

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРИВОРІЗЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ  
ДЕРЖАВНОГО НЕКОМЕРЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА  
«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»

Циклова комісія \_\_\_\_\_ радіотехніки та електромеханіки \_\_\_\_\_

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Голова циклової комісії

\_\_\_\_\_ Сергій ЦВІРКУН  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ**  
**«БАКАЛАВР»**

**Тема:** \_\_\_\_\_ Радіоелектронне обладнання повітряного судна із живленням  
від мережі постійного струму \_\_\_\_\_

**Виконавець:** \_\_\_\_\_ Віталій ЧАПЛІНСЬКИЙ \_\_\_\_\_

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Дмитро ВЛАСЕНКОВ \_\_\_\_\_

**Нормоконтролер:** \_\_\_\_\_ Дмитро ВЛАСЕНКОВ \_\_\_\_\_

**Кривий Ріг 2025**

**КРИВОРІЗЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ  
ДЕРЖАВНОГО НЕКОМЕРЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА  
«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»**

Відділення Експлуатації та ремонту авіатехніки  
Циклова комісія Радіотехніки та електромеханіки  
Спеціальність 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Голова циклової комісії

\_\_\_\_\_ Сергій ЦВІРКУН  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ  
на виконання кваліфікаційної роботи здобувача вищої освіти  
Чаплінського Віталія Олександровича**

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача вищої освіти в родовому відмінку)

- Тема кваліфікаційної роботи: «Радіоелектронне обладнання повітряного судна із живленням від мережі постійного струму».  
затверджена наказом начальника коледжу від «11» квітня 2025 р. № 68-ст
- Термін виконання роботи: з 12.05.2025 р. по 27.06.2025 р.
- Календарний план-графік виконання кваліфікаційної роботи:

№ з/п	Зміст завдання	Кінцевий термін виконання	Підпис керівника
1	Аналіз літературних джерел	12.05.2025	
2	Аналіз аналогічних існуючих систем	19.05.2025	
3	Написання першого та другого розділів пояснювальної записки	23.05.2025	
4	Написання третього та четвертого розділів пояснювальної записки	26.05.2025	
5	Написання п'ятого розділу пояснювальної записки	29.05.2025	
7	Оформлення пояснювальної записки дипломної роботи	19.06.2025	
7	Підготовка доповіді та оформлення презентації дипломної роботи	23.06.2025	

- Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки

Назва розділу	Консультант	Дата, підпис	
		Завдання видано	Завдання виконано
Охорона праці	Сергій ЦВІРКУН	12.05.2025	

- Дата видачі завдання: «12» травня 2025 р.

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ Власенков Д.П.  
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Чаплінський В.О.  
(підпис студента) (П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Радіоелектронне обладнання повітряного судна із живленням від мережі постійного струму»: \_\_\_\_\_ сторінок, \_\_\_\_\_ рисунків, \_\_\_\_\_ таблиць, \_\_\_\_\_ використаних джерел.

ПОВІТРЯНЕ СУДНО, РАДІОСТАНЦІЯ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, БЛОК ЗБУДЖУВАЧА.

Об'єкт дослідження – авіаційна радіостанція Р-863, яка відноситься до класу УКХ-засобів зв'язку і має багатоблочну архітектуру.

Мета кваліфікаційної роботи – техніко-експлуатаційне обґрунтування та часткова реалізація модернізації блоку збуджувача радіостанції Р-863 шляхом переходу на поверхнево-монтажну компонентну базу.

Установлено, що використання застарілих елементів, складна друкована плата з високою щільністю монтажу, наявність дефектних або нестабільних елементів, а також складність в сервісному обслуговуванні. Через це було прийнято рішення провести глибоку ревізію елементної бази, ідентифікувати ключові вузли та замінити застарілі компоненти на сучасні, попередньо підібравши їх з урахуванням електричних і конструктивних відповідностей.

Матеріали рекомендується використовувати для модернізації систем літака в авіаційних конструкторських бюро.

# ЗМІСТ

## ВСТУП

## РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД РАДІОСТАНЦІЇ Р-863

- 1.1. Загальна інформація про Р-863
- 1.2. Призначення та технічні характеристики
- 1.3. Основні вузли та принцип роботи
- 1.4. Аналіз наявної елементної бази плати збуджувача

## РОЗДІЛ 2. ВИБІР СУЧАСНИХ КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ ЗАМІНИ

- 2.1. Критерії підбору нової елементної бази
- 2.2. Порівняння старих і нових компонентів
- 2.3. Електричні та конструктивні відповідності
- 2.4. Аналіз сумісності та обґрунтування вибору

## РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА: ЗАМІНА КОМПОНЕНТІВ НА ПЛАТІ ЗБУДЖУВАЧА

- 3.1. Конструкція плати
- 3.2. Технологія демонтажу старих компонентів
- 3.3. Адаптація та зміни в схемі
- 3.4. Установка нових компонентів
- 3.5. Проведення функціональних випробувань

## РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ

- 4.1. Порівняльна характеристика до і після модернізації
- 4.2. Висновки щодо надійності та ефективності
- 4.3. Можливості подальшої модернізації

## РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

- 5.1. Перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів
- 5.2. Технічні й організаційні заходи для зменшення рівня впливу Н і ШВФ
- 5.3. Забезпечення пожежної і вибухової безпеки

## ВИСНОВКИ

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

## ВСТУП

У сучасних умовах підвищених вимог до надійності, компактності та технологічності радіоелектронної апаратури особливого значення набуває модернізація існуючих систем. Це стосується, зокрема, військової техніки, де повна заміна обладнання часто є економічно недоцільною, а підтримка функціонального стану на високому рівні — критично важливою. Одним із таких прикладів є авіаційна радіостанція Р-863, яка широко застосовується у Збройних Силах України з 1980-х років і досі залишається на озброєнні.

Радіостанція Р-863 працює в діапазоні частот 100–400 МГц і забезпечує надійний зв'язок у складних умовах експлуатації. Основним недоліком апаратури на сьогодні є її застаріла елементна база, що включає вивідні компоненти типу ТНТ/DIP. Особливо критичним є блок збуджувача — функціональний вузол, який відповідає за генерацію несучої частоти, модуляцію та початкове підсилення сигналу. Через фізичне старіння елементів погіршується стабільність частоти, спектральна чистота, вихідна потужність, а також ускладнюється ремонт через відсутність запасних частин.

