

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		9

1 Основна Частина

1.1 Аналіз технічного завдання

По-перше, забезпечення стабільного, якісного та оперативного радіозв'язку в ультракороткохвильовому (УКХ) діапазоні є однією з ключових інженерних задач сучасної радіоелектроніки та телекомунікацій. У період стрімкого розвитку локальних систем бездротової передачі даних та малопотужного мовлення постійно зростає потреба на компактні, високопродуктивні та енергоефективні радіопередавальні пристрої. Все частіше виникає потреба у створенні простих в налаштуванні та збиранні схемотехнічних рішень, які забезпечують високу лінійність частотної модуляції, мінімальний рівень побічних випромінювань та високу температурну стабільність частоти без використання складних та дорогих компонентів.

По-друге, у багатьох сферах застосування (локальне радіомовлення, малогабаритні системи сповіщення, навчальні лабораторії) перевага надається радіопередавачам малої потужності, що здатні працювати у стандартному комерційному УКХ (FM) діапазоні 87.5–108 МГц. На відміну від промислових передавальних комплексів, які є громіздкими та дорогими, малопотужні передавачі (зокрема, потужністю 1 Вт) дозволяють розгорнути локальні мережі передачі звукової інформації з мінімальною собівартістю. Інтеграція в один пристрій попереднього аудіомікшера дає змогу гнучко взаємодіяти з різними джерелами сигналу — від динамічних мікрофонів до лінійних виходів комп'ютерів чи CD-програвачів.

По-третє, підвищення стабільності частоти передавача без застосування систем фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ або PLL) є критично важливим завданням для простих аналогових систем. Використання оригінальних схемотехнічних рішень, таких як побудова задаючого

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		10

генератора за двотактною схемою (де два генератори працюють на частоті 50 МГц, а в результаті додавання сигналів формується робоча частота 100 МГц), дозволяє суттєво підвищити температурну стабільність частоти радіопередавача та забезпечити високу чистоту спектра.

В підсумку, розробка недорогого, функціонального радіопередавача УКХ діапазону потужністю 1 Вт є актуальним інженерним напрямом у галузі телекомунікаційних пристроїв. Такий пристрій знаходить широке застосування в системах локального бездротового зв'язку, трансляції аудіоінформації в межах обмежених територій, а також у навчальних цілях для дослідження процесів високочастотного підсилення та частотної модуляції.

В результаті чого об'єктом розробки став радіопередавач УКХ діапазону потужністю 1 Вт. Пристрій призначений для формування ЧМ-сигналу в діапазоні частот 87.5–108 МГц. До складу радіопередавача входить вбудований міні-мікшер для змішування сигналів від мікрофонного підсилювача на транзисторі VT1 та лінійного джерела, високостабільний задаючий генератор, проміжний та вихідний каскади підсилення потужності високої частоти (ВЧ) на транзисторі VT4, а також інтегрований світлодіодний вузол контролю та індикації рівня вихідної ВЧ-потужності на транзисторі VT5. Живлення радіопередавача здійснюється від стабілізованого джерела постійного струму напругою 12–16 В, струм споживання пристрою становить близько 200–300 мА.

Технічні характеристики радіопередавача УКХ:

- Вихідна потужність до 1 Вт;
- Напруга живлення 9...16 В ;
- Вихідний опір 50 або 75 Ом;
- Робочий діапазон частот 87,5...108 МГц (УКХ/FM);
- Струм споживання до 400 мА;

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		11

1.1.1 Обґрунтування актуальності теми

Сьогодні в епоху стрімкого розвитку цифрових комунікацій, супутникових систем та мереж п'ятого покоління, класичне радіомовлення в ультракороткохвильовому (УКХ/FM) діапазоні частот залишається одним із найбільш масових, доступних та надійних засобів оперативного інформування населення. Радіосигнал УКХ діапазону має високу завадостійкість до атмосферних та промислових перешкод, а також здатність забезпечувати якісне стереофонічне звучання в межах прямої видимості передавальної антени. Це робить локальні малопотужні радіостанції незамінним інструментом для побудови регіональних систем оповіщення, цивільного захисту, організації відомчого зв'язку та локального комерційного чи некомерційного мовлення.

Актуальність розробки та конструювання малопотужного радіопередавача УКХ діапазону (потужністю 1 Вт) зумовлена кількома ключовими факторами:

Енергетична та економічна ефективність: Створення локальних зон покриття (радіусом до 2–5 км) за допомогою передавачів великої потужності є економічно недоцільним через високу вартість обладнання та значне споживання електроенергії. Використання малопотужних пристроїв дозволяє розгорнути гнучку інфраструктуру зв'язку з мінімальними капіталовкладеннями.

Забезпечення спектральної чистоти та ЕМС: Сучасний радіоефір є надзвичайно завантаженим, що висуває жорсткі вимоги до електромагнітної сумісності (ЕМС) радіопередавальних засобів. Розробка передавача з високою стабільністю частоти носія та ефективною фільтрацією вищих гармонік дозволяє уникнути створення завад іншим користувачам ефіру, зокрема технологічним та спеціальним службам.

Автономність та живучість систем зв'язку: У критичних ситуаціях (техногенні аварії, стихійні лиха, тривалі вимкнення централізованого

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		12

електропостачання) традиційні канали передачі даних, такі як мобільний зв'язок чи інтернет, часто стають недієздатними через перевантаження або руйнування базових станцій. Малопотужний передавач із напругою живлення 12 В може тривалий час функціонувати автономно від звичайного автомобільного акумулятора або сонячної панелі, забезпечуючи безперервне екстрене мовлення та координацію дій населення.

Імпортозаміщення та вітчизняне конструювання: Проектування радіоелектронної апаратури на доступній і перевірених елементній базі з використанням сучасних систем автоматизованого проектування (САПР), таких як Altium Designer, дозволяє створювати вітчизняні аналоги телекомунікаційного обладнання, незалежні від дефіцитних іноземних модулів.

Таким чином, оптимізація схемотехнічних рішень аналогового тракту, підвищення стабільності роботи двотактних автогенераторів без складних цифрових синтезаторів частоти та розробка якісної топології друкованого вузла для малопотужного радіопередавача УКХ є актуальною науково-практичною задачею, що має безпосереднє значення для розвитку сучасної радіотехніки та телекомунікацій.

1.1.2 Аналіз існуючих радіопередавачів УКХ

Радіопередавачі ультракороткохвильового діапазону широко застосовуються в системах бездротової передачі інформації, радіомовленні, телеметрії, охоронних комплексах, навчальних і лабораторних пристроях. Їх призначення полягає у формуванні високочастотного сигналу заданої частоти, його модуляції інформаційним повідомленням та передачі в антену з необхідним рівнем потужності. Незважаючи на спільність основного функціонального призначення, існуючі УКХ-передавачі суттєво відрізняються між собою за схемотехнічною побудовою, способом

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		13

стабілізації частоти, рівнем вихідної потужності, типом модуляції та складністю конструктивного виконання.

Аналіз сучасних і класичних схем радіопередавачів УКХ показує, що більшість з них можна умовно поділити на кілька основних груп: малопотужні однотранзисторні передавачі, багатокаскадні транзисторні передавачі з буферним і вихідним підсиленням, передавачі на спеціалізованих мікросхемах, а також синтезовані передавальні модулі з цифровим керуванням частотою. Кожен із цих варіантів має свої переваги, недоліки та сферу практичного застосування.

1. Передавач 1W PLL FM Transmitter

До цієї групи належать малопотужні радіопередавачі УКХ діапазону, призначені для локального FM-мовлення, експериментальних радіотехнічних розробок та побудови невеликих інформаційних систем. Одним із найбільш відомих представників є 1W PLL FM Transmitter (рисунок 1.1), який поєднує відносно просту схемотехніку з досить високою стабільністю несучої частоти. Пристрій працює в смузі 87,5–108 МГц, має вихідну потужність порядку 1 Вт і використовує PLL-стабілізацію, що суттєво покращує точність утримання частоти порівняно з класичними LC-генераторами. Як правило, такі передавачі містять задавальний генератор, вузол частотної стабілізації, буферний каскад, вихідний підсилювач та коло узгодження з антеною.

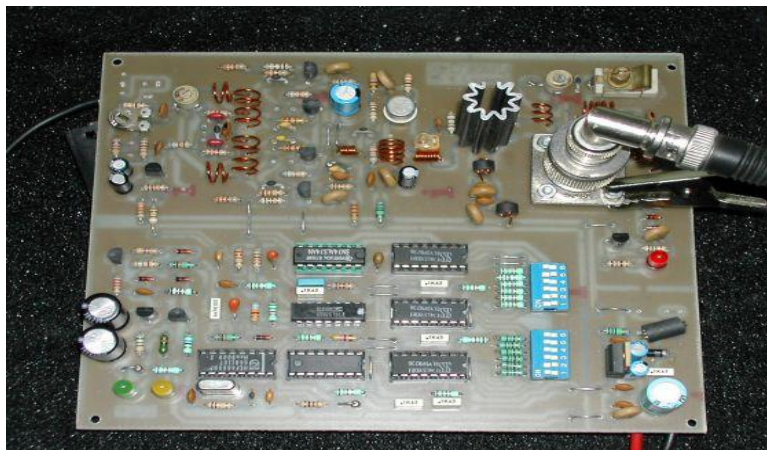


Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд передавача 1W PLL FM Transmitter

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

KMB 2.019.001 ПЗ

Арк.

14

До сильних сторін цього рішення слід віднести достатньо високу стабільність частоти, що досягається завдяки PLL-синтезу, а також можливість роботи в усьому FM-діапазоні без істотного погіршення якості сигналу. Потужність близько 1 Вт є достатньою для локального покриття невеликої території, лабораторних випробувань або побудови навчального стенда. Особливою перевагою є те, що подібні передавачі побудовані на зрозумілій дискретній або напівдискретній елементній базі, тому їх зручно аналізувати з точки зору схемотехніки, а також адаптувати під потреби конкретного проекту. Для дипломного проектування це важливо, оскільки дозволяє простежити роботу генераторного, буферного та підсилювального каскадів, а не використовувати повністю «закритий» модуль.

Попри хорошу стабільність частоти, передавач такого класу все ж потребує акуратного налагодження, особливо в частині вихідного каскаду, узгодження з антеною та відведення тепла від силового транзистора. Крім того, для забезпечення низького рівня побічних випромінювань необхідно дотримуватись якісного монтажу, правильного екранування та грамотного трасування друкованої плати. Ще одним недоліком є те, що готові комерційні версії Veronica-типу коштують дорожче за найпростіші передавачі на одній мікросхемі, а їх використання як завершеного виробу не завжди виправдане, якщо метою є саме самостійне проектування власного УКХ-передавача.

2. Модульний PLL-передавач на мікросхемі ВН1415F

Інший клас аналогів становлять компактні модульні FM-передавачі, побудовані на спеціалізованих інтегральних мікросхемах. Як приклад можна розглядати PLL FM Transmitter Module на базі ВН1415F (рисунок 1.2), що працює в діапазоні 88–108 МГц та призначений для бездротової передачі аудіосигналу на стандартні FM-приймачі. Такі модулі зазвичай містять у собі генератор, вузол частотного синтезу, стереокодер, а також малопотужний вихідний каскад. Керування частотою виконується кнопками або

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		15

мікроконтролером, а налаштування здійснюється з кроком, характерним для побутового FM-діапазону.



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд PLL FM Transmitter Module на базі
BH1415F

Головною перевагою такого рішення є компактність і висока ступінь інтеграції. Фактично користувач отримує готовий до роботи вузол, у якому вже реалізовані генерація, стабілізація частоти та аудіомодуляція. Це значно спрощує побудову пристрою і скорочує час розробки. Крім того, модулі на BH1415F відзначаються простотою підключення, невеликим енергоспоживанням та наявністю зручного цифрового налаштування робочої частоти. Вони добре підходять для створення компактних навчальних макетів, допоміжних аудіосистем або нескладних локальних передавачів, де не вимагається складне підсилення та високий рівень вихідної потужності.

Основним обмеженням модулів цього типу є відносно невелика вихідна потужність: у більшості виконань вона становить близько 0,5 Вт, тобто нижча за рівень повноцінного 1-ватного передавача. Через це дальність дії та запас по рівню сигналу є меншими, особливо при використанні компактних антен або в умовах щільної забудови. Додатково слід враховувати, що інтегральне рішення значною мірою приховує внутрішню схемотехніку, тому воно менш придатне для глибокого конструкторського аналізу. У разі виходу з ладу чи необхідності модернізації користувач фактично обмежений можливостями

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		16

конкретного модуля, а внесення змін у його структуру є значно складнішим, ніж у дискретному багатокаскадному передавачі.

1.2 Розробка структурної схеми радіопередавача УКХ

Структурна схема радіопередавача УКХ діапазону потужністю 1 Вт, зображена на рисунку 1.1.1, ілюструє логічну побудову та взаємодію функціональних частин пристрою. Вона дозволяє відобразити загальні принципи роботи високочастотних та низькочастотних вузлів, окреслити шляхи проходження інформаційного сигналу від джерела до антено-фідерного тракту, а також показати взаємозв'язок між аналоговим радіопередавальним трактом та системою візуальної індикації.

В основі побудови пристрою лежить ідея поєднання архітектури високостабільного двотактного автогенератора з частотною модуляцією, каскадів високочастотного підсилення потужності та аналогового індикатора вихідного рівня. Схема включає в себе такі блоки: вхідний аудіомікшер, мікрофонний підсилювач низької частоти, двотактний задаючий генератор з ЧМ-модулятором, буферний каскад (попередній підсилювач ВЧ), кінцевий підсилювач потужності ВЧ, вихідний фільтр нижніх частот (ФНЧ), блок амплітудного детектора та світлодіодний індикатор, а також загальний блок живлення.

Низькочастотний сигнал звукової частоти від зовнішніх джерел (лінійного входу та мікрофона) надходить на пасивний аудіомікшер, який дозволяє регулювати та пропорційно поєднувати сигнали. Слабкий сигнал мікрофона попередньо передається на мікрофонний підсилювач, реалізований на біполярному транзисторі за схемою зі спільним емітером, що забезпечує необхідну амплітуду для коректної роботи модулятора.

Змішаний НЧ-сигнал надходить на двотактний задаючий генератор. Особливістю цього вузла є генерація коливань кожним плечем на половинній частоті (~50 МГц), що після додавання сигналів дає суттєву частоту носія УКХ

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		17

діапазону (~100 МГц). Частотна модуляція (ЧМ) здійснюється за допомогою варикапної матриці, увімкненої в коливальний контур: під дією змінної напруги звукової частоти варикапи змінюють свою ємність, забезпечуючи точну девіацію частоти.

Сформований ЧМ-сигнал передається на буферний каскад. Він виконує функцію узгодження опорів і динамічної розв'язки, ізолюючи задаючий генератор від потужного вихідного каскаду. Це запобігає «плаванню» частоти при зміні параметрів антени під час експлуатації.

Далі сигнал підлягає кінцевому підсиленню за струмом та напругою у вихідному підсилювачі потужності ВЧ, побудованому на потужному високочастотному транзисторі. Каскад працює в енергетично ефективному режимі класу С (або класу В із мінімальним зсувом), що дозволяє досягти ККД до 60–70% та забезпечити номінальну вихідну потужність 1 Вт.

Після підсилення ВЧ-сигнал проходить через вихідний багатоланковий фільтр нижніх частот (ФНЧ) типу П-ланки. Фільтр виконує роль «селективного сита» — трансформує вихідний опір колектора у стандартний хвильовий опір антени 50 Ом та ефективно придушує вищі гармоніки (2-гу та 3-тю гармоніки робочої частоти), захищаючи ефір від побічних радіозавад перед випромінюванням сигналу антеною.

Паралельно з виходом ФНЧ функціонує аналоговий блок індикації вихідної потужності. Невелика частина ВЧ-енергії відгалужується на амплітудний детектор з діодом, де випрямляється у постійну напругу, яка відкриває транзисторний ключ і керує яскравістю світлодіода. Це забезпечує візуальний контроль працездатності передавача та рівня вихідної потужності.

Сучасні підходи до побудови малопотужних передавальних засобів підкреслюють важливість спектральної чистоти сигналів. Як зазначено у науковій літературі, «проекування радіомовних систем УКХ діапазону вимагає суворого контролю спектральних складових коливань, мінімізації позасмугових випромінювань та забезпечення високої температурної стабільності частоти

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		18

задаючих автогенераторів» [12, 20]. Це обґрунтовує використання обраної двотактної структури генератора та П-подібної фільтрації.

Живлення всіх каскадів радіопередавача здійснюється від стабілізованого джерела постійної напруги +12 В (або до +16 В для максимальної потужності). Для запобігання проникненню високочастотних наведень по ланцюгах живлення з виходу підсилювача назад у чутливий мікрофонний каскад та задаючий генератор, у схемі реалізовано розв'язку за допомогою індуктивних ВЧ-дроселів та блокувальних керамічних конденсаторів паралельно шині живлення.