У зв'язку з цим актуальним технічним завданням є заміна старих дискретних компонентів на сучасні SMD-аналогі, які мають покращені характеристики, зменшені габарити та краще пристосовані до автоматизованого монтажу. Впровадження такої модернізації дозволяє значно підвищити технічні показники пристрою, зменшити енергоспоживання, покращити надійність і ремонтпридатність без радикальної зміни схеми або функціоналу.

Метою цієї роботи є техніко-експлуатаційне обґрунтування та часткова реалізація модернізації блоку збуджувача радіостанції Р-863 шляхом переходу на поверхнево-монтажну компонентну базу. В межах реалізації цієї мети було поставлено низку задач: аналіз конструкції та схемотехніки пристрою,

ідентифікація елементів, що підлягають заміні, підбір відповідних SMD-аналогів, підготовка до пайки, а також тестування після оновлення.

Об'єктом дослідження є авіаційна радіостанція Р-863, яка відноситься до класу УКХ-засобів зв'язку і має багатоблочну архітектуру. Серед усіх вузлів особливе значення має блок збуджувача, оскільки він безпосередньо впливає на якість та стабільність вихідного радіосигналу. Саме на цей блок і спрямовано основну увагу дослідження.

На момент початку модернізаційних робіт блок збуджувача мав такі характерні особливості: використання застарілих елементів, складна друкована плата з високою щільністю монтажу, наявність дефектних або нестабільних елементів, а також складність в сервісному обслуговуванні. Через це було прийнято рішення провести глибоку ревізію елементної бази, ідентифікувати ключові вузли та замінити застарілі компоненти на сучасні, попередньо підібравши їх з урахуванням електричних і конструктивних відповідностей.

Предметом дослідження є комплекс заходів з оновлення елементної бази блоку збуджувача, зокрема, аналіз схеми, визначення функціональних каскадів генерації та модуляції, діагностика стану елементів, підбір сучасних аналогів у корпусах типу 0603, 0805, SOT-23 та ін., а також оцінка впливу SMD-монтажу на електричні та високочастотні властивості схеми. Окрему увагу приділено впливу зміни топології на паразитні параметри (індуктивності, ємності), які можуть змінити характеристики ВЧ-трактів.

Враховуючи, що заводське виробництво оригінальних компонентів припинено, а їх функціональні параметри деградують через тривале використання, перехід на сучасні аналоги є не лише бажаним, а й необхідним. SMD-компоненти не лише покращують компактність і стабільність роботи, але й відкривають можливості для подальшої автоматизації обслуговування та виробництва.

Практична частина дослідження включає проведення демонтажу старих елементів, монтаж нових SMD-компонентів, випробування після складання та вимірювання вихідних параметрів — таких як частота, спектральна чистота та

стабільність генерації. Особливу увагу приділено забезпеченню сумісності нових елементів зі схемотехнікою пристрою без внесення критичних змін.

Результати модернізації дозволяють зробити висновок про технічну доцільність переходу на сучасну елементну базу в подібних зразках апаратури. Застосовані принципи мають універсальний характер і можуть бути використані для модернізації інших радіоелектронних систем із подібною архітектурою. Отже, дана робота не лише має практичне значення для продовження ресурсу Р-863, але й закладає основу для системної модернізації подібних засобів зв'язку.

# РОЗДІЛ 1

## ОГЛЯД РАДІОСТАНЦІЇ Р-863

### 1.1. Загальна інформація про Р-863

Радіостанція Р-863 авіаційна бортова УКХ/ДМХ радіостанція, призначена для забезпечення радіозв'язку літальних апаратів (літаків, вертольотів) з наземними пунктами керування, а також з іншими повітряними суднами, є одним з найвідоміших і широко використовуваних бортових засобів авіаційного зв'язку в історії авіаційної техніки Радянського Союзу та країн пострадянського простору. Вона була розроблена для забезпечення двостороннього телефонного зв'язку у діапазоні ультракоротких хвиль (УКХ) між екіпажем повітряного судна та наземними або іншими повітряними пунктами управління. Призначенням цієї радіостанції є підтримка безперервного та надійного зв'язку в процесі виконання польотних завдань, а також забезпечення оперативної взаємодії між екіпажами літаків і диспетчерськими службами. Розробка Р-863 почалась у 1960–1970-х роках, коли актуальними були завдання створення максимально надійної, компактною, стійкої до зовнішніх впливів та зручною в обслуговуванні авіаційної радіостанції. З самого початку конструктори передбачали, що апаратура працюватиме в екстремальних умовах: високі та низькі температури, вібрації, зниження тиску, електромагнітні завади, що могли виникати в складній авіаційній техніці.

За кожним ПС закріплюється експлуатаційна документація, яка регламентує правила його експлуатації та обслуговування. Основною документацією в якій регламентують ся правила обслуговування та експлуатації ПС його систем та механізмів, є регламент технічного обслуговування та регламент технічної експлуатації. Регламент технічної

експлуатації – це єдиний технічний документ, що включає технічний опис повітряного судна (конструкцію, призначення, розміщення, технічні характеристики і роботу систем і обладнання), інструкцію з технічної експлуатації (вказівки, викла дені у вигляді технологічних карт, за технологією обслуговування, демонтажу і монтажу, регулюванню, випробувань, контролю та інших робіт, виконуваних наземним складом), а також вказівки по транспортуванню і зберіганню. В регламенті технічної експлуатації та ремонту радіостанції Р-863 зазначені наступні типи несправностей, що зазначені табл. 1.1.

Таблиця 1.1

№ з/п	Характер несправності	Можливі причини
1	Повністю відсутня потужність на виході ПРД у всіх діапазонах частот	А) Не спрацьовує реле «приймача-збуджувача» Р2; Б) Немає напруги +14 В, вийшов з ладу блок живлення.
2	Відсутнє самопрослуховування ПРД, потужність ПРД у нормі, прийом сигналів спостерігається	А) Не подається напруга живлення на ларингофон; Б) Несправний ланцюг ларингофона.
3	Величина частотної девіації не відповідає встановленому значенню, потужність ПРД у нормі	А) Не працює попередній підсилювач модулятора; Б) Відмова ланцюга модуляції ЧМП у збуджувачі.
4	Малий рівень вихідної потужності ПРД	А) Спрацював тепловий захист ПРД; Б) Спрацював захист ПП унаслідок розузгодження з навантаженням.
5	Частота ПРД має відхилення більше 1200 Гц, потужність ПРД у нормі, прийом сигналів спостерігається	А) Несправний ЧМП у складі блока збуджувача.