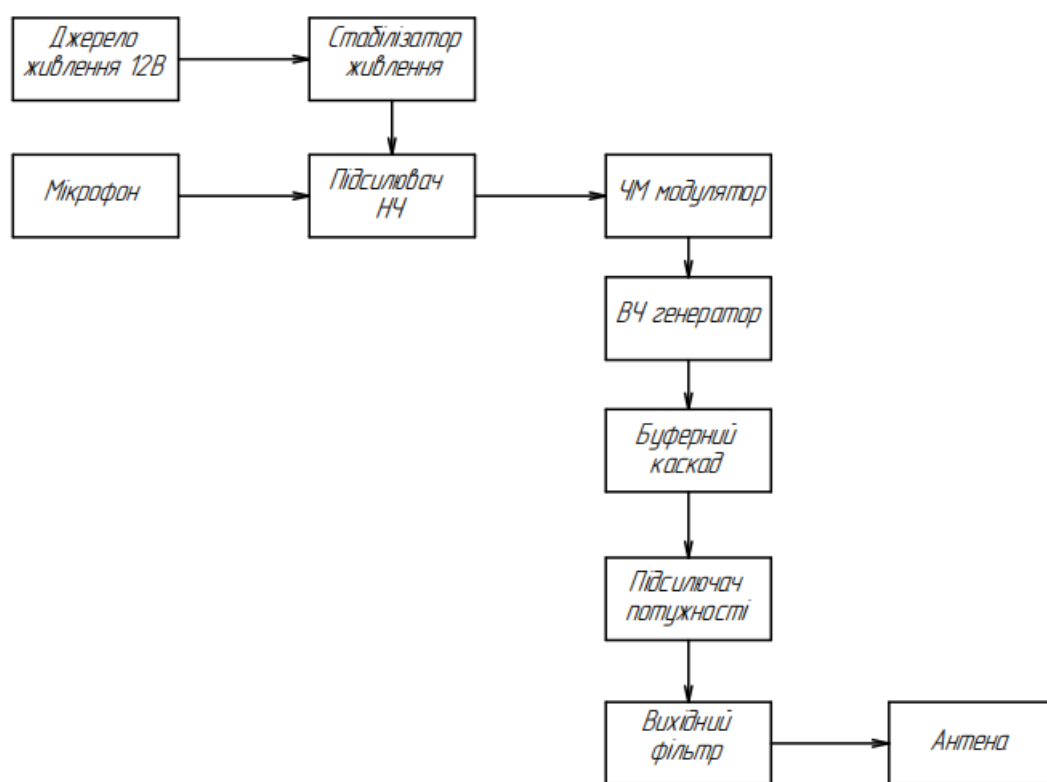


Рисунок 1.1.1 – Структурна схема радіопередавача УКХ

1.3 Розрахунок вузлів електричної принципової схеми радіопередавача УКХ

1.3.1 Розрахунок вхідного аудіомікшера та мікрофонного підсилювача НЧ

Каскад попереднього підсилення для мікрофона побудований на біполярному транзисторі VT1 (BC548) за схемою зі спільним емітером. Резистори R1 та R2 виконують роль мікшера для регулювання рівнів сигналів.

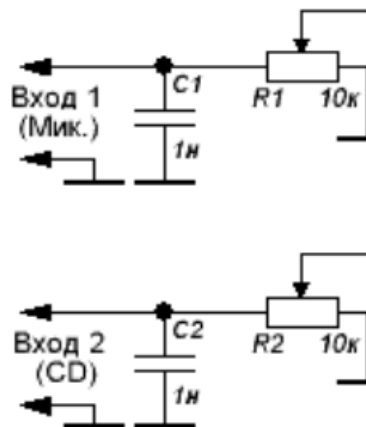


Рисунок 1.2 – Фрагмент електричної схеми: Аудіомікшер та мікрофонний підсилювач

Вихідні дані для розрахунку:

Напруга живлення пристрою: $E_{\text{жив}} = 12 \text{ В}$;

Струм колектора транзистора в точці спокою: $I_{\text{КО}} = 1 \text{ мА}$;

Напруга на колекторі в режимі спокою: $U_{\text{КО}} = 6 \text{ В}$;

Статичний коефіцієнт підсилення струму транзистора: $h_{21e} = 200$.

Розрахунок номіналу резистора колекторного навантаження R3, що визначає положення робочої точки навантажувальної прямої:

$$R3 = \frac{E_{\text{жив}} - U_{\text{КО}}}{I_{\text{КО}}} = \frac{12 - 6}{1 \cdot 10^{-3}} = 6000 \text{ Ом} = 6 \text{ кОм} \quad (1.1)$$

Згідно з ГОСТ (ряд E24) обираємо найближче стандартне значення:

$$R3 = 5.6 \text{ кОм.} \quad (1.2)$$

Визначення струму бази транзистора в режимі спокою:

$$I_{B0} = \frac{I_{KO}}{h_{21e}} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{200} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ А} = 5 \text{ мкА} \quad (1.3)$$

Розрахунок резистора автоматичного зсуву бази R5 (забезпечує негативний зворотний зв'язок для термостабілізації каскаду):

$$R5 = \frac{U_{KO} - U_{BE}}{h_{21e}} = \frac{6 - 0.7}{5 \cdot 10^{-6}} = 1.06 \cdot 10^6 \text{ Ом} \approx 1 \text{ МОм} \quad (1.4)$$

Згідно з рядом E24 обираємо стандартний номінал: R5 = 820 кОм.

Розрахунок роздільних конденсаторів C3 та C4 для забезпечення пропускання нижньої граничної частоти звукового спектра $f_{\text{ниж}} = 20 \text{ Гц}$:

$$C3 = C4 \geq \frac{1}{2\pi \cdot f_{\text{ниж}} \cdot R_{BX}} = \frac{1}{2 \cdot 3.1415 \cdot 20 \cdot 10000} \approx 7.95 \cdot 10^{-7} \text{ Ф} \quad (1.5)$$

З урахуванням запасу на завал частотної характеристики обираємо стандартні електролітичні конденсатори: C3 = C4 = 10 мкФ з робочою напругою 16 В.

1.3.2 Розрахунок коливального контуру задаючого генератора з ЧМ

Двотактний задаючий генератор побудований на транзисторах VT2 та VT3 (BF494). Особливістю схеми є робота кожного плеча на половинній частоті $f_{\text{ген}} = 50 \text{ МГц}$, що після додавання сигналів дає результуючу частоту несучої $f_0 = 100 \text{ МГц}$.

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		21

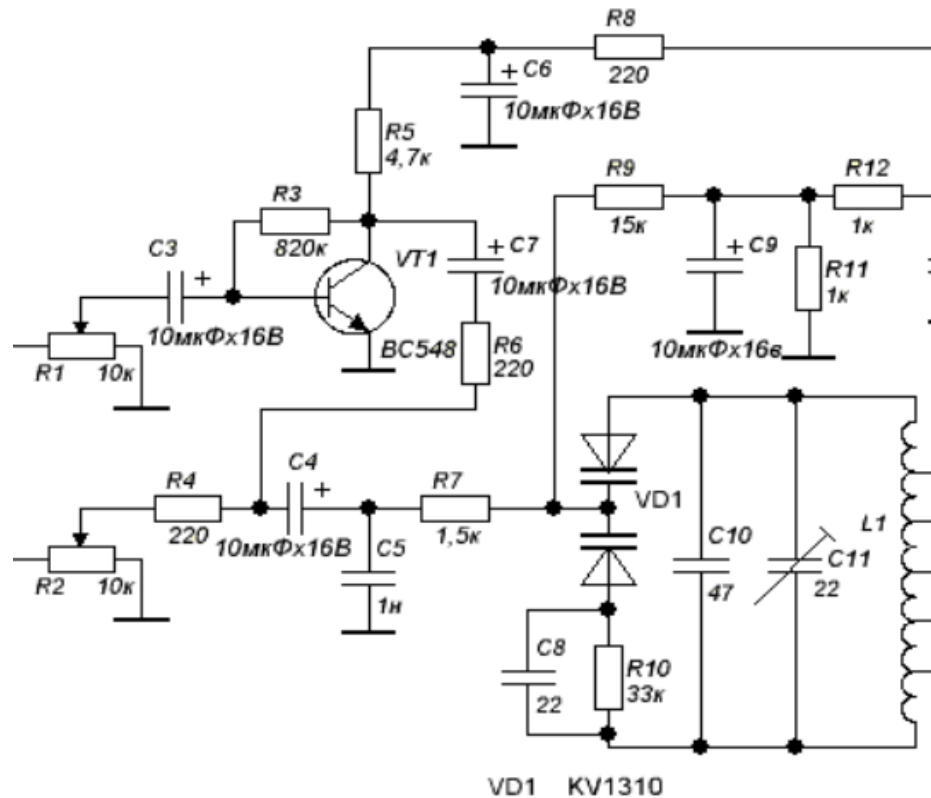


Рисунок 1.3 – Фрагмент електричної схеми: Двотактний задаючий генератор з ЧМ

Задаємо конструктивну індуктивність секції котушки контуру L_1 для ВЧ-діапазону: $L_1 = 0.22$ мкГн.

За формулою Томсона визначаємо загальну еквівалентну ємність коливального контуру C_{Σ} , необхідну для забезпечення резонансу на частоті 50 МГц:

$$C_{\Sigma} = \frac{1}{4\pi^2 \cdot f_{\text{ген}}^2 \cdot L_1} = \frac{1}{4 \cdot (3.1415)^2 \cdot (50 \cdot 10^6)^2 \cdot 0.22 \cdot 10^{-6}} \approx 4.6 \cdot 10^{-11} \text{ Ф} = 46 \text{ пФ} \quad (1.6)$$

Ця сумарна ємність забезпечується паралельним увімкненням фіксованого конденсатора C_{10} 10 (47 пФ), підстроювального конденсатора

C_{11} (22пФ) та власної початкової ємності варикапної матриці VD1 (КВ1310), що дозволяє здійснювати точне перекриття радіомовного УКХ діапазону від 87.5МГц до 108 МГц.

1.3.3 Розрахунок вихідного підсилювача потужності ВЧ

Кінцевий підсилювальний каскад реалізовано на високочастотному транзисторі VT4 (2N4427), який працює в енергетично ефективному режимі класу С з відсічкою колекторного струму.

Вихідні дані для розрахунку:

Корисна вихідна потужність передавача: $P_{\text{вих}} = 1.0$ Вт;

Напряга живлення каскаду: $E_{\text{жив}} = 16$ В(режим максимальної віддачі потужності);

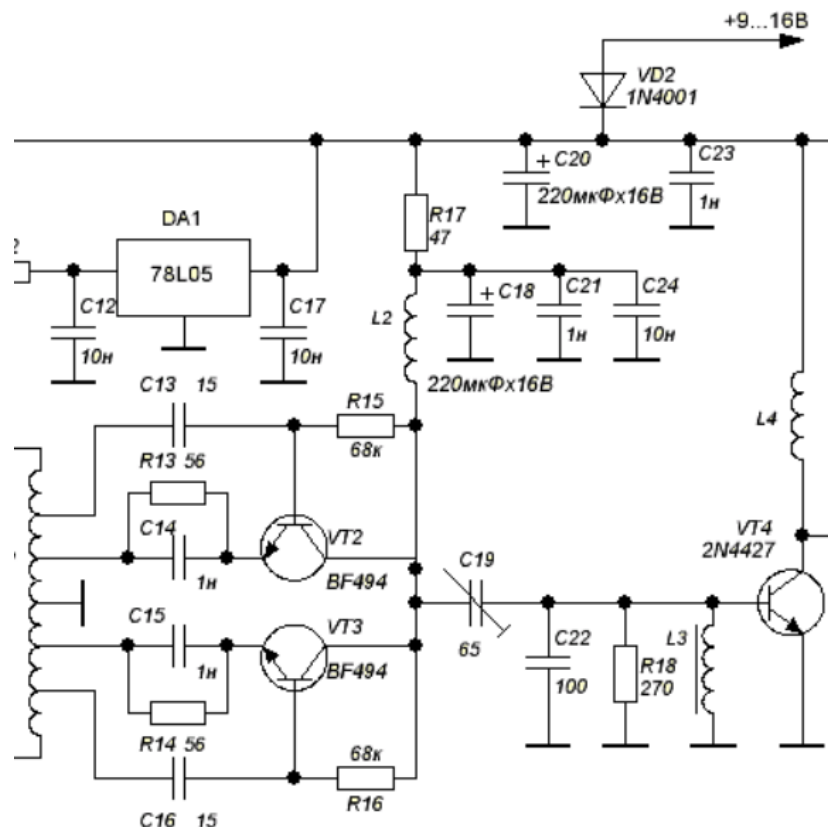


Рисунок 1.4 – Фрагмент електричної схеми: Буфер та вихідний підсилювач потужності ВЧ

Напряга насичення колектор-емітер транзистора: $U_{\text{нас}} \approx 1.5$ В.

Визначення амплітуди першої гармоніки високочастотної напруги на колекторі транзистора в граничному (критичному) режимі роботи:

$$U_{KM} \approx E_{жив} - U_{нас} = 16 - 1.5 = 14.5 \text{ В} \quad (1.7)$$

Розрахунок необхідної амплітуди першої гармоніки колекторного струму для забезпечення заданої потужності:

$$I_{KM1} = \frac{2 \cdot P_{вих}}{U_{KM}} = \frac{2 \cdot 1.0}{14.5} \approx 0.138 \text{ А} = 138 \text{ мА} \quad (1.8)$$

Визначення оптимального еквівалентного опору колекторного навантаження транзистора VT4 по першій гармоніці:

$$R_{екв.к} = \frac{U_{KM}}{I_{KM1}} = \frac{14.5}{0.138} \approx 105 \text{ Ом} \quad (1.9)$$

1.3.4 Розрахунок вихідного П-подібного фільтра нижніх частот

Вихідний фільтр призначений для придушення гармонік робочої частоти та трансформації вирахованого опору колектора $R_{екв.к} \approx 105 \text{ Ом}$ у стандартний хвильовий опір антено-фідерного тракту $R_{ант} = 50 \text{ Ом}$.

Частота зрізу ФНЧ Чебишева обирається з розрахунку: $f_{зр} = 115 \text{ МГц}$.

Колова частота зрізу становить:

$$\omega_{зр} = 2\pi f_{зр} = 2 \cdot 3.1415 \cdot 115 \cdot 10^6 \approx 7.22 \cdot 10^8 \text{ рад/с} \quad (1.10)$$

Розрахунок необхідної індуктивності котушки вихідного фільтра L5:

$$L_5 = \frac{R_{ант}}{\omega_{зр}} = \frac{50}{7.22 \cdot 10^8} \approx 6.92 \cdot 10^{-8} \text{ Гн} = 69 \text{ нГн} \quad (1.11)$$

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		24

Конструктивно це реалізується у вигляді безкаркасної котушки L5 (6 витків мідного дроту діаметром 1 мм на оправці 5 мм).

Розрахунок сумарної ємності фільтруючих плечей для П-подібної ланки:

$$C_{\omega} = \frac{1}{\omega_{зр} \cdot 10^8 \cdot 50} \approx 2.77 \cdot 10^{-11} \text{ Ф} \approx 27 \text{ пФ} \quad (1.12)$$

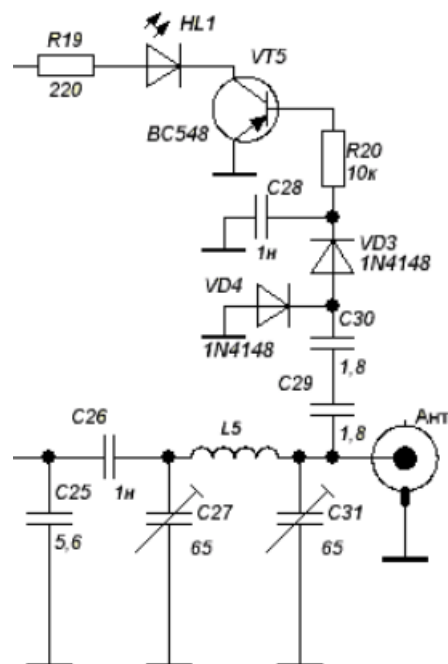


Рисунок 1.5 – Фрагмент електричної схеми: Вихідний ФНЧ та індикатор потужності

У реальній схемі цю місткість забезпечують підстроювальні конденсатори C27 та C31 з діапазоном регулювання 4–25 пФ (або до 65 пФ), що дозволяє компенсувати монтажні похибки під час лабораторного налаштування радіопередавача за критерієм максимальної яскравості світлодіода індикатора HL1.

1.4. Вибір і обґрунтування компонентної бази

Надійність, довговічність та стабільність технічних характеристик радіопередавача УКХ в умовах експлуатації значною мірою залежать від правильно підібраної елементної бази. Вибір електронних компонентів для цього дипломного проекту здійснювався на основі аналізу технічного завдання, а також з урахуванням технічних характеристик компонентів та економічної доцільності.

1.4.1 Вибір транзистора низькочастотного підсилювача та індикатора

Для реалізації каскаду попереднього підсилення звукового сигналу з мікрофона VT1 та ключа в ланцюзі світлодіодної індикації вихідної потужності VT5 обрано кремнієві малопотужні біполярні транзистори загального призначення типу BC547 (або аналог BC548) структури n-p-n у стандартному пластиковому корпусі TO-92.