Аналізуючи інтенсивність появи несправностей складових елементів радіостанції Р-863 за картками обліку несправностей АТ з 1998 року по 2018

рік, періодично приходили в несправний стан блоки, що зображені на часовій діаграмі (Рис. 1.1).

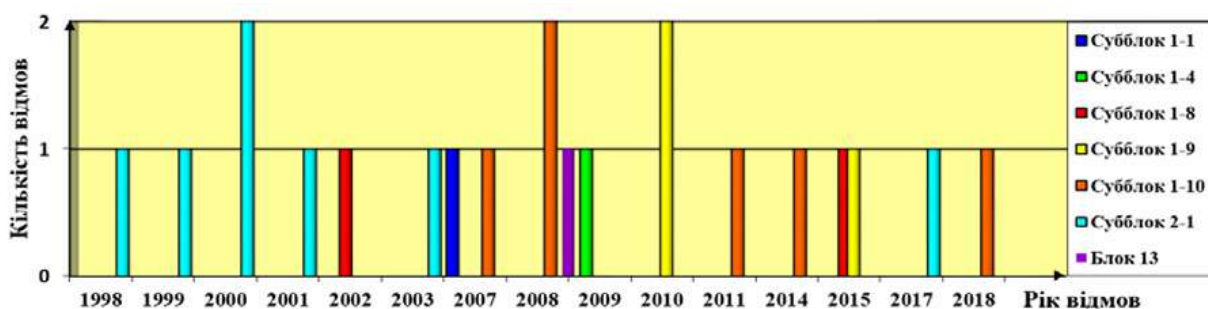


Рис. 1.1. Часова діаграма

Субблок 1-1 – блок опорної частоти; Субблок 1-4 – фазовий детектор; Субблок 1-8 – збуджувач; Субблок 1-9 – підсилювач проміжної частоти; Субблок 1-10 – підсилювач низької частоти; Субблок 2-1 – блок живлення; Блок 13 – пульт управління.

Відтак особливу увагу було приділено не лише функціональності пристрою, але і його механічній міцності, а також електричній стабільності. Система зв'язку Р-863 забезпечує роботу в діапазоні частот 100–149,975 МГц з кроком перестроювання 25 кГц. Це дозволяє мати до 2000 каналів зв'язку, що повністю покривало потреби цивільної та військової авіації на момент розробки та введення в експлуатацію. Радіостанція здатна працювати як у дуплексному, так і в симплексному режимі, що забезпечує гнучкість у використанні залежно від типу літального апарата, завдань і структури авіаційного радіозв'язку. Конструктивно Р-863 виконана у вигляді комплексу взаємопов'язаних функціональних модулів (блоків), які монтуються у стандартні місця бортового обладнання літака. Основні блоки включають: блок збуджувача, блок формування сигналів керування, блок підсилення, блок комутації антен, блок живлення тощо. Найважливішим із них є блок збуджувача — саме він забезпечує формування та стабілізацію частоти передачі, а також модуляцію та генерацію радіочастотного сигналу. Цей блок є об'єктом нашої особливої уваги, оскільки саме в ньому зосереджено найбільшу кількість активних елементів, які підлягають модернізації. У той час, коли Р-863 створювалась, елементна база ґрунтувалась на транзисторах, діодах, резисторах і конденсаторах у класичному

виконанні — з вивідним монтажем (ТНТ, through-hole technology). Перевагами такого підходу були доступність компонентів, їх ремонтпридатність, можливість ручної пайки, високі струмові навантаження та термічна стійкість. Проте такі компоненти мають більші габарити, нижчу щільність монтажу та вимагають більше місця на платах, що є недоліком у сучасних умовах мініатюризації електроніки. На момент свого активного використання, Р-863 встановлювалась на різні типи літаків: винищувачі (МіГ-21, МіГ-23), фронтові бомбардувальники (Су-17, Су-24), транспортні літаки (Ан-24, Ан-26), цивільні пасажирські літаки (Ту-134, Іл-62) і навіть деякі вертольоти (Мі-8, Мі-24). Така широка застосовуваність зумовлена універсальністю технічного рішення та здатністю адаптуватися до різних умов експлуатації. Для багатьох літальних апаратів того часу Р-863 була стандартним засобом зв'язку, що забезпечував взаємодію екіпажу з диспетчерськими службами, військовими командними пунктами, іншими літаками в групі та допоміжними підрозділами. Сьогодні радіостанція Р-863 залишається в експлуатації на багатьох повітряних судах, зокрема в країнах, де ще зберігається парк літаків радянського виробництва. В умовах обмеженого фінансування заміна всієї системи зв'язку на нову часто є неможливою або економічно недоцільною. Саме тому модернізація існуючих пристроїв шляхом часткової заміни елементної бази на сучасну — є реалістичним і доцільним шляхом продовження ресурсу апаратури. Одним з найбільш поширених і ефективних методів модернізації є перехід з вивідних компонентів на SMD-аналогічні елементи, які мають менші габарити, кращі параметри та кращу сумісність із сучасним ремонтним обладнанням. Окрім зменшення розмірів і ваги, SMD-компоненти мають меншу індуктивність і паразитну ємність, що дозволяє підвищити робочі частоти, поліпшити імпульсні характеристики та зменшити вплив перешкод. Це особливо важливо в авіаційній апаратурі, де стабільність сигналу та перешкодостійкість є критичними параметрами. Таким чином, розуміння структури, історії та призначення Р-863 є необхідною умовою для успішної реалізації проєкту модернізації. Враховуючи конструктивні особливості пристрою та можливості

сучасної елементної бази, можна досягти істотного підвищення ефективності функціонування радіостанції без необхідності повної заміни або створення нового обладнання. Це дозволяє суттєво знизити витрати та подовжити термін експлуатації існуючих авіаційних систем зв'язку, що є стратегічно важливим для багатьох експлуатантів.

## **1.2. Призначення та технічні характеристики**

Радіостанція Р-863 є сучасним комплексним засобом радіозв'язку, розробленим для забезпечення надійного, стабільного та ефективного зв'язку у військових і цивільних авіаційних системах. Головною метою створення даної радіостанції стало забезпечення прямого зв'язку між бортовими комплексами літаків, вертольотів, а також між повітряними апаратами та наземними командними пунктами. У конструкції радіостанції закладено максимальну адаптивність до складних умов експлуатації, що дозволяє їй зберігати працездатність у різних кліматичних зонах, включаючи регіони з екстремальними температурними режимами, підвищеною вологістю, пиловими бурями та іншими несприятливими атмосферними впливами. Радіостанція Р-863 застосовується у військовій авіації як один з основних засобів зв'язку, що забезпечує можливість оперативної передачі голосових, телеграфних і цифрових повідомлень. Її функціональні можливості відповідають вимогам тактичного радіозв'язку у діапазонах метрів і декаметрів ультракоротких хвиль (УКХ). Особливо важливим є те, що радіостанція здатна працювати в безпосередній видимості, що значно підвищує якість зв'язку за рахунок мінімізації втрат сигналу на шляху його поширення. Крім того, в арсеналі радіостанції є можливість прийому сигналів на аварійних частотах, що передбачено для використання в надзвичайних ситуаціях, що значно підвищує безпеку польотів. Система автоматично відстежує і приймає сигнали на

частотах 121,5 МГц і 243 МГц, які традиційно використовуються для аварійного радіозв'язку в цивільній та військовій авіації. Радіостанція Р-863 сумісна з різними видами модуляції (амплітудною, частотною та частотною телеграфією), що забезпечує гнучкість в режимах роботи та підтримує широке коло задач, починаючи від голосового зв'язку і закінчуючи передачами кодової інформації у форматах, необхідних для управління та обміну даними. Її функціонал можна інтегрувати у комплексні системи авіаційної електроніки, що робить Р-863 універсальним засобом зв'язку.

Таким чином, основним призначенням радіостанції є забезпечення ефективної, стабільної і стійкої радіозв'язку в межах прямої видимості між повітряними суднами та між ними і пунктами управління на землі. Зважаючи на умови експлуатації, що часто пов'язані з великими навантаженнями на техніку, конструкція Р-863 оптимізована для забезпечення надійності, стійкості до вібрацій та електромагнітних завад, а також швидкого і зручного управління у польотних умовах.

Технічні характеристики радіостанції Р-863 Для всебічного розуміння можливостей радіостанції Р-863 важливо детально розглянути її основні технічні характеристики. Ці параметри відображають основні фізичні, електричні та функціональні властивості пристрою, які визначають його продуктивність, сумісність з іншими системами та загальну ефективність у використанні.

Час напрацювання на відмову становить 25000-35000 годин.

Частотні діапазони та канали радіостанція Р-863 працює у двох основних діапазонах УКХ — метричному (МВ) і дециметровому (ДМВ). Метричний діапазон охоплює частоти від 100 до 149,975 МГц, що дозволяє ефективно працювати на стандартних авіаційних частотах, а також забезпечує широке покриття для телеграфних та телефонних каналів. Дециметровий діапазон — від 220 до 399,975 МГц — розширює функціональні можливості радіостанції, даючи змогу використовувати її для більш складних задач, включаючи роботу

на підвищених частотах із кращою пропускнуою здатністю та стійкістю до перешкод.

Крок сітки частот складає 25 кГц, що є стандартним значенням для забезпечення оптимального балансу між кількістю каналів та зручністю настройки. Завдяки цьому у радіостанції є можливість працювати на 9200 окремих каналах, що дає значну гнучкість у плануванні частотного ресурсу, дозволяє уникати накладання каналів і знижує рівень перешкод.

Потужність передавача.

Передавальний модуль радіостанції Р-863 здатен видавати потужність не менше 10 Вт у метричному діапазоні і не менше 7 Вт у дециметровому. Цього достатньо для забезпечення надійного зв'язку на середні та великі відстані в межах прямої видимості, враховуючи типові умови польоту. Важливо, що потужність передавача підтримується стабільною навіть у складних умовах, що гарантує якість і стійкість сигналу.

Чутливість приймача.

Прийомна частина радіостанції має високу чутливість — не гірше 3 мкВ. Це означає, що радіостанція здатна ефективно приймати навіть дуже слабкі сигнали, що є критично важливим для роботи у складних умовах з низьким рівнем сигналу, наприклад, при великих відстанях або у випадках частих перешкод. Висока чутливість дозволяє підтримувати якісний зв'язок, навіть якщо джерело сигналу має низьку потужність або знаходиться за межами прямої видимості.

Частотна стабільність Одним із ключових параметрів є стабільність робочої частоти радіостанції. Для Р-863 цей показник становить  $\pm 1200$  Гц після 15 хвилин роботи. Це свідчить про якість використовуваного гетеродинного генератора та системи стабілізації частоти, які забезпечують постійність і точність роботи. Стабільність частоти є надзвичайно важливою для уникнення зсувів сигналу, які можуть призвести до втрати зв'язку або погіршення якості передавання інформації.

Модуляційні режими Радіостанція підтримує кілька видів модуляції: амплітудну (АМ), частотну (ЧМ) та частотну телеграфію (ЧТ). Кожен з цих режимів має свої переваги і застосовується залежно від характеру переданої інформації і умов експлуатації. Амплітудна модуляція використовується для голосового зв'язку у стандартних умовах, частотна модуляція — для зменшення впливу перешкод і покращення якості звуку, а частотна телеграфія — для передачі цифрової інформації з високою швидкістю та точністю.

Швидкість передачі телеграфної інформації У режимі частотної телеграфії радіостанція може працювати на швидкостях від 300 до 4800 бод, що забезпечує гнучкість у налаштуванні швидкості передачі залежно від потреб конкретного завдання. Цей діапазон дозволяє адаптувати роботу пристрою як для простих телеграфних повідомлень, так і для більш складних цифрових протоколів.

Енергоспоживання і живлення Радіостанція розрахована на роботу від постійного джерела живлення з напругою +27 В, що відповідає стандартам бортового живлення авіаційної техніки. В аварійному режимі вона може працювати при пониженій напрузі +18 В, що забезпечує її надійність навіть при виникненні проблем із живленням.

За умови роботи в режимі прийому споживана потужність не перевищує 50 Вт, у режимі передачі — до 200 Вт. Це дозволяє ефективно управляти ресурсами електроживлення літака, забезпечуючи при цьому високу якість роботи радіостанції.