Таблиця 1.1 - Транзистор BC547

Напруга колектор-база $U_{кбо}$ (max)	50В
Напруга колектор-емітер $U_{кео}$ (max)	45В
Допустимий струм колектора $I_{к}$ (max)	0,1А
Статичний коефіцієнт передачі струму h_{21e} (min)	450
Гранична частота коефіцієнта передачі струму $f_{гр}$.	450
Продовж. табл. 1.1	
Потужність, що розсіюється	0,63Вт
Корпус	ТО-92

Комплементарна пара

BC557 (PNP)

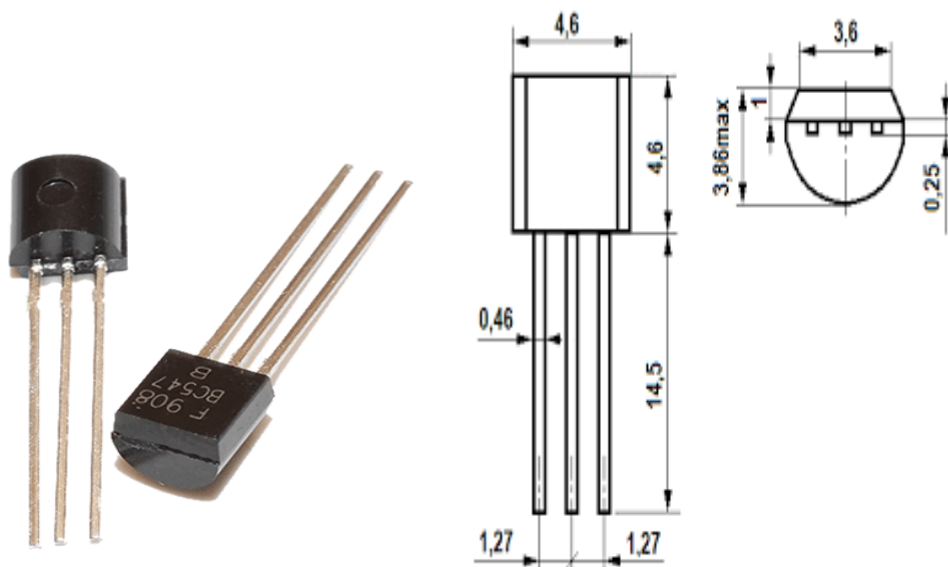


Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд та цоколівка транзистора BC547
(корпус TO-92)

BC547 — це універсальний кремнієвий n-p-n транзистор, призначений для роботи в малопотужних сигнальних колах. Він виконує роль швидкого електронного ключа для керування світлодіодами та оптронами, або використовується як підсилювач слабких сигналів. Транзистор розрахований на напругу до 45 В і струм до 100 мА, що робить його оптимальним вибором для низьковольтних вузлів PLC-модема

1.4.2 Вибір високочастотних транзисторів задаючого генератора

Для побудови високостабільного симетричного двотактного автогенератора (VT2, VT3) обрано спеціалізовані малопотужні кремнієві ВЧ-транзистори типу BF240 (або BF494) структури n-p-n.

Таблиця 1.2 - Високочастотний транзистор BF240

Тип корпусу:

Пластиковий TO-92

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

КМВ 2.019.001 ПЗ

Арк.

27

Максимальна напруга	40 В
Конфігурація	Односторонній
Частота передачі струму	150 МГц
Постійний струм, мА	25

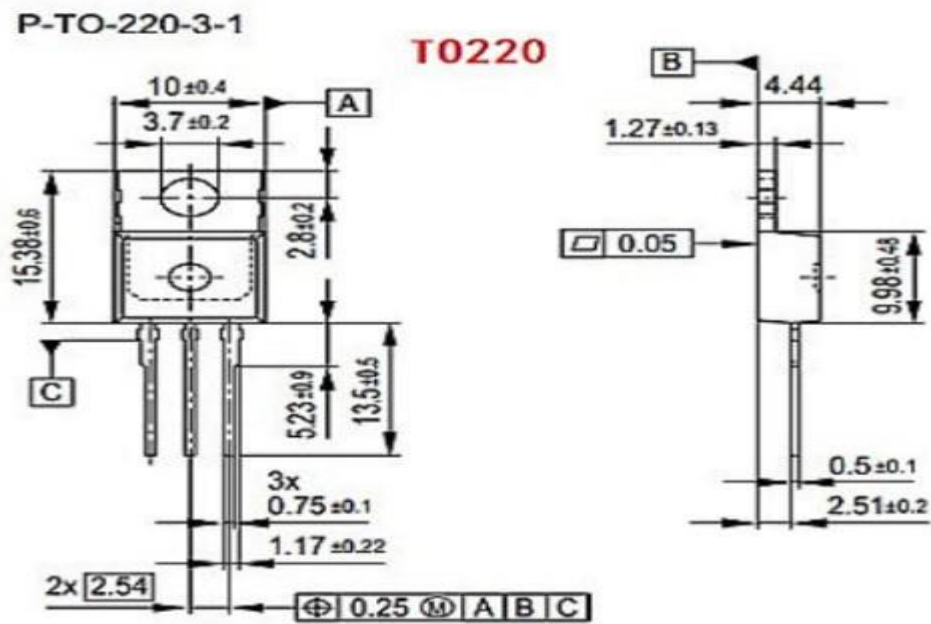


Рисунок 1.7 – Високочастотний транзистор BF240

BF240 — це високочастотний біполярний NPN-транзистор, призначений для роботи в малопотужних підсилювачах високої частоти (RF) та радіоприймачах.

1.4.3 Вибір кінцевого підсилювача потужності ВЧ

Для розгону потужності модульованого радіосигналу до номінального значення 1 Вт у третьому вузлі застосовано легендарний генераторний ВЧ-транзистор середньої потужності типу 2N4427 (або вітчизняні аналогові варіанти КТ610А/КТ907А).

Таблиця 1.3 - ВЧ-транзистор 2N4427

Вихідна потужність	1Вт
Тип корпусу:	Металевий TO-39
Максимальна частота	500 МГц
Максимальна напруга	20 В
Постійний струм	До 0,4 А - 0,5 А
Розсіювана потужність	До 3,5 Вт

ВЧ-транзистор 2N4427- це кремнієвий високочастотний (ВЧ) біполярний NPN- транзистор. Він спеціально розроблений для роботи в підсилювачах, перепідсилювачах та генераторах, що працюють у VHF та UHF діапазонах.

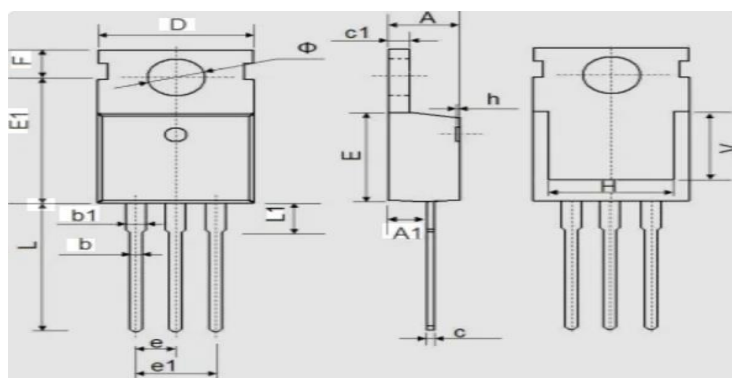


Рисунок 1.8 – Кінцевий ВЧ-транзистор 2N4427 у металевому корпусі TO-39

1.4.4 Вибір варикапів для частотного модулятора

Для забезпечення лінійної частотної модуляції без амплітудних спотворень у задаючому контурі використано напівпровідникову варикапну матрицю зі спільним катодом типу KB109 (або KB132).

Таблиця 1.4 - Варикапна матриця KB 109

Мін ємність	8...10 пФ
-------------	-----------

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

KMB 2.019.001 ПЗ

Арк.

29

Мах ємність	16...17 пФ
Мах зворотнє напруження	25 В
Добротність	Не менше 160
Робочий діапазон температур	-40°C...+85°C

Ключові візуальні ознаки KB109:

Корпус: Маленький чорний прямокутний брусок із пластику. Його розміри складають всього 4x2.4 мм, а товщина — 2.9 мм.

Виводи: З торців пластикового корпусу виходять плості металеві стрічки. Всього виводів три:

З одного боку виходять два тонких виводи (окремі аноди двох вбудованих діодів).

З протилежного боку виходить один широкий вивід (спільний катод).

Маркування кольоровою точкою: Текстової назви на корпусі немає. Модифікація визначається за кольором великої фарбованої точки на лицьовій стороні корпусу:

KB109А — біла точка.

KB109Б — червона точка.

KB109В — зелена точка.

KB109Г — жовна точка.

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		30

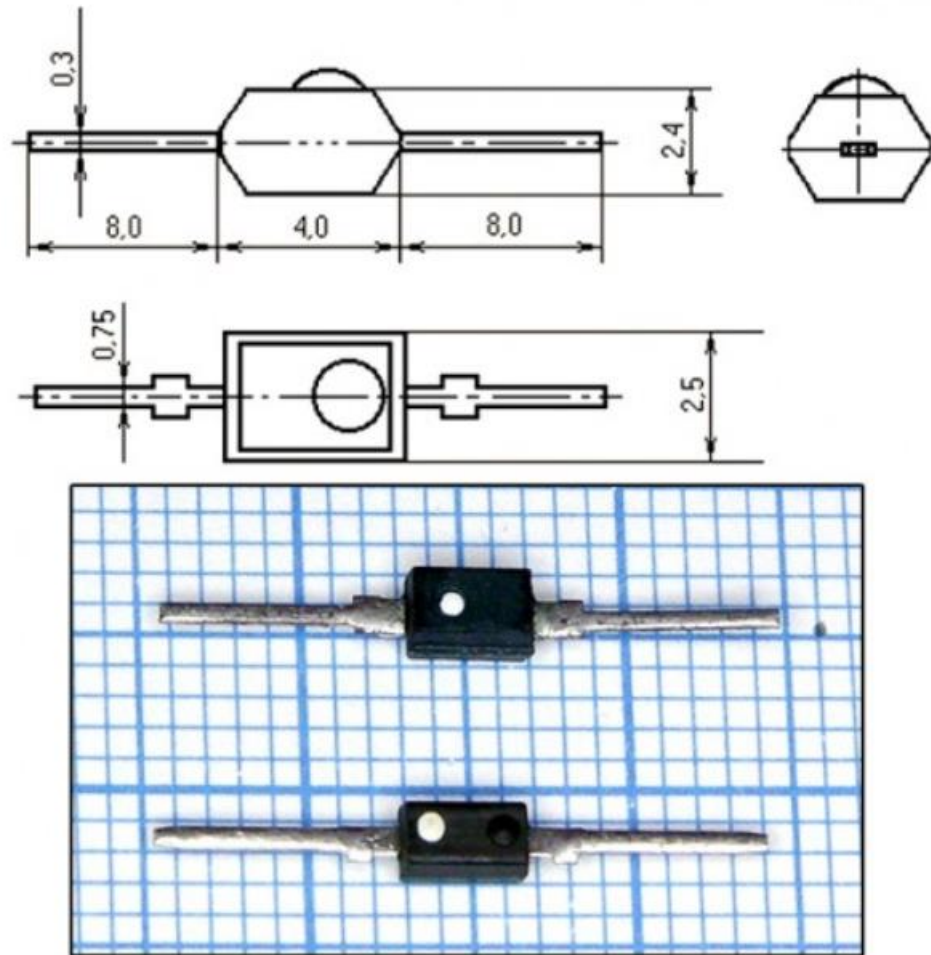


Рисунок .9 – Зовнішній вигляд варикапної матриці KB109

1.4.5 Вибір пасивних компонентів (резисторів та конденсаторів)

Згідно з вимогами до надійності радіопередавальних пристроїв, у якості постійних резисторів схеми було обрано металоплівкові вивідні резистори серії MFR (або тип МЛТ) з номінальною потужністю розсіювання 0.25 Вт та допуском $\pm 5\%$. Вони володіють низьким рівнем власних флікер-шумів та високою часовою стабільністю опору.

Для ручного мікшування та налаштування рівня гучності (R_1 , R_2) обрано малогабаритні вуглецеві змінні резистори типу СПЗ-46 з логарифмічною залежністю (тип В) для плавності регулювання звуку.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

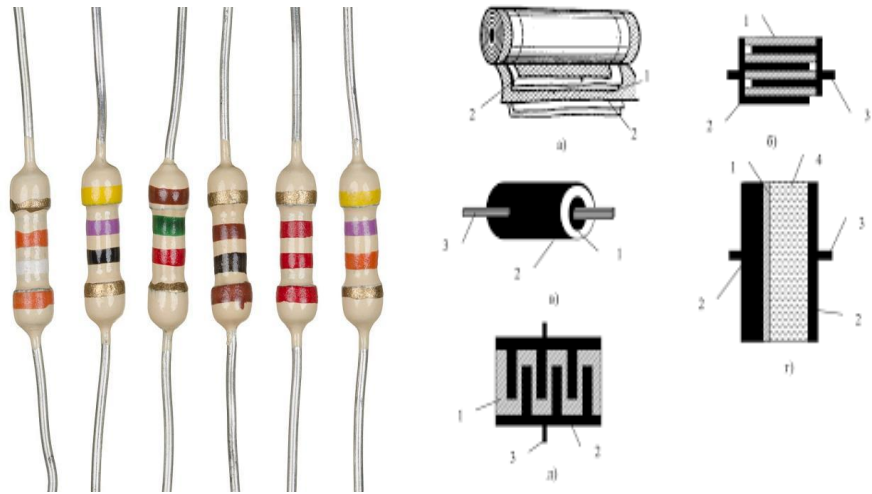


Рисунок 1.10 – Елементи пасивної бази схеми передавача (резисторів та конденсаторів)

Резистори та конденсатори - це найпоширеніші пасивні електронні компоненти. Вони не підсилюють електричний сигнал, а лише перерозподіляють енергію у колі: резистори перетворюють її на тепло, а конденсатори тимчасово накопичують у електричному колі. Разом ці компоненти формують основу будь-якої електричної плати. Без їхньої здатності точно керувати розподілом енергії та фільтрувати сигнали робота сучасної електроніки була б просто неможлива.

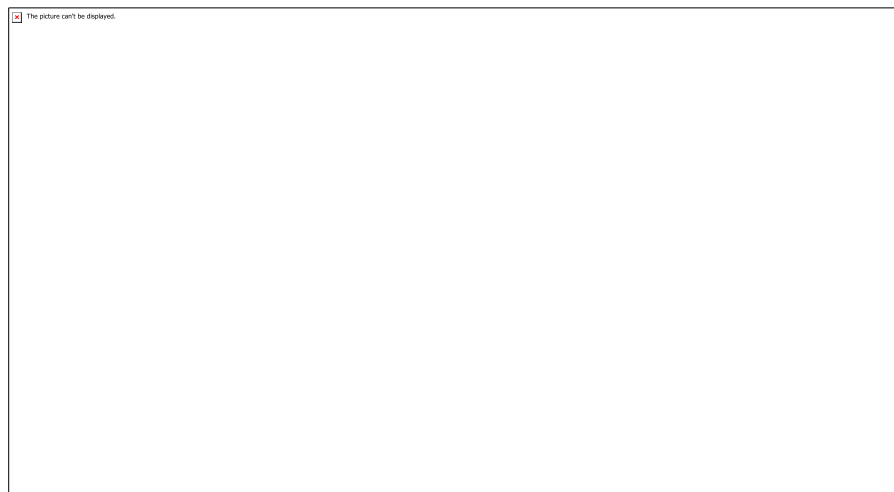


Рисунок 1.10 – Елементи пасивної бази схеми передавача (резисторів та конденсаторів)

1.4.6 Вибір індуктивностей, дроселів та елементів фільтрації

Для побудови високочастотних ланцюгів пристрою застосовано два класи індуктивних елементів:

Контурні котушки: є безкаркасними, одношаровими і виготовляються вручну методом намотування мідного лакованого дроту марки ПЕВ-2 (або ПЕТВ) діаметром 0.8–1.0 мм на оправках діаметром 5 мм. Відсутність каркаса та фериту виключає термічні зміни магнітної проникності та мінімізує втрати, забезпечуючи високу добротність ($Q > 120$).

Високочастотні дроселі живлення: обрано готові промислові аксіальні дроселі серії ДМ-0.1 (або серії LGA) з індуктивністю 10–22 мкГн. Вони намотані на феритових циліндричних осердях, мають великий індуктивний опір ($X_L = 2\pi f L$) на частоті 100 МГц, що повністю блокує проникнення радіочастотного струму в загальну шину живлення підсилювача, запобігаючи паразитному самозбудженню схеми.



Рисунок 1.11 – Конструктивне виконання контурних безкаркасних котушок та ВЧ-дроселів

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		33



Рисунок 1.11. – Конструктивне виконання контурних безкаркасних котушок та ВЧ-дроселів

1.4.7 Вибір діодів та електромеханічних комутаційних елементів

Для амплітудного детектора вихідного індикатора потужності обрано високочастотний імпульсний кремнієвий діод типу 1N4148 (корпус DO-35). Його мала власна ємність переходу (до 4 пФ) та надвисока швидкодія (час зворотного відновлення $t_{rr} \geq 4$ нс дозволяють ефективно та без втрат випрямляти радіочастотний струм частотою 100 МГц.

Світлодіод індикатора потужності (HL1) — стандартний напівпровідниковий LED діаметром 3 мм (наприклад, серії L-934 або AL307) з робочим струмом до 20 мА червоного або зеленого кольору світіння.

Вхідні аудіо-роз'єми: стандартні гнізда під штекер TRS 3.5 мм (Mini-Jack) для надійного екранованого підключення джерел звуку. Вихідний антенний роз'єм: високочастотний приладово-кабельний коаксіальний роз'єм типу BNC (або SMA-F для пайки на плату). Він має фіксований хвильовий опір 50 Ом, низький коефіцієнт стоячої хвилі ($K_{СХ} < 1.15$) на частотах до 1 ГГц та забезпечує повне екранування точки виходу ВЧ-енергії.

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		34

Таблиця 1.5 - Коаксіальний ВЧ-роз'єм типу SMA

Хвильовий опір	50 Ом
Робочий діапазон частот	0...18 ГГц
Мах робоча напруга	До 500 В
Опір ізолятора	Не менше 5000 МОм
КСВН (VSWR)	Менше 1.2-1.3

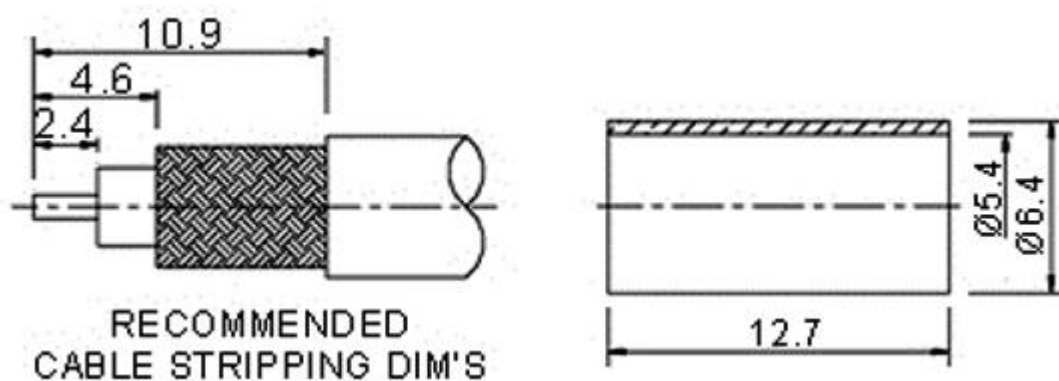


Рисунок 1.12 – Коаксіальний ВЧ-роз'єм типу SMA для монтажу на плату

Коаксіальні ВЧ-роз'єми типу SMA (SubMiniature A) для монтажу на плату- це компактні, надійні та високочастотні з'єднувачі, які є промисловим стандартом для передачі радіосигналів малої та середньої потужності.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

KMB 2.019.001 ПЗ

Арк.

35



Рисунок 1.12 – Світлодіод індикатора потужності

Таблиця 1.6 - Світлодіод індикатора потужності

Робоча напруга	1.7-3.4 В
Номінальний струм	10-20 мА
Кут розсіювання	15°...120°

1.5 Компоновка друкованого вузла пристрою

Розроблення друкованого вузла радіопередавача УКХ є завершальним і водночас одним із найвідповідальніших етапів конструкторського проєктування пристрою, оскільки саме від якості побудови топології друкованої плати залежить стабільність генерації, рівень паразитних випромінювань, температурна стійкість параметрів та загальна надійність роботи передавача. На відміну від низькочастотних пристроїв, у схемах УКХ-діапазону навіть незначні паразитні ємності, індуктивності з'єднувальних провідників або невдале взаємне розміщення компонентів можуть суттєво змінити режим роботи генератора, буферного каскаду чи підсилювача потужності. Саме тому під час розробки друкованого вузла особливу увагу приділено скороченню довжин високочастотних з'єднань, правильному

зонуванню плати, організації загального проводу та ізоляції чутливих каскадів один від одного.

Проектування принципової схеми, формування посадкових місць елементів, трасування провідників, побудова полігонів землі та підготовка комплекту конструкторської документації виконувались у середовищі Altium Designer, що дало можливість реалізувати друкований вузол з урахуванням вимог до високочастотної апаратури, а також забезпечити узгодженість між електричною схемою, друкованою платою та складальним кресленням.

1.5.1 Конструктивне виконання друкованої плати та вибір матеріалу основи

Для виготовлення друкованого вузла радіопередавача обрано двосторонню друковану плату на основі фольгованого склотекстоліту FR-4. Такий матеріал широко застосовується у радіоелектронній апаратурі завдяки достатній механічній міцності, добрим електроізоляційним властивостям, технологічності обробки та сумісності з традиційними способами монтажу радіоелементів. Товщина основи прийнята 1,5 мм, що забезпечує жорсткість конструкції та зручність встановлення друкованого вузла в корпус виробу. Товщина мідної фольги на провідних шарах становить 35 мкм, що є стандартним значенням для виготовлення побутової та промислової радіоапаратури малої та середньої потужності.

Застосування саме двосторонньої плати зумовлене специфікою високочастотного пристрою. Верхній шар використовується переважно для монтажу елементів і прокладання сигнальних та силових доріжок, тоді як нижній шар значною мірою відведено під суцільний або максимально неперервний полігон загального проводу. Таке рішення дозволяє зменшити імпеданс «землі», знизити рівень наведень між каскадами, покращити умови повернення високочастотних струмів та підвищити електромагнітну сумісність друкованого вузла. Крім того, наявність розвиненої площини

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		37

загального проводу позитивно впливає на стабільність роботи генераторної частини передавача, оскільки зменшує вплив випадкових паразитних зв'язків між елементами монтажу.

Габаритні розміри друкованої плати визначались з урахуванням кількості радіоелементів, необхідності розділення вузла на функціональні області, забезпечення монтажних зазорів та можливості подальшого розміщення плати в корпусі. Під час побудови топології в Altium Designer використовувалась координатна сітка, що забезпечувала точне позиціонування елементів та зручність ручного коригування трасування. Для отворів під вивідні компоненти, контактні площадки, перехідні отвори та монтажні отвори були задані типові значення діаметрів, узгоджені з можливостями виготовлення плати та габаритами застосованих радіоелементів.

Під час вибору конструктивного виконання друкованої плати також враховувались особливості роботи пристрою в УКХ-діапазоні. На цих частотах друкований монтаж уже не можна розглядати лише як сукупність ідеальних з'єднань між елементами. Будь-яка доріжка має власну індуктивність, між сусідніми провідниками виникає паразитна ємність, а замкнені контури струму можуть створювати небажане випромінювання. Саме тому при проектуванні плати ставилось завдання мінімізувати довжину з'єднань у радіочастотній частині, уникати гострих кутів трасування, скорочувати площу струмових контурів та забезпечити найкоротші шляхи підключення контурних елементів, транзисторів і розділових конденсаторів.

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		38

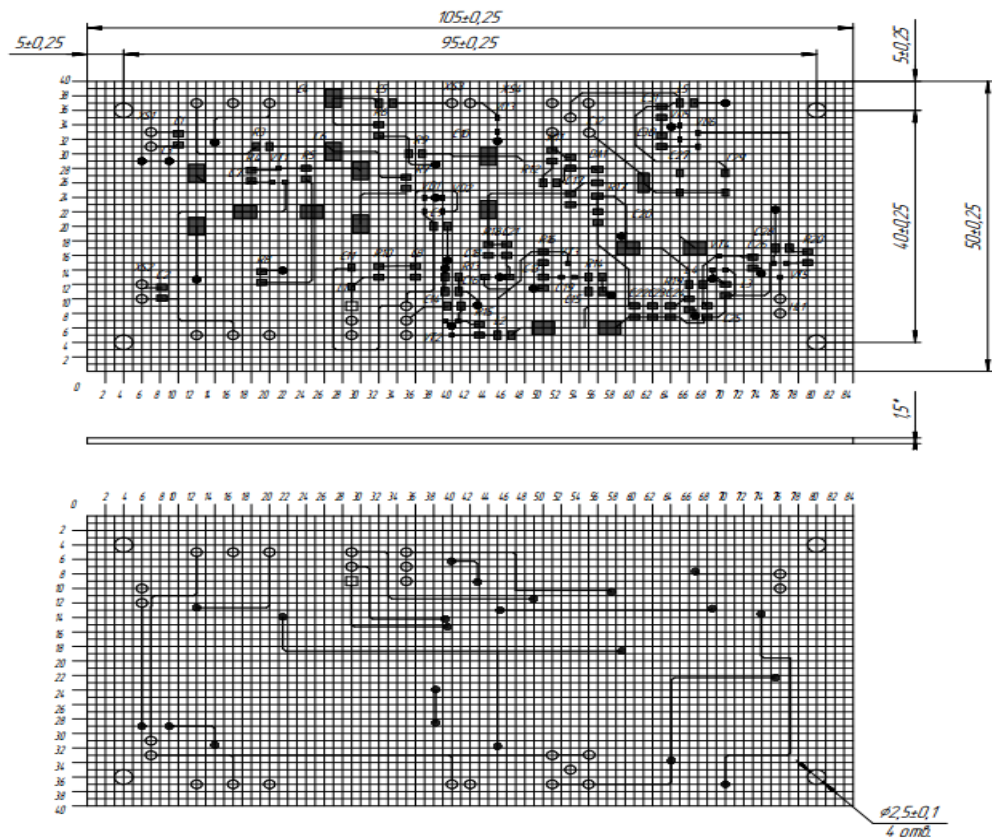


Рисунок 1.13 – Топологія провідників друкованої плати (верхній та нижній шари)

1.5.2 Побудова топології друкованої плати в Altium Designer

Після завершення розробки принципової схеми радіопередавача в Altium Designer було сформовано перелік елементів та виконано перенесення схеми до редактора друкованої плати. На цьому етапі для кожного компонента були призначені відповідні посадкові місця, після чого виконувалось компонування елементів на полі плати з урахуванням їх функціонального призначення та електричних зв'язків.

Початковий етап трасування полягав у визначенні оптимального розташування основних вузлів: генераторного каскаду, буферного підсилювача, вихідного каскаду підсилення потужності, блоку живлення, вхідного модуляційного кола, а також елементів підключення антени та

зовнішніх інтерфейсів. Після цього була сформована структура друкованої плати, в якій високочастотна частина передавача займає окрему ділянку з максимально щільним компонованням, тоді як допоміжні елементи живлення та низькочастотні ланцюги винесені за межі цієї області.

Трасування провідників виконувалось з урахуванням струмового навантаження та функціонального призначення кожного з'єднання. Для сигнальних ланцюгів керування та малострумівих ділянок застосовувались доріжки стандартної ширини, тоді як шини живлення та ланцюги, через які протікає струм вихідного каскаду, виконувались збільшеної ширини. Це дозволило знизити падіння напруги на провідниках, зменшити їх нагрівання та підвищити надійність роботи передавача в тривалому режимі.

Під час трасування у високочастотній частині плати використовувалось правило максимальної прямолінійності та мінімальної довжини з'єднань. Зокрема, елементи коливального контуру, підлаштувальні конденсатори, дроселі, а також виводи транзисторів генераторного та буферного каскадів розміщувались таким чином, щоб друковані з'єднання між ними були найкоротшими. У місцях, де це було можливо, провідники виконувались без переходів між шарами, оскільки кожний перехідний отвір у ВЧ-тракті є додатковим джерелом паразитної індуктивності.

Для нижнього шару плати у середовищі Altium Designer було сформовано полігон загального проводу. Його конфігурація вибиралась таким чином, щоб забезпечити безперервну опорну площину під основними каскадами передавача. У зонах проходження ВЧ-сигналів полігон загального проводу виконує відразу декілька функцій: формує низькоомний зворотний шлях для струмів, зменшує рівень взаємного впливу між каскадами та одночасно виступає екранувальною поверхнею. Для поліпшення з'єднання верхнього та нижнього шарів у вузлах підвищеної щільності монтажу передбачались перехідні отвори, які з'єднували локальні ділянки землі з основним полігоном.

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		40

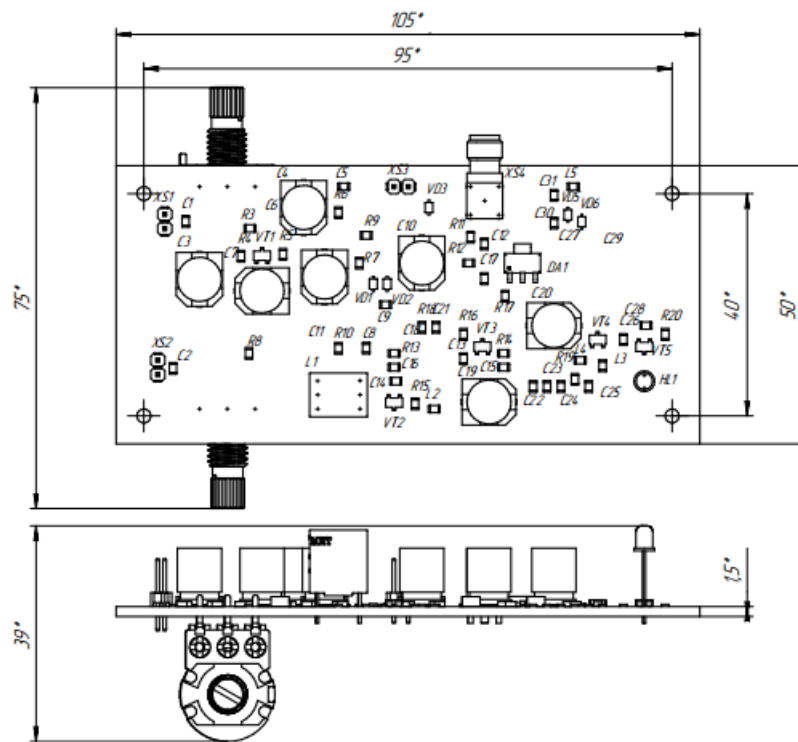


Рисунок 1.14 – Складальне креслення друкованого вузла (компоновка елементів)

1.5.3 Функціональне зонування друкованого вузла радіопередавача

Для забезпечення стійкої роботи радіопередавача та зменшення впливу паразитних зв'язків друкований вузол було поділено на кілька функціональних зон, кожна з яких відповідає окремому каскаду або групі електрично споріднених елементів.

Зона генератора високочастотних коливань.

У цій області розміщено активний елемент генератора, частотозадавальний контур, конденсатори зворотного зв'язку та елементи підстроювання частоти. Саме ця частина є найбільш чутливою до паразитних параметрів монтажу, тому всі елементи генератора встановлені максимально близько один до одного. Довжина доріжок між транзистором генератора, контурною котушкою та конденсаторами зведена до мінімуму. Такий підхід зменшує небажане розсіювання енергії, покращує стабільність частоти та знижує ризик самовільної зміни режиму генерації.

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		41

Зона буферного каскаду.

Буферний каскад призначений для розв'язки генератора та підсилювача потужності. Його основна функція полягає в тому, щоб мінімізувати вплив навантаження наступного каскаду на частотозадавальний генератор. Елементи буферного каскаду розташовано безпосередньо після генератора за напрямком проходження сигналу. Це дало змогу скоротити довжину ВЧ-з'єднань і зберегти логіку лінійного проходження сигналу по платі: від генератора — до буфера — далі до вихідного підсилювача та антенного кола.

Зона вихідного каскаду підсилення потужності.

Тут розміщено транзистор вихідного підсилювача, елементи його узгодження, дроселі живлення, фільтрувальні конденсатори та елементи зв'язку з антеною. Оскільки через цей каскад проходять найбільші струми у ВЧ-тракті, доріжки живлення та загального проводу в цій частині виконані більшої ширини. Крім того, вихідний каскад винесено ближче до краю друкованої плати, де розташовується антенний роз'єм або контакт для підключення антени. Таке рішення дає можливість скоротити довжину вихідної лінії, зменшити втрати потужності та уникнути додаткового випромінювання всередині плати.

Зона модуляції та низькочастотного сигналу.

Якщо в передавачі передбачено подачу звукового або керувального сигналу на модулюючий вхід, елементи цього кола доцільно розташовувати окремо від високочастотного тракту. У друкованому вузлі така зона винесена на віддалення від генератора і вихідного каскаду, що зменшує імовірність проникнення ВЧ-напруги в низькочастотні ланцюги. Для з'єднання модуляційного кола з активним елементом передавача застосовано найкоротший маршрут, при цьому сигнальні провідники прокладались на безпечній відстані від вихідних ВЧ-ланцюгів.

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		42

Зона живлення.

Вузол живлення друкованого передавача включає роз'єм подачі напруги, фільтрувальні електролітичні конденсатори, керамічні блокувальні ємності, а також, за потреби, стабілізуючі або захисні елементи. Ця частина плати розташована окремо від високочастотної зони, щоб імпульсні струми та пульсації джерела живлення не впливали на роботу генератора. У безпосередній близькості до транзисторних каскадів встановлено локальні розв'язувальні конденсатори, які зменшують проникнення ВЧ-складової в шину живлення та запобігають самозбудженню каскадів через спільний опір джерела живлення.

1.5.4 Забезпечення електромагнітної сумісності та зменшення паразитних зв'язків

Для пристроїв УКХ-діапазону питання електромагнітної сумісності є принципово важливим, оскільки неправильне компонування плати може спричинити нестабільність частоти, появу паразитної модуляції, зниження ККД вихідного каскаду та зростання рівня побічних випромінювань. Саме тому при проектуванні друкованого вузла було вжито низку конструктивних заходів, спрямованих на покращення електромагнітних характеристик.

Перш за все, всі високочастотні каскади розташовані у послідовності, що відповідає напрямку проходження сигналу. Такий підхід дозволяє уникнути перехрещення ВЧ-з'єднань, скоротити довжину провідників та мінімізувати можливість паразитного зворотного зв'язку між виходом і входом передавача. Генераторний каскад віддалено від вихідного підсилювача настільки, наскільки це дозволяють габарити плати, але без порушення коротких з'єднань у ВЧ-тракті.

По-друге, під елементами високочастотної частини передбачено суцільну опорну площину загального проводу. Вона не тільки знижує рівень наведень, а й забезпечує стабільні електричні умови для роботи контурів та

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		43

транзисторів. Особливу увагу приділено підключенню корпусів екранів, загальних точок конденсаторів та дроселів до землі: такі з'єднання виконувались максимально короткими.