Маса і габарити Загальна маса радіостанції не перевищує 18 кг, що робить її досить компактним і легким пристроєм для установки на борту різних літальних апаратів. Компактність і відносно невелика вага полегшують її інтеграцію в загальну авіаційну електроніку без істотного збільшення навантаження на конструкцію.

Ресурс на відмову Одним із критичних параметрів для військової техніки є ресурс на відмову — час безперервної роботи до першої суттєвої несправності. Для радіостанції Р-863 він становить не менше 15 000 годин, що свідчить про високу надійність і якість застосованих у ній електронних компонентів і збірки.

Цей показник забезпечує тривалий період експлуатації без необхідності частого ремонту чи заміни вузлів.

Складові та особливості конструкції Радіостанція Р-863 складається з кількох функціональних блоків, кожен з яких виконує окрему роль у забезпеченні ефективного радіозв'язку.

**Передавально-приймальний блок** — ядро системи, що відповідає за формування і прийом радіосигналів у заданих діапазонах частот. Він включає як передавач, так і приймач, обладнані сучасними стабілізованими генераторами частоти та високочутливими приймачами.

**Амортизаційна рама** — механічний елемент, що забезпечує захист електроніки від механічних пошкоджень, вібрацій та ударів, що особливо важливо при експлуатації на борту літаків і вертольотів.

**Блок узгодження антени** — забезпечує правильний імпедансний зв'язок між радіостанцією і антеною, що дозволяє мінімізувати втрати сигналу та підвищити ефективність роботи.

**Пульт управління** — інтерфейс оператора, через який здійснюється настройка параметрів радіостанції, вибір каналів, контроль стану пристрою та інші функції управління. Пульт оснащений зручними органами керування і, за потреби, підсвіткою для роботи в темряві.

**Аварійний приймач** — модуль, що постійно моніторить аварійні частоти і сигналізує про їх активність, забезпечуючи можливість своєчасного реагування на надзвичайні ситуації.

### 1.3. Основні вузли та принцип роботи

Радіостанція виконана в вигляді наступних основних блоків (Рис. 1.2):

- приймач-збудник (блок 1);
- передавач (блок 2);



Рис. 1.2. Зображення радіостанції Р-863 ліворуч блок 1 (приймач-збудник), праворуч блок 2 (передавач).

- пульт керування (один з блоків 7-27а), (Рис 1.3)



Рис. 1.3.

- амортизаційна рама (блоки 4,6)
- узгоджувачий блок (блок 29 – використовують при роботі на антену з вхідним опором 75 Ом).

Блок приймача-збудника (Рис. 1.4) включає в себе наступні функціональні вузли: синтезатор, УВЧ, УПЧ, УНЧ, аварійний приймач, блок комутації, збуджувач, перетворювач постійної напруги.



Рис. 1.4. Зображення зверху конструкції блоку 1.

Блок передавача складається з підсилювача потужності МВ діапазона, підсилювача потужності ДМВ діапазона, блока живлення.

В режимі «прийом» використовується стабілізатор +12,6 В блока №2 і всі функціональні вузли блока №1, крім збуджувача.

В режимі «передача» використовуються всі вузли блоків №1 і №2 крім УПЧ і аварійного приймача.

Пульт керування радіостанції Р-863 конструктивно являє собою компактний пристрій, що складається з корпусу з двома панелями або відсіками: лівим і правим (або верхнім і нижнім — залежно від модифікації). Основне призначення пульта — забезпечення дистанційного керування режимами роботи радіостанції та налаштування робочої частоти.

Органи керування

Керування радіостанцією здійснюється дистанційно за допомогою пульта управління.

Пульт управління з НУ (наборним устроєм).

На лицьовій панелі лівого відсіку пульта розміщено:

- шкалу НУ (наборного устрою);
- чотири кодові диски для встановлення частоти:
  - десятки мегагерц (МГц);
  - одиниці мегагерц (МГц);
  - сотні кілогерц (кГц);
  - десятки кілогерц (кГц).

На лицьовій панелі правого відсіку встановлені наступні елементи керування:

- тумблер АМ–ЧМ — перемикач між амплітудною та частотною модуляцією;
- тумблер ПШ — ввімкнення/вимкнення подавника шумів;
- тумблер АП — ввімкнення/вимкнення аварійного приймача;
- перемикач УПР. — перемикач джерела управління (між пультами);
- сигнальні лампочки УПР. та АП — індикація відповідних режимів.

Пульт управління із вставкою ЗУ

Пульт управління з ЗУ має два відсіки: верхній та нижній.

На лицьовій панелі верхнього відсіку розміщено:

- тумблер ПШ — для ввімкнення або вимкнення подавника шумів;
- тумблер АП — для керування аварійним приймачем;
- лампочка АП — світлова індикація прийому аварійного сигналу;
- тумблер АМ–ЧМ — вибір режиму модуляції (основний режим — АМ);
- перемикач УПР. — перемикач між пультами;
- лампочка УПР. — індикація прийому команди управління.

У нижньому відсіку розташована вставка ЗУ (Рис. 1.5), оснащена роз'ємом. Фіксація вставки ЗУ в пульті управління здійснюється поворотом осі гвинта в положення «ЗАКР».



Рис. 1.5.

Вставка ЗУ може бути зафіксована в 20 положеннях, кожне з яких відповідає одному задалегідь закодованому каналу. Номер каналу виводиться у віконці на лицьовій панелі.

Набір частоти десятків мегагерц (МГц) здійснюється відповідно до таблиці, нанесеної на корпус вставки ЗУ: значенню «0» відповідає піднятий штовхач, а значенню «1» — спущений штовхач.

Набір одиниць мегагерц (МГц) і сотень кілогерц (кГц) здійснюється за допомогою штовхачів із номерами 1, 2, 4, 8, тобто частота формується шляхом додавання значень піднятих штовхачів. Наприклад, при піднятих штовхачах 2 і 4 отримуємо значення 6 (2 + 4).

Набір десятків кілогерц (кГц) також виконується шляхом підняття одного або двох штовхачів (див. рис. 1.7), при цьому: один штовхач відповідає за 25 кГц, а другий — за 50 кГц. Сума активних (піднятих штовхачів) визначає остаточне значення в десятках кілогерц.



Рис. 1.7.