По-третє, у платі уникались вузькі довгі «земляні» доріжки, які могли б працювати як небажані індуктивні елементи. Натомість використовувались розширені ділянки провідного шару та локальні підключення до полігону. Всі блокувальні конденсатори живлення розміщувались безпосередньо біля точок підключення живлення активних елементів, що дозволяє замкнути високочастотні струми у межах мінімального контуру.

Окремо враховувалась необхідність зниження теплового впливу силових елементів на частотодавальні кола. Якщо у передавачі застосовується вихідний транзистор з помітним розсіюванням потужності, його доцільно розміщувати таким чином, щоб він не нагрівав контур генератора та підлаштувальні елементи. Для цього між генераторною частиною та вихідним каскадом передбачався конструктивний інтервал, а силові елементи, за можливості, зміщувались ближче до краю плати або до місця потенційного встановлення радіатора.

1.5.5 Особливості розміщення високочастотних елементів

Оскільки в схемі УКХ-передавача застосовуються котушки індуктивності, контурні конденсатори, дроселі та активні елементи, що працюють на частотах ультракороткохвильового діапазону, під час компонування було враховано ряд специфічних вимог.

Котушки коливальних контурів та елементи узгоджувальних ланцюгів розміщувались таким чином, щоб зменшити їх взаємний магнітний вплив. За наявності кількох індуктивностей їх осі доцільно орієнтувати взаємно перпендикулярно або розносити на достатню відстань, якщо це допускає площа плати. Це знижує паразитний індуктивний зв'язок і запобігає небажаному «підтягуванню» частоти одного каскаду іншим.

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		44

Підлаштувальні конденсатори та контурні елементи встановлювались у місцях, доступних для налагодження, однак без надмірного збільшення довжини провідників. Якщо конструкція передавача передбачає екранування окремих вузлів, у друкованій платі доцільно одразу передбачати контактні ділянки для припаювання металевих екранів або перегородок. Такий підхід особливо актуальний для генераторного каскаду та вихідного підсилювача, які можуть взаємно впливати один на одного через просторове електромагнітне поле.

Антенний вихід розташовано на краю плати, що відповідає загальноприйнятим правилам побудови радіопередавальної апаратури. Вихідна лінія від кола узгодження до антенного роз'єму виконана максимально короткою та без зайвих вигинів. Це дозволяє зменшити втрати енергії, підвищити ефективність передачі потужності в антену та знизити чутливість вихідного тракту до зовнішніх наведень.

1.5.6 Технологія монтажу друкованого вузла

Монтаж елементів радіопередавача на друковану плату передбачає використання змішаної технології, оскільки у складі вузла можуть одночасно застосовуватись як традиційні вивідні компоненти, так і елементи для поверхневого монтажу. Конкретний склад технологічних операцій залежить від обраної елементної бази, однак загальна послідовність виготовлення друкованого вузла залишається незмінною.

На першому етапі виконується виготовлення друкованої плати за топологією, сформованою в Altium Designer, після чого проводиться візуальний контроль геометрії провідників, отворів та контактних площадок. Далі здійснюється підготовка плати до монтажу: очищення поверхні, перевірка металізації отворів та цілісності провідних доріжок.

У разі використання SMD-елементів їх встановлення проводиться першочергово. На контактні площадки наноситься паяльна паста, після чого

					KMB 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		45

компоненти позиціонуються відповідно до складального креслення. Після встановлення елементів виконується термічне паяння згідно з температурним профілем, рекомендованим для обраного припою. Для високочастотної частини така технологія є доцільною, оскільки дозволяє зменшити довжину виводів компонентів і, відповідно, знизити паразитні індуктивності.

Після завершення поверхневого монтажу встановлюються вивідні елементи: транзистори в корпусах з выводами, електролітичні конденсатори, роз'єми, підлаштувальні елементи, дроселі, клемні колодки та інші компоненти, конструкція яких передбачає наскрізний монтаж. Виводи компонентів пропускаються через металізовані отвори, після чого виконуються фіксація та пайка з боку друкованих провідників. Для забезпечення механічної надійності та якості електричного контакту довжина виступаючих виводів після обрізання не повинна перевищувати допустимих значень, визначених вимогами монтажу.

Особлива увага приділяється монтажу котушок індуктивності та підлаштувальних елементів високочастотного тракту. Їх положення має відповідати проектному, оскільки зміна орієнтації котушки або збільшення довжини її виводів може вплинути на індуктивність та взаємний зв'язок із сусідніми елементами. Саме тому під час складання друкованого вузла ВЧ-компоненти встановлюються з дотриманням заданих монтажних відстаней, а пайка виконується акуратно, без утворення надлишкових напливів припою.

Технічні вимоги:

Крок координатної сітки- 1.25 мм

Клас точності-3

Мінімальна ширина друкованих провідників- 0.7 мм

Мінімальна відстань між друкованими провідниками- 0.3 мм

Діаметр отвору- 0.7 мм

Діаметр конт. площадки- 1.5 мм

Кількість отворів- 29

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		46

1.6 Висновок до розділу 1

У першому розділі дипломної роботи було проведено повний цикл схемотехнічного та конструкторського проектування апаратної частини радіопередавача УКХ . На основі аналізу технічного завдання та сучасних методів побудови радіоелектронної апаратури було прийнято ряд оптимальних інженерних рішень.

В результаті виконаного проектування друкованого вузла радіопередавача УКХ у середовищі Altium Designer було сформовано топологію двосторонньої друкованої плати, яка враховує як електричні особливості високочастотного пристрою, так і технологічні вимоги до його виготовлення. Під час компонування елементів основна увага приділялась мінімізації довжин ВЧ-з'єднань, функціональному зонуванню генераторного, буферного та вихідного каскадів, правильній організації полігону загального проводу, а також винесенню антенного виходу до краю плати. Запропоновані конструктивні рішення забезпечують зменшення паразитних зв'язків, підвищення стабільності частоти, покращення електромагнітної сумісності та створюють передумови для надійної роботи передавача в робочому діапазоні частот. Розроблений друкований вузол є технологічним у виготовленні, придатним до монтажу стандартними методами та може бути використаний як основа для подальшого налагодження і експлуатації УКХ-передавача.

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		47

2 Спеціальна частина (САПР)

2.1 Обґрунтування вибору програмного середовища САПР

Для проектування радіопередавача УКХ діапазону потужністю 1 Вт було обрано систему автоматизованого проектування САПР Altium Designer .

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

Однією з головних переваг програми є можливість створення як індивідуальних, так і універсальних бібліотек компонентів, які можна багаторазово використовувати в різних проектах. Інтерфейс користувача підтримує роботу з шаблонами, модулями, стандартними типорозмірами посадкових місць та умовними графічними позначеннями згідно з нормами ЄСКД. Для даного проекту ключовими факторами вибору саме Altium Designer стали:

- Гнучкі інструменти для трасування друкованих плат, що дають змогу оптимально розташувати компоненти підсилювача, забезпечити належні зазори та уникнути перехресних завад сигналу;
- Розвинена система бібліотек електронних компонентів, що спростила процес пошуку та інтеграції обраних елементів;

Щоб виконати графічну та схемотехнічну частину цього дипломного проекту було обрано пакет програм DipTrace. Мій вибір обґрунтований тим що, в цьому програмному пакеті інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, також велика наявність вбудованих бібліотек компонентів та повна підтримка стандартів конструювання. Тож комплекс DipTrace має дуже вагомий інструмент для виконання трасування друкованих плат (PCB Layout), який

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		48

чудово справляється з розведенням як цифрових, так і високочастотних аналогових кіл.

2.2 Етапи проектування друкованої плати в САПР DipTrace

Процес розробки друкованої плати радіопередавача УКХ у середовищі DipTrace складався з трьох послідовних етапів, кожен з цих трьох етапів є критично важливим для забезпечення правильної роботи майбутнього пристрою.

Етап 1. Передача списку з'єднань та розміщення компонентів

Коли було створено електрично принципову схеми у модулі Schematic, у модуль PCB Layout перелік з'єднань (Netlist) був перенесений автоматично. Тож на данному етапі усі компоненти є представленими у вигляді посадкових місць (Footprints) із відповідними контактними площадками для кожного елемента які з'єднані тонкими лініями зв'язків (Ratlines).

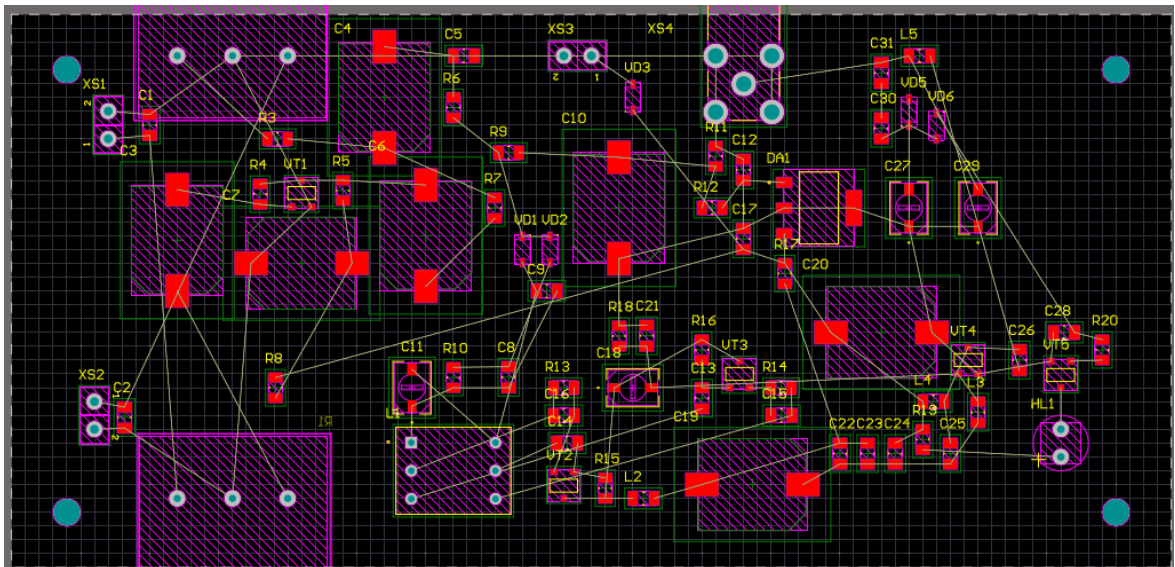


Рисунок 2.1 – Розміщення компонентів та відображення ліній електричних зв'язків (Ratlines) у DipTrace

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

Етап 2. Трасування провідників (Routing)

Після того як компоновка була затверджена розпочалося трасування провідників. Даний процес є доволі складним, оскільки плата є двосторонньою то трасування виконувалося на двох шарах це — верхній (Top), та нижній шар (Bottom).

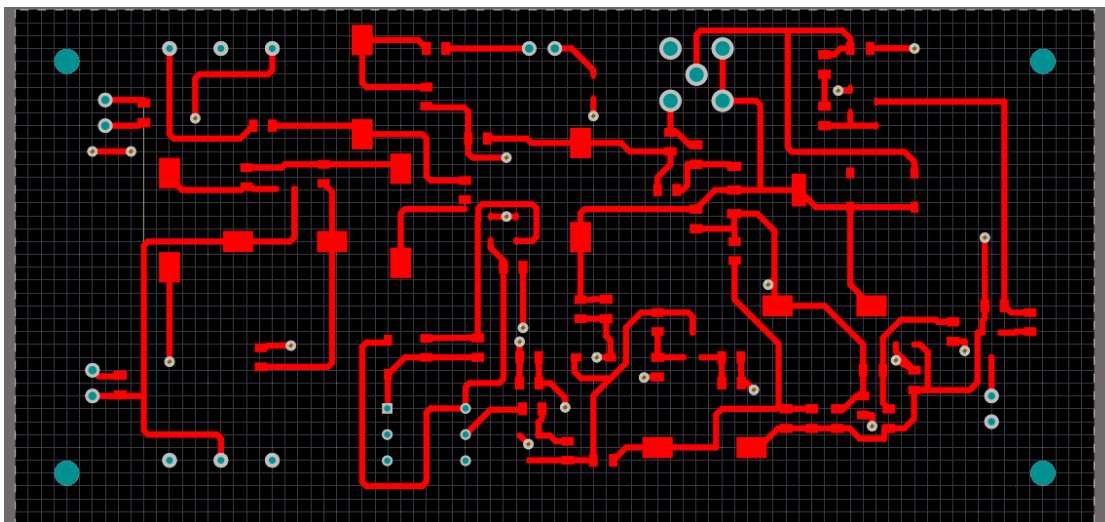


Рисунок 2.2 – Топологія провідників верхнього шару (Top Layer)

Після того як відбулося розведення радіотракту, виконалося трасування цифрових ліній та кіл живлення з активним використанням перехідних отворів (Vias) для переходу між шарами.

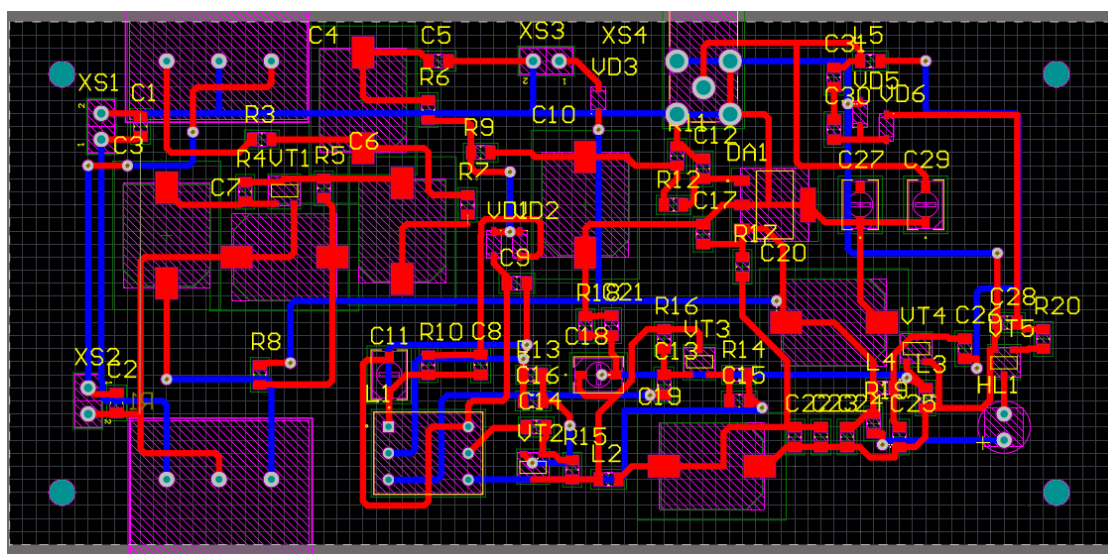


Рисунок 2.3 – Загальний вигляд двостороннього трасування друкованої плати

									Арк.
									50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	КМВ 2.019.001 ПЗ				

Етап 3. 3D-візуалізація друкованого вузла

Після завершення трасування та перевірки плати на наявність помилок (DRC-контроль), було згенеровано тривимірну модель розробленого пристрою для візуалізації. Це одна з найбільших переваг DipTrace, що в ньому є вбудований модуль 3D-моделювання. Тому що, після створення 3D-моделі можна переконатися у масо-габаритних параметрах плати, переконатися у відсутності механічних колізій між компонентами ну а також у тому що спроектована плата зможе без проблем поміститися у корпус.

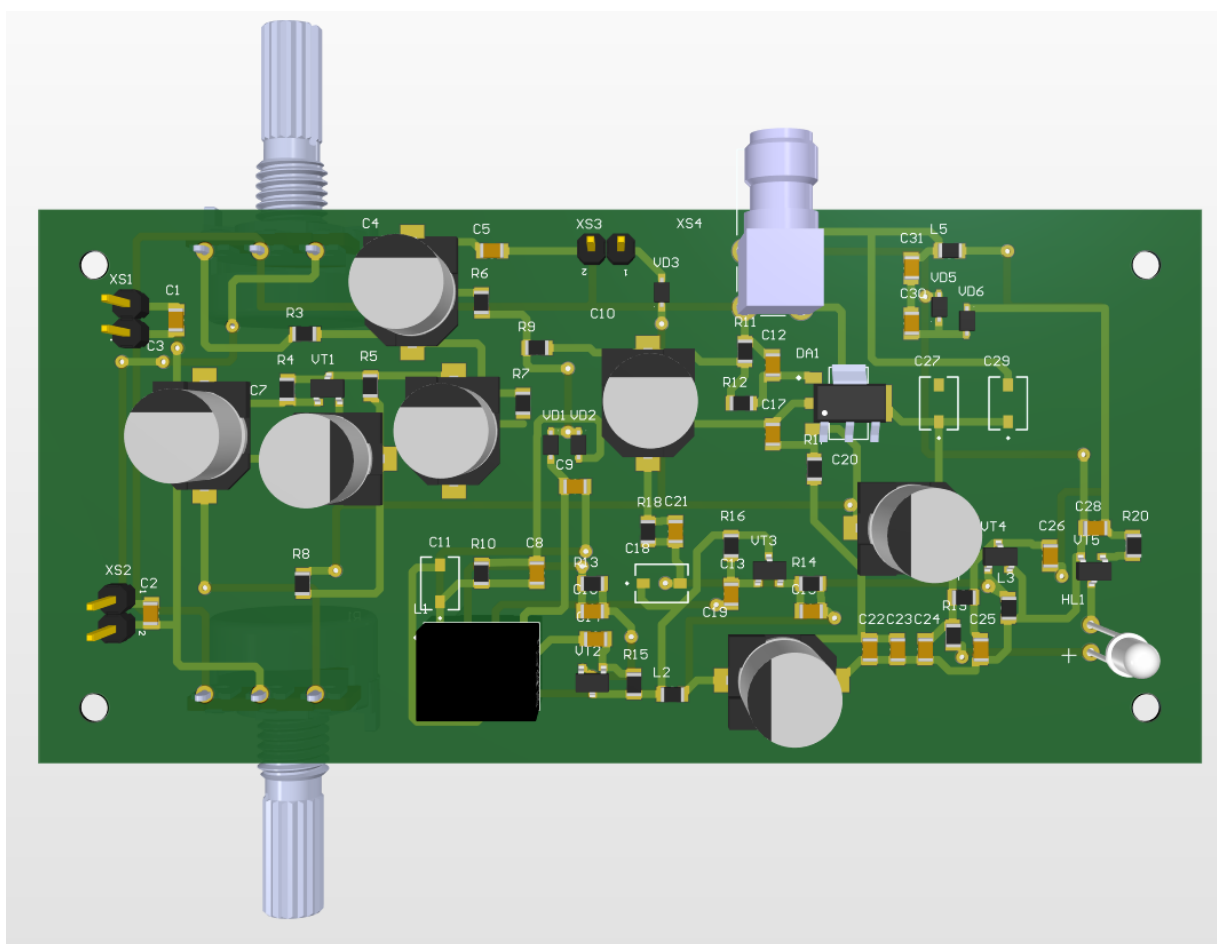


Рисунок 2.4 – Тривимірна (3D) модель спроектованого радіопередавача УКХ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

KMB 2.019.001 ПЗ

Арк.

51

2.3 Висновки до розділу 2

В цьому розділі дипломної роботи було розглянуто використання програмного середовища САПР Altium Designer для проектування друкованої плати радіопередавача УКХ. Тож завдяки застосуванню Altium Designer було забезпечено ефективне створення схеми, налаштування правил трасування та оптимізацію розміщення компонентів. Також було виконано перевірки на помилки за допомогою функцій ERC, DRC та LRC, що забезпечило високу точність і надійність проекту. Обраний матеріал для плати двосторонній фольгований склотекстоліт FR-4 відповідає вимогам до технологічних та електричних характеристик пристрою. Тож в результаті було отримано повний комплект конструкторської документації, який готовий до подальшого виробництва.

Сучасне програмне середовище САПР Altium Designer дійсно хорошим вибором засобу проектування. Робота з цією програмою не тільки допомогла уникнути інженерних помилок на етапі проектування пристрою але і дозволило оптимізувати процес розробки.

На початку було проведене обґрунтування вибору середовища проектування, де було доведено ефективність DipTrace завдяки наявному в ньому потужного автотрасувальника та наявності інтегрованих бібліотек компонентів. Було здійснено трасування друкованого вузла а також була успішно розроблена топологія двосторонньої друкованої плати із дотриманням правил електромагнітної сумісності. Також за допомогою вбудованого модуля тривимірної візуалізації була створена 3D-модель проектного радіопередавача УКХ, за допомогою якої можна було перевірити відсутність механічних колізій між елементами. Після повної готовності проекту була підготовлена виробнича документація.

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		52

Тож таким чином, завдання по автоматизованому проектуванні конструкції радіопередавача УКХ виконано в повному обсязі.

					<i>КМВ 2.019.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		53

3 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

3.1 Забезпечення евакуації персоналу з об'єктів телекомунікаційної інфраструктури

Забезпечення безпеки персоналу на об'єктах телекомунікаційної інфраструктури, до яких належать радіовузли, прийомо-передавальні центри, серверні кімнати та лабораторії з обслуговування радіоелектронної апаратури (РЕА), є пріоритетним завданням охорони праці. Специфіка таких об'єктів полягає у високій концентрації електронного обладнання, наявності джерел високої електричної напруги, потужних високочастотних (ВЧ) випромінювань, а також акумуляторних батарей резервного живлення, що виділяють хімічно агресивні гази. У випадку виникнення надзвичайних ситуацій (НС), таких як пожежа, задимлення, коротке замикання з виділенням токсичних продуктів горіння полімерів (ізоляції кабелів) або загроза руйнування будівельних конструкцій, першочерговою умовою збереження життя людей є чітко організована, своєчасна та безперешкодна евакуація персоналу.

Евакуація — це організований процес самостійного або примусового руху людей з зони можливого впливу небезпечних факторів НС до безпечного місця. На об'єктах радіотехнічного профілю цей процес регламентується ДСТУ ISO 23601:2019 «Пожежна безпека. Знаки безпеки. Плани евакуації» та НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». Основним документом, що визначає логістику руху персоналу під час аварії, є План евакуації. Він складається з графічної частини (схематичний поповерховий план із зеленими стрілками основних шляхів, позначенням вогнегасників, аптечок та виходів) та текстової частини (інструкція дій персоналу, порядок сповіщення, аварійне відключення ВЧ каскадів та вентиляції). Плани евакуації вивішуються на видних місцях на висоті 1,5 м від рівня підлоги.

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		54

Вимоги до шляхів евакуації та евакуаційних виходів. Шляхи евакуації (коридори, проходи, тамбури, сходові марші) повинні забезпечувати швидкий рух людей без утворення зустрічних потоків. Мінімальна ширина евакуаційних коридорів має становити не менше 1,2 м, а дверей евакуаційних виходів — не менше 0,8 м. Висота проходів на шляхах евакуації повинна бути не менше 2,0 м. Категорично забороняється захаращувати евакуаційні проходи виробничим обладнанням чи тарою, влаштовувати гвинтові сходи, а також облицьовувати стіни евакуаційних коридорів горючими матеріалами (пластиком, деревом), оскільки при їх горінні виділяється велика кількість токсичного диму. Усі двері евакуаційних виходів повинні відчинятися вільно, у напрямку виходу з будівлі за допомогою засувки типу «антипаніка» без ключів.

Технічні системи забезпечення евакуації. Для успішної евакуації об'єкти телекомунікацій обов'язково обладнуються інженерно-технічними системами безпеки:

Система сповіщення про пожежу та управління евакуацією (СОУЕ) — звукові сирени або мовленнєва трансляція голосу диктора.

Евакуаційне (аварійне) освітлення — живиться від незалежних акумуляторів і включається автоматично при знеструмленні основної мережі, підсвічуючи світлові покажчики «ВИХІД» вздовж коридорів.

Система протидимного захисту — примусова вентиляція для створення надлишкового тиску повітря у сходових клітках, що блокує проникнення чадного газу.

Організаційні заходи. Усі працівники об'єкта зв'язку при прийомі на роботу проходять вступний, первинний, а згодом — повторні (не рідше одного разу на півроку) інструктажі з пожежної безпеки та охорони праці. Не менше двох разів на рік на підприємстві проводяться практичні тренування з евакуації. Метою цих тренувань є відпрацювання чітких навичок поведінки в умовах стресу, перевірка працездатності систем сповіщення, контроль часу

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		55

евакуації та недопущення виникнення паніки. Після завершення евакуації відповідальні особи проводять перекличку персоналу у визначеному безпечному місці (на майданчику перед будівлею) для контролю повноти виведення людей із небезпечної зони.

3.2 Аналіз впливу електромагнітного випромінювання на персонал і населення

У процесі експлуатації, налаштування та технічного обслуговування радіопередавальних пристроїв ультракороткохвильового (УКХ) діапазону одним із провідних шкідливих та небезпечних виробничих факторів є електромагнітне випромінювання радіочастотного діапазону (ЕМВ РЧ). Для проєктованого радіопередавача потужністю 1 Вт, що працює у комерційному FM-діапазоні частот 87.5–108 МГц, аналіз електромагнітної безпеки є обов'язковою умовою проєктування. Робота високочастотних (ВЧ) каскадів, антено-фідерних пристроїв та випромінювальних елементів створює навколо обладнання електромагнітне поле (ЕМП), яке за умови перевищення гранично допустимих рівнів (ГДР) здатне чинити негативний біологічний вплив як на інженерно-технічний персонал, так і на цивільне населення, що проживає поблизу об'єкта телекомунікаційної інфраструктури.

В Україні правове регулювання, контроль та нормування рівнів ЕМП здійснюються відповідно до Закону України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» та вимог Наказу Міністерства охорони здоров'я України № 239 від 01.08.1996 р. «Про затвердження Державних санітарних правил і норм затисту населення від впливу електромагнітних випромінювань» (із відповідними змінами та доповненнями). Згідно з цими нормами, для частотного діапазону 30 МГц – 300 МГц (куди повністю входить робоча частота нашого передавача ~100 МГц) основним нормованим параметром для умов виробничого опромінення

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		56

(персонал) та комунального опромінення (населення) є напруженість електричного поля (E , В/м), напруженість магнітного поля (H , А/м), а також щільність потоку енергії (ЩПЕ, S , Вт/м² або мкВт/см²) у ближній та дальній зонах випромінювання відповідно.

Медико-біологічний аспект впливу ЕМВ на організм людини.

Біофізичний механізм взаємодії УКХ радіохвиль з живими тканинами базується на двох основних ефектах: тепловому (термічному) та специфічному (нетермічному/інформаційному).

Тепловий ефект виникає внаслідок поглинання енергії ВЧ-поля електролітами та полярними молекулами води, що містяться в організмі. Під дією високочастотного поля молекули починають коливатися з високою частотою, що призводить до міжмолекулярного тертя та локального підвищення температури тканин. Особливо вразливими є органи зі слабо розвиненою судинною системою та недостатньою терморегуляцією: кришталик ока (що може призвести до його помутніння — катаракти), паренхіматозні органи, мозок та статеві залози.

Нетермічний ефект виявляється при тривалому хронічному впливі ЕМП низької інтенсивності, яка не викликає явного нагріву. Він зумовлений деструктивним впливом на електричні потенціали клітинних мембран та нервових волокон. Тривале перебування у зоні підвищеного ЕМВ РЧ викликає розвиток т.зв. «радіохвильової хвороби» або астенічного синдрому. Персонал скаржиться на швидку втомлюваність, головний біль, порушення сну, дратівливість, погіршення пам'яті, гіпотонію або гіпертонію. Спостерігаються виражені порушення у роботі центральної нервової, серцево-судинної, ендокринної та імунної систем.

Оцінка та розрахунок параметрів безпеки для розробляемого пристрою.

При проектуванні радіопередавача Veronica вихідною потужністю $P = 1$ Вт необхідно чітко розмежувати умови роботи персоналу біля відкритого корпусу пристрою під час його налагодження та умови перебування

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		57

населення у зоні дії антени. Оскільки потужність 1 Вт є відносно малою (на відміну від кіловатних телецентрів), зона безпосередньої небезпеки є обмеженою, проте її інженерний розрахунок є обов'язковим для підтвердження безпеки.

Для оцінки межі безпечної зони (санітарно-захисної зони) антени у дальній зоні випромінювання використовується аналітична залежність для щільності потоку енергії (S):

$$S = (P \cdot G) / (4\pi \cdot R^2) \quad (3.1)$$

де P — вихідна потужність передавача (1 Вт); G — коефіцієнт підсилення антени відносно ізотропного випромінювача (для найпростішого півхвильового диполя $G=1.64$); R — відстань від геометричного центру антени, м.

Враховуючи чинні санітарні норми України для населення у діапазоні 100 МГц, гранично допустимий рівень (ГДР) напруженості електричного поля становить $E_{гдр} = 5$ В/м (що еквівалентно щільності потоку енергії $S_{гдр} = 6.6$ мкВт/см² або 0.066 Вт/м²). Визначимо мінімальну безпечну відстань (Rбезп) від антени до житлової забудови:

$$\begin{aligned} R_{безп} &= \sqrt{(P \cdot G) / (4\pi \cdot S_{гдр})} = \\ &= \sqrt{(1 \cdot 1.64) / (4\pi \cdot 0.066)} = \\ &= \sqrt{1.64 / 0.829} \approx 1.4 \text{ метра} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Таким чином, інженерний розрахунок показує, що вже на відстані понад 1.4–1.5 метра від випромінювальної антени передавача потужністю 1 Вт рівень електромагнітного фону повністю знижується до значень, які є абсолютно безпечними для постійного перебування цивільного населення.

Заходи та засоби захисту персоналу від впливу ЕМВ.

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		58

Для забезпечення безпеки інженерно-технічного персоналу, який здійснює монтаж, ремонт та налаштування плати радіопередавача у лабораторії, застосовується комплекс організаційних, технічних та лікувально-профілактичних заходів:

Технічні заходи (екранування). Оскільки робота ведеться безпосередньо біля плати, де працюють високочастотні генератори (VT2, VT3) та підсилювач потужності (VT4), головним захисним інженерним рішенням є конструктивне екранування вузлів. Як зазначено в технічному описі схеми Veronica, задаючий генератор обов'язково повинен бути поміщений у замкнений металевий (латунний або мідний) екран. Сам корпус радіопередавача має бути виконаний з металу (алюміній, сталь) та надійно заземлений. Металевий корпус повністю поглинає та відбиває високочастотну енергію, локалізуючи ЕМП всередині пристрою та знижуючи рівень випромінювання на робочому місці оператора до фонових значень

Узгодження навантаження. Категорично забороняється вмикати та налаштовувати радіопередавач без підключеного антено-фідерного тракту або еквівалента антени (екранованого безіндуктивного резистора опором 50 Ом відповідної потужності). Увімкнення передавача «без навантаження» призводить не лише до виходу з ладу вихідного транзистора КТ907 (VT4), а й до того, що вся ВЧ-енергія перевипромінюється безпосередньо з друкованих провідників плати в об'єм робочої кімнати, створюючи критичні рівні опромінення рук та обличчя регулювальника.

Організаційні заходи. Обмеження часу перебування персоналу в зоні дії ЕМП (захист часом); раціональне розміщення вимірювальних приладів (осцилографа, частотоміра, спектроаналізатора) відносно випромінювальних вузлів; допуск до роботи осіб віком не молодше 18 років, які не мають медичних протипоказань та пройшли відповідне навчання та інструктаж з техніки безпеки при роботі з РЕА та ВЧ-установками.

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		59

Коллективний та індивідуальний захист. Використання спеціальних поглиначів потужності, а за необхідності проведення робіт у зонах із високим рівнем поля — застосування засобів індивідуального захисту (ЗИЗ), таких як екрануючі халати, комбінезони з металізованої тканини та спеціальні захисні окуляри з діоксид-оловяним покриттям скла, що відбиває ВЧ-енергію.

3.3 Висновки до розділу 3

У процесі проектування радіопередавача УКХ діапазону потужністю 1 Вт у повному обсязі враховано аспекти безпеки життєдіяльності та охорони праці. Особливу увагу приділено специфіці роботи високочастотного (ВЧ) обладнання, забезпеченню електробезпеки та захисту обслуговуючого персоналу й населення від впливу електромагнітного поля.

На основі проведеного аналізу обґрунтовано організаційно-технічні заходи щодо забезпечення безпечної та оперативної евакуації персоналу з об'єктів телекомунікаційної інфраструктури відповідно до вимог ДСТУ ISO 23601:2019 та НАПБ А.01.001-2014. Визначено нормативні параметри евакуаційних шляхів і виходів, а також алгоритми взаємодії інженерних систем безпеки, включаючи мовленнєве сповіщення (COUE), аварійне акумуляторне освітлення та примусову протидимну вентиляцію. Паралельно проведено медико-біологічний аналіз впливу електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону (~100 МГц) на організм людини, в ході якого детально розглянуто характерні прояви термічного ефекту локального нагріву тканин та хронічного нетермічного впливу поля на центральну нервову, серцево-судинну та імунну системи працівників.

З метою мінімізації виявлених ризиків здійснено інженерну оцінку меж санітарно-захисної зони антени передавача та встановлено радіус абсолютно безпечного перебування людей, на межі якого напруженість поля повністю відповідає екологічним стандартам і вимогам Наказу МОЗ України № 239.

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		60

Крім того, розроблено ефективні методи конструктивного захисту регулювальника під час лабораторного налаштування і ремонту пристрою. Доведено необхідність суцільного екранування каскадів двотактного задаючого генератора за допомогою замкненого металевго екрана, надійного заземлення загального алюмінієвого корпусу, а також впроваджено жорстку інженерну вимогу щодо заборони активації ВЧ-тракту без підключеного узгодженого навантаження — екранованого безіндуктивного еквівалента антени на 50 Ом.

					<i>КМВ 2.019.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		61

Висновки

Результатом виконання кваліфікаційної роботи стала комплексна розробка та конструювання малопотужного радіомовного передавача УКХ діапазону потужністю 1 Вт, орієнтованого на роботу в цивільних телекомунікаційних системах зв'язку. Процес проектування охопив усі ключові стадії інженерної реалізації радіоелектронного засобу — від аналізу вихідних теоретичних положень і розрахунку принципової електричної схеми до формування просторової топології та генерації технологічних файлів для виробництва. Створена апаратна конфігурація пристрою, заснована на поєднанні чутливого вхідного НЧ-каскаду та унікального двотактного автогенератора з ЧМ-модулятором, забезпечує високу якість формування та трансляції аудіосигналу в ефір.

На основі детально проведених електрорадіорозрахунків режимів роботи транзисторів за постійним та змінним струмом було обґрунтовано вибір надійної компонентної бази. Застосування високочастотного генераторного транзистора 2N4427 у фінальному каскаді та малосигнальних транзисторів серій BF240 і BC547 у поєднанні з високодобротними безкаркасними котушками та термостабільними конденсаторами групи C0G дозволило досягти номінальної потужності 1 Вт і високої тривалої стабільності частоти носія. Належну увагу в проекті приділено інженерно-технічним рішенням з охорони праці та цивільного захисту, що гарантує пожежну безпеку пристрою, захист обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом та мінімізацію впливу високочастотного електромагнітного випромінювання на навколишнє середовище.