На задній стінці корпусу вставки розміщено інше віконце, у якому відображається поточний канал, що кодується у момент налаштування.

#### Принцип роботи радіостанції

Приймальний тракт радіостанції виконаний за супергетеродинною схемою з подвійним перетворенням для піддіапазону МВ і потрійним перетворенням для піддіапазону ДМВ.

Вхідний високочастотний сигнал від антени надходить в антенний комутатор «прийом-передача», після чого через високочастотний ФНЧ на вхідний ланцюг УВЧ аварійного приймача на комутатор піддіапазонів, який здійснює підключення антени до одного з трактів 3-піддіапазанного УВЧ (МВ:100-149,975, ДМВ1: 220-299,975, ДМВ2: 300-399,975).

В якості антенного комутатора «прийом-передача» використовується високочастотне реле, яке конструктивно розміщене на амортизаційній рамі,

Комутатор піддіапазона виконаний на рiп діодах, і крім основного призначення, використовується як керуючий аттенюатор для регулювання рівня вхідного сигналу.

Тракт УВЧ забезпечує підсилення сигналу, який надходить в смузі пропускання 3-5 МГц для МВ піддіапазону; 6-10 МГц для ДМВ1 піддіапазону і 8-14 МГц для ДМВ2 піддіапазону. Налаштування смугових фільтрів УВЧ на

відповідну частоту здійснюється електронним способом шляхом подачі на варикапи фільтру необхідного зміщення від синтезатора.

В МВ піддіапазоні сигнал з вихода УВЧ надходить на змішувач МВ. Одночасно з сигналом на змішувач подається напруга гетеродина. В якості гетеродина використовується генератор, що керується напругою. В результаті взаємодії частот сигналу й гетеродина на навантаженні змішувача виділяється проміжна частота 25МГц.

З вихода змішувача МВ діапазона напруга проміжної частоти 25 МГц надходить на УПЧІІ через комутатор, здійснюється підключення одного з трактів до УПЧІІ. В ДВМ піддіапазонах сигнал з вихода кожного УВЧ яєрез комутатор надходить на 1 змішувач ДМВ. В якості гетеродина використовується частота ГУН. В результаті взаємодії частот на навантаженні 1 змішувача ДМВ виділяється проміжна частота 45 МГц. Напруга цієї частоти підсилюється УПЧІ і надходить на 2-й змішувач, на який подається подвоєна по частоті напруга опорного генератора (20МГц). Напруга проміжної частоти 25МГц надходить через комутатор і кварцевий фільтр на УПЧІІ-1. УПЧІІ-1 має дві смуги пропускання: вузьку-18 кГц і широку-40 кГц, комутація виведена на передню панель блока примача-збудника тумблером УЗК-ШИР. Основна вибірковість по сусідньому каналу забезпечується кварцевими фільтрами.

Напруга проміжної частоти 25МГц, підсилена каскадами вузькосмугового або широкосмугового трактив, подається через УПЧІІ і додатковий кварцевий фільтр на перетворювач, який перетворює частоту 25 МГц в 1,6 МГц. В якості гетеродина використовується кварцевий генератор, виконаний одній мікросхемі зі змішувачем. Напруга проміжної частоти 1,6 МГц підсилюється двома каскадами УПЧІІІ.

Тракт УПЧ забезпечує необхідне підсилення амплітудно-модульованих і частотно-модульованих сигналів. Підсилений АМ сигнал надходить на амплітудний детектор, детектор АРУ і комутатор АМ-ЧМ. ЧМ сигнал після обмеження детектується частотним детектором і через витоківий повторювачподається на вхід комутатора АМ-ЧМ. З виходу комутатора АМ-

ЧМ сигнал низької частоти через ключ ПШ подається на вхід УНЧ. Придушувач шуму порівнює рівні напруги сигналу і шумів і вмикає УНЧ при співвідношенні сигнал/шум  $> 2-3$ . Придушувач шуму може бути ввімкнений або викнений тумблером ПШ на пульті керування.

УНЧ охоплений системою АРУ для підтримки постійного рівня вихідної напруги. Виконавчим елементом системи АРУ є аттенюатор на вході УНЧ. Сигнал через попередній підсилювач і ФНЧ, де відбувається ослаблення частот вище 3400 Гц, надходить на підсилювач потужності. З виходу УНЧ напруга надходить на регулятор гучності пульта керування, а потім на телефони авіагарнітури. УНЧ забезпечує можливість прослуховування НЧ сигналів, які надходять на УНЧ.

На апаратуру АРК сигнал подається з виходу детектора на підсилювач. На апаратуру з симетричним входом сигнал знімається з вторинної обмотки вихідного трансформатора. Сигнали частотної телеграфії після частотного детектора регенеруються в ЧТ тракті, підсилюються і надходять на апаратуру ЧТ. Для забезпечення нормальної роботи приймача в заданому діапазоні застосовано автоматичне регулювання підсилення в трактах УВЧ, УПЧ і УНЧ.

Передавальний тракт формує АМ та ЧМ сигнали високої частоти в піддіапазонах МВ 100-149,975 МГц і ДМВ 220-399,975 МГц і підсилює їх до номіналу вихідної потужності.

В режимі «передача» працюють наступні вузли: збуджувач, синтезатор, ГУН, блок комутації, перетворювач постійної напруги, підсилювач потужності, модулятор, імпульсний стабілізатор напруги +12,6 В. Частота передавача формується в збуджувачі.

В склад блока збуджувача входять три автогенератори з електронним переналаштуванням, які працюють в піддіапазонах 100-149,975; 220-299,975; 300-399,975 МГц, широкосмугові підсилювачі піддіапазонів 100-149,975 МГц 220-399,975, змішувач збудника МВ і ДМВ піддіапазонів, схема фазового автоналаштування частоти і ЧМ генератор. Автогенератори збуджувача охоплені кільцем фазового автоналаштування частоти. Стабільність частоти

збудника визначається стабільністю частот ГУН і ЧМГ. Автогенератори керуються по двох ланцюгах: ланцюг грубого налаштування, ланцюг тонкого налаштування. Фазовий детектор системи ФАПЧ працює на частоті 25 МГц. Ця частота порівнюється в фазовому детекторі з частотою ЧМГ, і вироблений сигнал керування є напругою точного налаштування. Напруга автогенераторів підсилюється широкосмуговими підсилювачами і надходить на вхід відповідного підсилювача потужності.