Завдання просторово-конструктивного компоновання плати вирішувалося за допомогою професійного комп'ютерного середовища автоматизованого проектування Altium Designer. Сформована топологія друкованого вузла повністю задовольняє жорсткі вимоги електромагнітної

					<i>KMB 2.019.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		62

сумісності (ЕМС): за рахунок просторового розділення низькочастотних та високочастотних каскадів, оптимізації довжини радіочастотних доріжок та інтеграції багатоланкового вихідного фільтра Чебишева вдалося суттєво знизити рівень позасмугових випромінювань і гармонік. Етап тривимірної 3D-візуалізації розробленого модуля підтвердив коректність посадкових місць елементів, дозволив точно розрахувати габарити радіатора охолодження та зафіксував повну відсутність монтажних колізій.

Отримані інженерні результати свідчать, що спроектований радіопередавач УКХ діапазону має високі техніко-економічні та експлуатаційні показники, повністю відповідає критеріям вихідного технічного завдання і нормам спектральної чистоти та є повністю готовим до практичного виготовлення та використання у телекомунікаційній галузі.

					<i>КМВ 2.019.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		63

Список використаних джерел

1. Бакалов В. П., Ігнатов В. О., Крук Б. І. Основи теорії кіл та радіотехнічних сигналів : підручник для студ. вищих навч. закл. Київ : Техніка, 2013. 412 с.
2. Гордієнко С. І., Пазюра О. О. Радіопередавальні пристрої: навчальний посібник. Київ: Національний авіаційний університет, 2019. 284с.
3. Гундяк М. В., Токар М. І. Проектування пристроїв генерування та формування сигналів: навч. посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. 320 с.
4. Проектування радіомовних та телевізійних систем УКХ діапазону : метод. вказівки до виконання курсового та дипломного проектування / уклад.: Ю. Ф. Зінковський, О. М. Вовк. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 64 с.
5. Макаренко С. І., Кирик В. В. Високочастотні вузли та антено-фідерні пристрої телекомунікаційних систем: підручник. Харків: ХНУРЕ, 2021. 344 с.
6. Методичні вказівки до дипломного проектування для студентів радіотехнічних спеціальностей усіх форм навчання / уклад.: М. В. Прихода, І. В. Семенина. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2022. 48 с.
7. Ротгаммель К., Крісчке А. Антени. Том 1 : переклад з нім. Київ : Радіоаматор, 2011. 416 с.
8. Сушко І. О. Електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів : навч. посібник. Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2018. 192 с.
9. Писаренко В. Д. Проектування друкованих плат у середовищі Altium Designer : навч. посібник. Житомир : ЖДТУ, 2020. 256 с.
10. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. [Чинний від 2017-07-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 29 с.

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		64

11. ДСН 3.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних випромінювань. [Чинні від 2003-01-10]. Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 2002. 34 с.

12. Закон України «Про електронні комунікації» від 16.12.2020 р. № 1089-IX // Відомості Верховної Ради України. 2021. № 23. Ст. 199.

13. 2N4427 / RF Power Transistor (NPN Silicon, 175 MHz, 1.0 W) : Datasheet / Central Semiconductor Corp. Hauppauge, NY, 2018. 2 p.

14. BF240 / NPN Silicon RF Transistor : Datasheet / NXP Semiconductors. Eindhoven, 2015. 6 p.

15. KB109 / Varactor Diode Matrix for FM Modulation : Technical Specifications / Semiconductor Devices Handbook. 2016. 4 p.

16. Ніколаєв В. Г., Сідоров О. В. Електродинаміка та поширення радіохвиль : підручник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. 216 с. (Підійде для обґрунтування роботи антено-фідерного тракту та узгодження передавача).

17. Федоренко В. М. Комп'ютерне моделювання високочастотних пристроїв телекомунікацій : навч. посібник. Київ : Політехніка, 2020. 184 с. (Джерело підтверджує використання програмного забезпечення для аналізу радіотехнічних схем).

18. Якименко Ю. І., Терещенко Ю. М. Конструювання та технологія мікроелектронних пристроїв : підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2014. 392 с. (Допоможе в розділі проектування друкованої плати та вибору конструкційних матеріалів).

19. Кочерга В. П., Ткачук Р. А. Цивільний захист та безпека життєдіяльності в умовах функціонування об'єктів зв'язку : навч. посібник. Харків : ХНУРЕ, 2019. 140 с. (Необхідне джерело для обов'язкового дипломного розділу з цивільного захисту та евакуації персоналу).

20. BC547 / NPN Epitaxial Silicon Transistor : Datasheet / Fairchild Semiconductor. South Portland, ME, 2014. 5 p. (Офіційний даташит на

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		65

транзистор НЧ-підсилювача та ключа індикації для повноти опису елементної бази).

21. Пожежна безпека. Знаки безпеки. Плани евакуації: ДСТУ ISO 23601:2019 (ISO 23601:2009, IDT). — Чинний від 2019-12-01. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.

22. Геврик Є. О. Охорона праці: підручник для студентів вищих навчальних закладів. — Київ: Фірма «Інкос», 2021. — 512 с.

23. . Khvostivska L., Khvostivskyi M., Dunets V., Dediv I. 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, 2023. pp. 48–57.

24. 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.

25. Паляниця Ю.Б., Марценюк А.С., Дунець В.Л., Бучинський В.М., Паламар М.І. Дрон з блоком надвисоких частот для виявлення та знешкодження вибухових пристроїв та мін. Матеріали III Міжнародної наукової конференції молодих учених та студентів «Воєнні конфлікти та техногенні катастрофи: історичні та психологічні наслідки» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя: зб. тез доповідей, 20-21.04.2023 р. Тернопіль: ТНТУ, 2023. С. 158-159. ISBN 978-617-7875-32-0.

26. Дунець В.Л., Хвостівська Л.В., Паляниця Ю.Б. Математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення оцінювання завадозахищеності каналів зв'язку з балансною модуляцією. Збірник наукових праць Вісник НУВГП, серія технічні науки, випуск 4 (104), 2023. - С. 95-107. ISSN: 2306-5478

27. Velychko, D., Osukhivska, H., Palaniza, Y., Lutsyk, N., Sobaszek, Ł. (2024). Artificial Intelligence Based Emergency Identification Computer System.

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		66

Advances in Science and Technology Research Journal, 18(2), pp. 296–304. ISSN: 2299-8624

28. Гевко О.В., Дозорський В.Г., Дедів Л.Є., Дедів І.Ю., Дозорська О.Ф. Структурний синтез вібромасажної апаратури. Перспективні технології та прилади, № 20, Луцьк, 2022. – с. 23-31.

29. 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.

					КМВ 2.019.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		67

ДОДАТКИ

					<i>КМВ 2.019.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		68

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри РТ
_____ к.т.н. Дунець В.Л.
“_____” _____ 2026 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра

на тему: «Радіопередавач УКХ діапазону потужністю 1 Вт »

Узгоджено:
Керівник дипломного проекту
Дедів І.Ю. _____
“_____” _____ 2026р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”
Студент групи РА-41
Кучмай М.В. _____
“_____” _____ 2026р.

Тернопіль, 2026

1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: “Радіопередавач УКХ діапазону потужністю 1 Вт”

1.2 Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ університету про затвердження кваліфікаційної роботи № 4/9-199 від “28” 04 2026р.

2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1. Студент Кучмай Максим Володимирович групи РА-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою кваліфікаційної роботи є розробка радіопередавача УКХ діапазону потужністю 1 Вт, що включає в себе:

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

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

4.1. Основні параметри

4.1.1. Вихідна потужність до 1 Вт;

4.1.2. Напруга живлення 9...16 В ;

4.1.3. Вихідний опір 50 або 75 Ом;

4.1.4. Робочий діапазон частот 87,5...108 МГц (УКХ/FM);

4.1.5. Струм споживання до 400 мА;

5 ВИМОГИ ДО ДОКУМЕНТАЦІЇ

5.1 Конструкторська документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

5.2. Комплект конструкторської документації повинен складатися з:

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

6 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

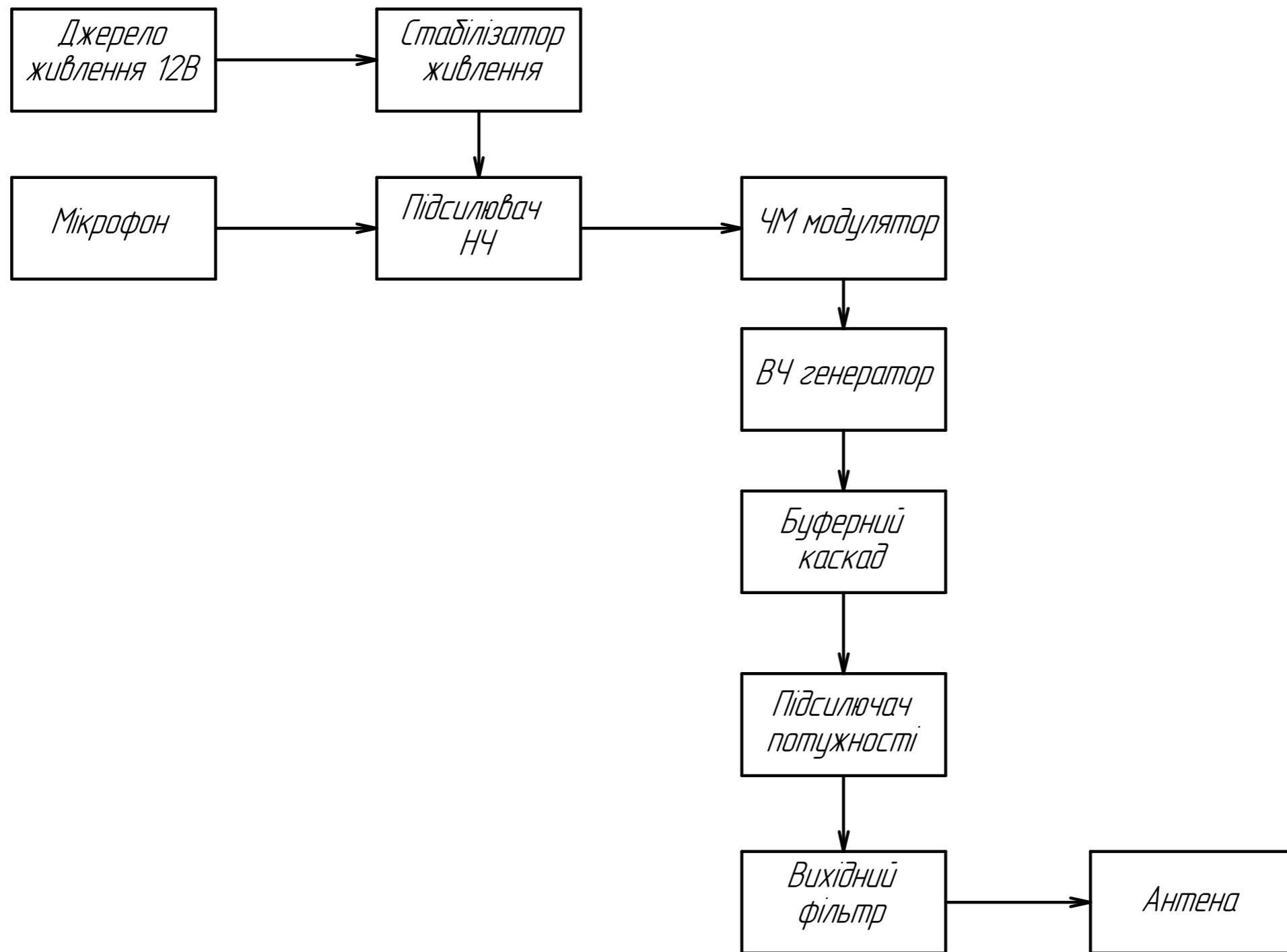
Таблиця 6.1 – Стадії та етапи виконання КР

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

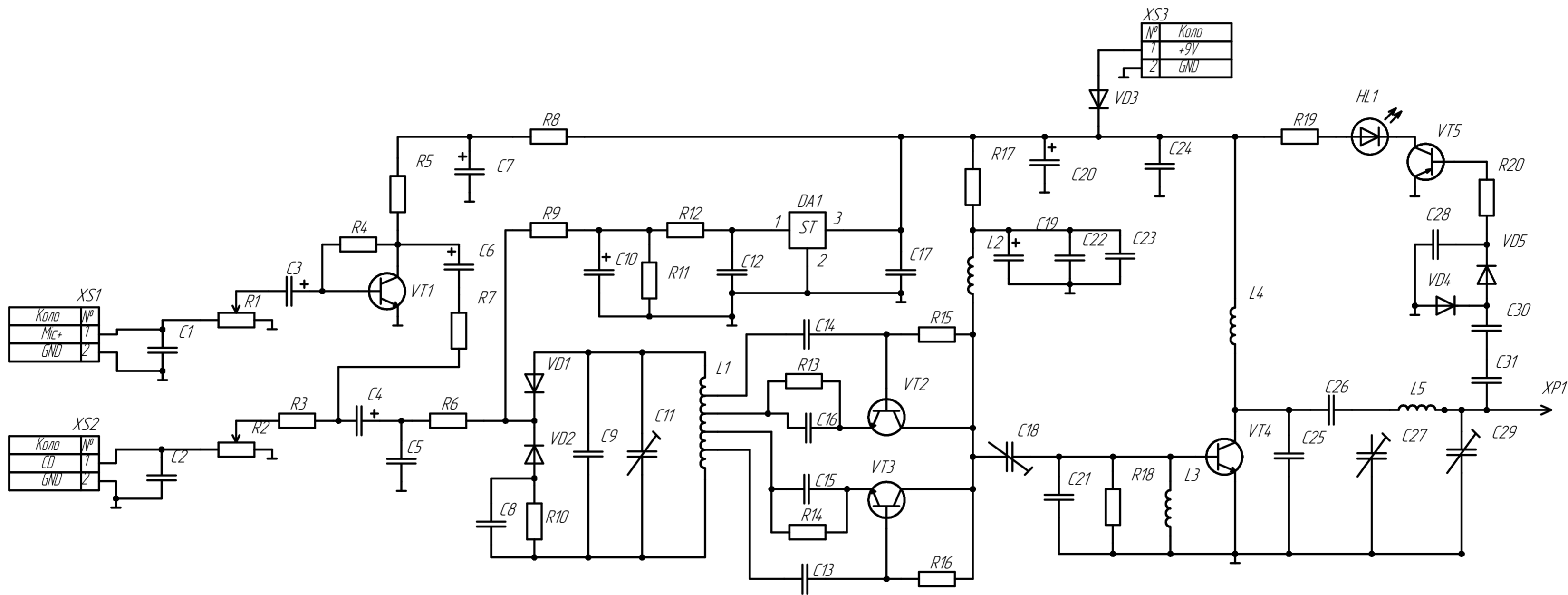
Термін виконання кваліфікаційної роботи узгоджується з керівником і з графіком виконання.

7 ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

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



					KMB 2.019.001 E1		
					Радіопередавач УКХ діапазону потужністю 1 Вт Схема електрична структурна		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.		Кучмай М.В.				-	
Перев.		Дедів І.Ю.			Аркцш	Аркцш	1
Т.контр.					ТНТУ ім. І.Пулюя група РА-41		
Н.контр.		Хвостівська Л.В.			Формат А3		
Затв.		Дінець В.Л.					



					KMB 2.019.001 E3		
					<i>Радіопередавач УКХ діапазону потужністю 1 Вт</i>		
					<i>Схема електрична принципа</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Ліст.	Дата	Лит.	Маса	Масштаб
Разроб.	Кучмай М.В.					-	
Перев.	Дедів І.Ю.				Арк.	Аркцив	1
Т.контр.					<i>ТНТУ ім. І.Пулюя група РА-41</i>		
Н.контр.	Хвостівська Л.В.				<i>Формат А2</i>		
Затв.	Динець В.Л.						