Підсилювачі потужності МВ і ДМВ виконані на напівпровідникових приладах.

Для отримання необхідної потужності застосовані схеми сумування. В склад підсилювача потужності кожного діапазону входять:

попередній підсилювач;

кінцевий підсилювач;

антенний фільтр

рефлектометр;

ключ +12,6 В;

УПТ зі схемою порівняння.

Перемикання відповідного підсилювача потужності в залежності від діапазону здійснюється комутацією напруги живлення початкових каскадів. Після попереднього підсилення сигнал надходить на кінцеві каскади, де здійснюється колекторна модуляція. З вихідного каскаду сигнал через рефлектометр надходить на антенний фільтр, який забезпечує необхідне подавлення гармонічних складових, потім через комутатор піддіапазонів і антенний комутатор в антену.

Рефлектометр є датчиком вихідної потужності, за сигналом якого забезпечується захист вихідних транзисторів від перенавантаження при неузгодженості виходу передавача з антеною, шляхом зменшення величини напруги, що надходить на модулюючі каскади передавача. Сигнал керування формується шляхом порівняння суми напруг  $U_{\text{пад}}$  і  $U_{\text{отр}}$ , що надходять від

рефлетометра, з опорною напругою і керує схемою захисту від перенавантажень, розташованої в модуляторі.

Рефлектометр забезпечує контроль працездатності передавача по високій частоті. Для цього в режимі АМ проретектована напруга падаючої хвилі знімається з рефлектометра і подається на вхід УНЧ приймача для самопрослуховування. В режимі ЧМ постійна складова проретектованої напруги падаючої хвилі з рефлектометра надходить на ключ самопрослуховування, дозволяючи проходження низькочастотного модулюючого ЧМ сигналу з модулятора на вхід УНЧ.

В передавачі передбачено захист від стрибків бортмережі. У випадку перевищення напруги борт мережі 30 вольт кінцевий підсилювач модулятора вимикається, знімаючи живлення з кінцевих каскадів підсилювача потужності передавача. Модуляція передавача здійснюється наступним чином:

- в режимі АМ.

В режимі АМ низькочастотний сигнал від ларингофонів через ланцюги ручного регулювання чутливості модулятора або від обладнання із симетричним виходом через симетричний вхід підсилювача АМ-ЧМ сигналу і ФНЧ надходить на попередній підсилювач АМ і далі на кінцевий підсилювач модулятора. Кінцевий підсилювач, що працює в режимі класу А, являє собою параметричний стабілізатор, вихідна напруга якого змінюється в відповідності з низькочастотним модулюючим сигналом і подається в колекторні ланцюги кінцевих каскадів підсилювача потужності, де здійснюється колекторна модуляція високочастотного сигналу.

Модулятор охоплений ланцюгом автоматичного регулювання глибини модуляції: сигнал з входу кінцевого підсилювача модулятора детектується детектором АМ тракту, підсилюється УПТ і подається в АРГМ для регулювання рівня низькочастотного сигналу.

- в режимі ЧМ.

В режимі ЧМ низькочастотний сигнал через ланцюг ручного регулювання чутливості модулятора, підсилювач АМ-ЧМ сигналу і ФНЧ надходить на

комутатор ЧМ, який відкривається від команди ЧМ, а далі на підсилювач ЧМ тракту. Підсилений ЧМ сигнал модулює ЧМГ і переноситься кільцем ФАПЧ на вихідну частоту збуджувача, далі підсилюється трактом підсилювача потужності відповідного діапазону. При цьому попередній підсилювач АМ тракту замикається командою ЧМ і немодульована напруга +14 В з виходу модулятора живить колекторні ланцюги кінцевих каскадів підсилювача потужності.

ЧМ тракт модулятора, так само, як і АМ тракт охоплений ланцюгом автоматичного регулювання глибини модуляції; сигнал з підсилювача ЧМ тракту надходить на детектор АРГМ тракту ЧМ, після чого підсилюється УПТ і подається в ланцюг АРГМ для регулювання рівня низькочастотного сигналу.

- в режимі ЧТ.

В режимі ЧТ інформація ЧТ надходить з блока комутації на ЧМГ, модулює його і кільцем ФАПЧ переноситься на вихідну частоту збуджувача, далі підсилюється трактом УМ відповідного діапазону. В режимі ЧТ підсилювач АМ-ЧМ замикається командою «Ввімк. ЧТ». Живлення кінцевих каскадів підсилювача потужності передавача здійснюється немодульованою напругою +14 В, яка знімається з виходу модулятора. В режимі ЧТ в модуляторі формується сигнал готовності передавача із сигналу ввімкнення ЧТ і напруги падаючої хвилі, яка знімається із рефлектометра підсилювача потужності. Сигнал готовності передавача подається на ЧТ обладнання, дозволяючи передачу ЧТ інформації.

- в режимі несущої.

При відсутності модуляції для живлення колекторних ланцюгів кінцевих каскадів підсилювача потужності подається +14 В з вихода модулятора. В режимі «прийом» передбачено відключення кінцевого підсилювача потужності модулятора і відповідно кінцевого підсилювача потужності. Використання радіостанції в якості резервного СПУ здійснюється за допомогою ключа СПУ.

#### 1.4. Аналіз наявної елементної бази плати збуджувача

Плата збуджувача радіостанції Р-863 є ключовим вузлом, що відповідає за формування високочастотного сигналу із заданою частотою і стабільністю, який є основою для подальшого підсилення та передачі через антену. Від якості роботи цього вузла залежить дальність зв'язку, чистота спектра сигналу, стабільність роботи всієї радіостанції та надійність передачі інформації. Тому детальний аналіз наявної елементної бази плати збуджувача є важливим етапом у процесі оцінки її технічного стану та перспектив модернізації.

В платі збуджувача використані різні типи компонентів, які за своєю функцією і конструкцією можна поділити на пасивні елементи, активні компоненти та спеціалізовані пристрої. Пасивні компоненти представлені резисторами, конденсаторами та індуктивностями. Резистори застосовані у вигляді осьових дискретних елементів, виготовлених із металоплівки або вуглецевого матеріалу. Вони виконують функцію формування струмів та напруг у різних частинах схеми, визначаючи робочі точки активних елементів. Конденсатори представлені керамічними та електролітичними типами. Керамічні конденсатори використовуються у високочастотних колах для фільтрації шумів і стабілізації генератора, а електролітичні – в ланцюгах живлення для згладжування пульсацій та стабілізації напруги. Індуктивності у вигляді котушок із феритовими сердечниками виконують функцію фільтрації та формування необхідних частотних характеристик, забезпечуючи стабільність параметрів при температурних змінах.