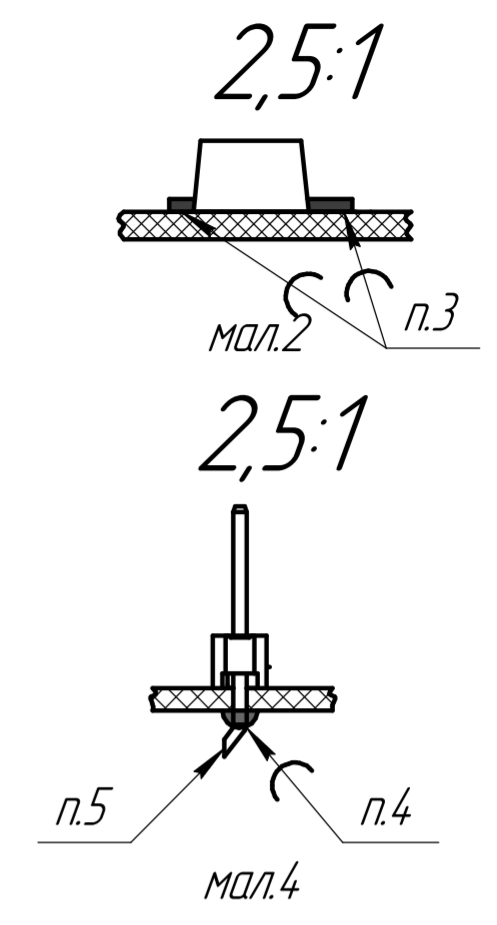
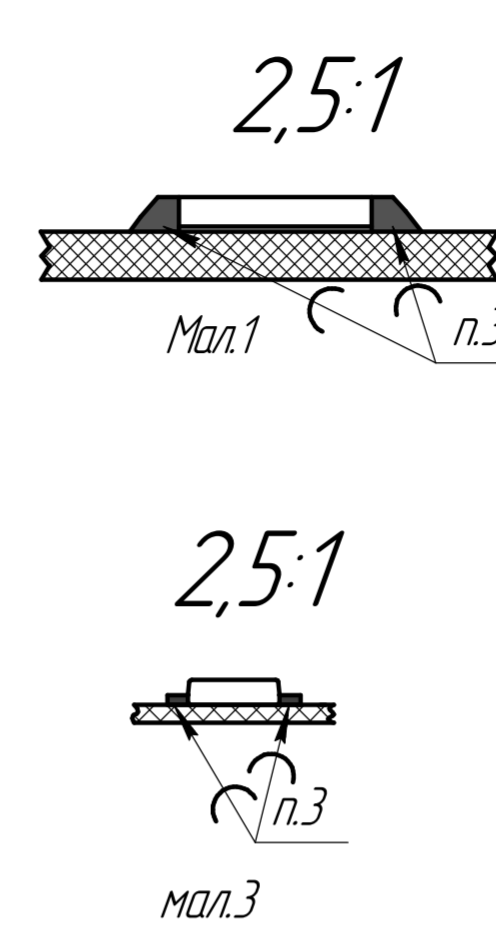
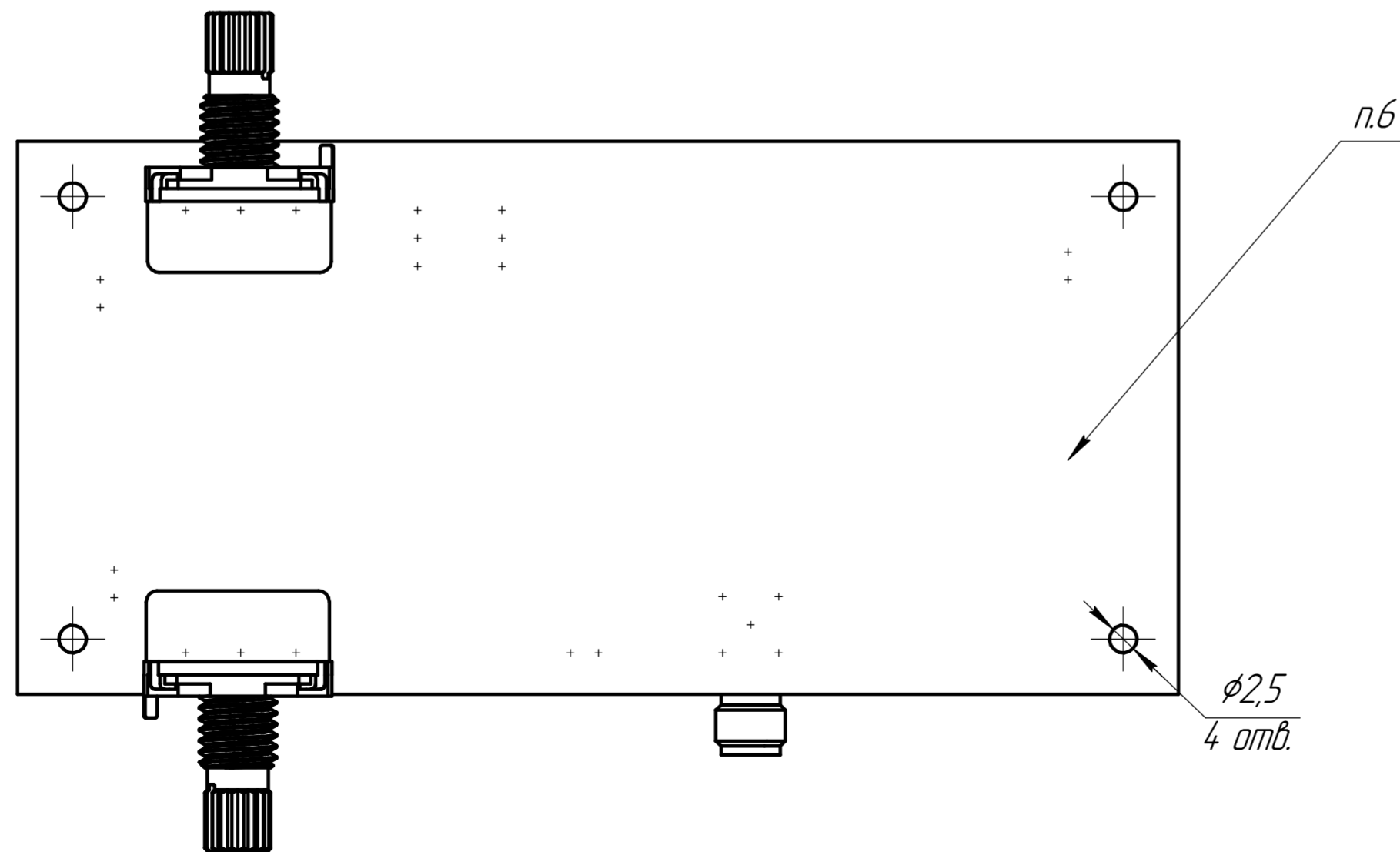
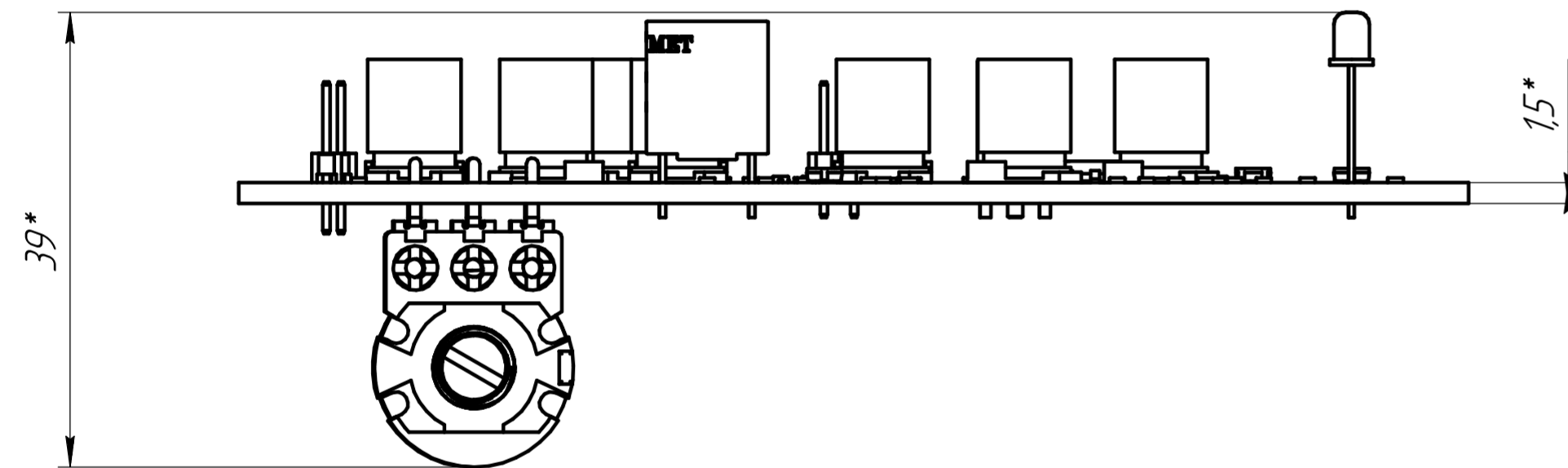
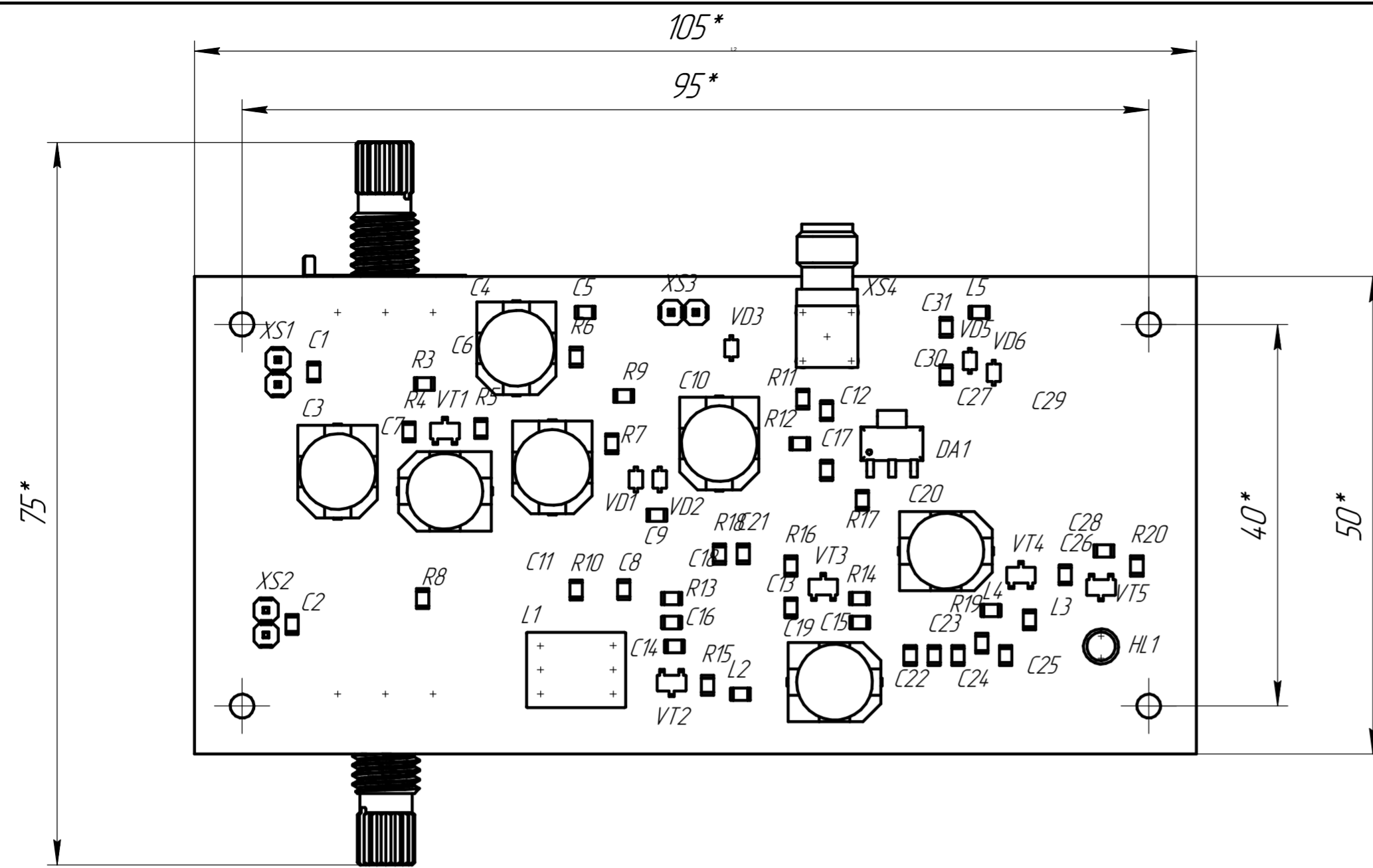
Поз. позн.	Назва	Кіл.	Примітка
	<u>Радіопередавач УКХ діапазону потужністю 1 Вт</u>		
	<u>Конденсатори</u>		
C1, C2	C2012COG1H102J «TDK»	2	
C3, C4	EEE-1CA100SR «Panasonic»	2	
C5	C2012COG1H102J «TDK»	1	
C6, C7	EEE-1CA100SR «Panasonic»	2	
C8	C2012COG1H220J «TDK»	1	
C9	EEE-1CA100SR «Panasonic»	1	
C10	C2012COG1H470J «TDK»	1	
C11	22 пФ підстроювальний	1	
C12	C2012X7R1H103K «TDK»	1	
C13	C2012COG1H150J «TDK»	1	
C14, C15	C2012COG1H102J «TDK»	2	
C16	C2012COG1H150J «TDK»	1	
C17	C2012X7R1H103K «TDK»	1	
C18	EEE-1CA221P «Panasonic»	1	
C19	TZB4R500 «Murata»	1	
C20	EEE-1CA221P «Panasonic»	1	
C21	C2012COG1H102J «TDK»	1	
C22	C2012COG1H101J «TDK»	1	
C23	C2012COG1H102J «TDK»	1	
C24	C2012X7R1H103K «TDK»	1	
C25	C2012COG1H056D «TDK»	1	
C26	C2012COG1H102J «TDK»	1	
C27	TZB4R500 «Murata»	1	
C28	C2012COG1H102J «TDK»	1	

KMB 2.019.001 ПЕЗ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Кучмай М.В.		
Перевірів		Дедів І.Ю.		
Рецензор				
Н. Контр.		Хвостівська Л.В.		
Затвер.		Дунець В.Л.		

**Радіопередавач УКХ
діапазону потужністю 1 Вт
Перелік елементів**

Літ.	Аркуш	Аркушів
1	1	4
ТНТУ, ФПТ каф. РТ гр. РА-41		



- 1 * Розміри для довідок
2. Крок координатної сітки 1,25мм, елементи встановити: резистори R3-R20 згідно мал.1; конденсатори C5, C8-C9, C11-C18, C21-C31 згідно мал.1; транзистори VT1-VT5 згідно мал.2; діоди VD1-VD4 згідно мал.3; роз'єми XS1-XS3 згідно мал.4;
3. Паяти паяльною пастою SAC305 "Mechanic"
4. Паяти ПОС-61
5. Виводи згинати під кутом 30 та обрізати в межах контактних площадок
6. Покрити лаком АК-133
7. Позначення елементів показано умовно

					КМВ 2.019.001 СК		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Вузол друкований		
Розроб.	Кучмай МВ	Ледів ІО			Лит.	Маса	Масштаб
Перев.						0,35	2:1
Т.контр.					Складальне креслення		
Н.контр.					Арк.	Аркциклів	1
Затв.					ТНТУ, ФПТ каф. РТ гр. РА-41		
					Формат А2		

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Прим.
				<u>Документація</u>		
A3			KMB 2.019.001 E3	Схема електрична принципова		
A4			KMB 2.019.001 ПЕЗ	Перелік елементів		
A2			KMB 2.019.001 СК	Друкований вузол		
				<u>Деталі</u>		
A2	1		KMB 7.102.001	Плата друкована	1	
				<u>Інші вироби</u>		
				<u>Конденсатори</u>		
		2		C2012COG1H018D «TDK»	2	C29, C30
		3		C2012COG1H056D «TDK»	1	C25
		4		C2012COG1H150J «TDK»	2	C13, C16
		5		C2012COG1H220J «TDK»	1	C8
		6		C2012COG1H470J «TDK»	1	C10
		7		C2012COG1H101J «TDK»	1	C9
		8		C2012COG1H102J «TDK»	9	C1, C2, C5, C14
						C15, C21, C23
						C26, C28
		9		C2012X7R1H103K «TDK»	3	C12, C17, C24
		10		EEE-1CA100SR «Panasonic»	5	C3, C4, C6,
						C7, C9
		11		EEE-1CA221P «Panasonic»	2	C18, C20
		12		TZB4R500 «Murata»	4	C11, C19
						C27, C31

KMB 2.019.001 СП

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Кучмай М.В.		
Перевір.		Дедів І.Ю.		
Н Контр.		Хвостівська Л.В.		
Затверд.		Дунець В.Л.		

Радіопередавач УКХ діапа-
зону потужністю 1 Вт

Літ.	Аркцш	Аркцшів
Н	1	3
ТНТУ, ФПТ каф. РТ гр. РА-41		

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Прим.	
		13		Мікросхема MC78L05ABDR2G «ON Semi»	1	DA1	
		14		Світлодіод BL-B2441 «BrightLED»	1	HL1	
				<u>Котушки</u>			
		15		MET-40 «Tamura»	1	L1	
		16		MLF2012 «TDK»	4	L2-L5	
				<u>Резистори</u>			
		17		CRCW080547R0FKEA «Vishay»	1	R17	
		18		CRCW080556R0FKEA «Vishay»	2	R13, R14	
		19		CRCW080522R0FKEA «Vishay»	4	R4, R6	
		20				R8, R19	
		21		CRCW080527R0FKEA «Vishay»	1	R18	
		22		CRCW08051K00FKEA «Vishay»	2	R11-R12	
		23		CRCW08051K50FKEA «Vishay»	1	R7	
		24		CRCW08054K70FKEA «Vishay»	1	R5	
		25		CRCW080510K0FKEA «Vishay»	1	R20	
		26		CRCW080515K0FKEA «Vishay»	1	R9	
		27		CRCW080533K0FKEA «Vishay»	1	R10	
		28		CRCW080568K0FKEA «Vishay»	2	R15, R16	
		29		PD181 10k «Bourns»	2	R1,R2	
				<u>Діоди</u>			
		30		BB179 «NXP»	2	VD1, VD2	
		31		KC156A «NXP»	1	VD3	
		32		1N4001 «Diodes Inc»	2	VD4, VD5	
				KMB 2.019.001 СП			Арк.
							2
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