Активні компоненти плати складаються переважно з біполярних транзисторів і діодів. Транзистори є підсилювачами сигналу в схемі збуджувача. Вони мають металеві корпуси, що забезпечують ефективне відведення тепла і стабільність роботи під навантаженням. Діоди, у тому числі стабілітрони, застосовуються для захисту елементів схеми від перенапруг і для стабілізації напруги у ключових вузлах плати.

Особливе значення в схемі мають спеціалізовані компоненти — кварцеві резонатори і варикапи. Кварцеві резонатори забезпечують високоточну стабілізацію частоти сигналу, завдяки своїй механічній стабільності і низькому температурному коефіцієнту. Варикапи використовуються для тонкого налаштування частоти генератора шляхом зміни ємності під впливом керуючої напруги, що дає можливість оперативно коригувати параметри сигналу.

Проте, незважаючи на базову надійність і працездатність елементної бази, існує ряд суттєвих недоліків. Пасивні компоненти, такі як резистори і конденсатори старого зразка, мають підвищений температурний коефіцієнт, через що їхні параметри змінюються при коливаннях температури, що негативно впливає на стабільність роботи плати. Особливо це стосується електролітичних конденсаторів, які з часом втрачають ємність і можуть викликати нестабільність живлення. Котушки індуктивності через нерівномірність намотки або низьку якість ізоляції також схильні до зміни параметрів в процесі експлуатації. Крім того, застосування великогабаритних дискретних компонентів збільшує розміри і вагу плати, що є обмеженням для мобільних радіостанцій.

Ще одним суттєвим мінусом є підвищене енергоспоживання, пов'язане з менш енергоефективними типами транзисторів і старими схемотехнічними рішеннями. Це спричиняє значні теплові втрати, що вимагають додаткових заходів охолодження, і негативно впливає на загальну ефективність радіостанції. Також слід відзначити, що деякі компоненти, які застосовані у платі, вже не виробляються або мають обмежену доступність на ринку, що створює труднощі при ремонті та модернізації обладнання.

Якість використовуваних компонентів безпосередньо впливає на такі параметри плати збуджувача, як стабільність частоти, чистота спектра сигналу, надійність роботи і ремонтпридатність. Зокрема, стабільність частоти залежить від точності кварцевих резонаторів та стабілізації напруги у схемі, чистота спектра визначається властивостями пасивних елементів, а надійність — тепловими характеристиками і стабільністю робочих точок транзисторів.

Враховуючи сучасні технології, очевидними стають перспективи модернізації елементної бази.

Переваги переходу на сучасні SMD-компоненти є очевидними. Вони мають значно менші розміри і вагу, що дозволяє зменшити габарити плати і всієї радіостанції. Крім того, SMD-компоненти мають кращу стабільність параметрів завдяки високій точності виготовлення та більш досконалим матеріалам. Важливою перевагою є підвищена енергоефективність, що знижує теплові втрати і зменшує вимоги до систем охолодження. Виробництво плати з SMD-компонентів також сприяє автоматизації процесу монтажу, що підвищує якість і зменшує собівартість. Стандартизація типів компонентів полегшує їх заміну та ремонт.

В рамках модернізації планується заміна металоплівкових і вуглецевих резисторів на SMD-різновиди із низьким температурним коефіцієнтом, використання керамічних і танталових конденсаторів із покращеними параметрами, а також оновлення активних елементів — сучасних транзисторів із кращими тепловими характеристиками і вищим коефіцієнтом підсилення. Сучасні кварцеві резонатори з покращеною стабільністю частоти дозволять зменшити частотні дрейфи, а застосування цифрових стабілізаторів напруги підвищить надійність роботи плати.

Таким чином, аналіз наявної елементної бази плати збуджувача радіостанції Р-863 виявив основні переваги і недоліки існуючих рішень, а також надав обґрунтування необхідності і напрямків модернізації. Впровадження сучасних компонентів дозволить значно покращити характеристики плати, знизити її габарити і вагу, підвищити енергоефективність і надійність, а також забезпечити простоту ремонту і подальшого технічного обслуговування.

## РОЗДІЛ 2

### ВИБІР СУЧАСНИХ КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ ЗАМІНИ

#### 2.1. Критерії підбору нової елементної бази

Процес модернізації радіоелектронної апаратури, зокрема вузлів військових або авіаційних радіостанцій, таких як Р-863, потребує ґрунтового технічного підходу до підбору нової елементної бази. Особливо це стосується плати збуджувача, яка відіграє ключову роль у формуванні та стабілізації сигналу. Основним завданням на цьому етапі є заміна морально застарілих дискретних компонентів на сучасні поверхнево-монтовані аналоги, що дозволяє забезпечити підвищену надійність, компактність та автоматизоване виготовлення апаратури.

Підбір компонентів виконується з урахуванням ряду фундаментальних критеріїв, що забезпечують як електричну, так і конструктивну та експлуатаційну відповідність нової елементної бази.

##### **1. Електрична відповідність.**

Найпершим і головним критерієм є збереження електричних характеристик компонентів, що замінюються. Зокрема:

Номинальні параметри. Усі резистори, конденсатори, діоди, індуктивності та інші елементи підбираються за значенням опору, ємності, індуктивності, максимально допустимої напруги, струму тощо. Важливо, щоб новий компонент мав таке саме або близьке значення до оригінального.

Допуск параметрів. Для забезпечення стабільності роботи радіоелектронної схеми, необхідно враховувати клас точності компонента. Наприклад, конденсатори для фільтрів або коливальних контурів повинні мати допуск  $\pm 5\%$  або  $\pm 10\%$ , резистори — до  $\pm 1\%$  у прецизійних ділянках схеми.

Робоча напруга та потужність. Конденсатори повинні витримувати не меншу, а бажано — більшу напругу, ніж у вихідному варіанті, з урахуванням запасу по стійкості. Аналогічно, резистори повинні мати достатню потужність розсіювання, яка гарантує їх стабільну роботу без перегріву.

Температурна стабільність. У випадках, де елемент працює у режимі змінних температур (наприклад, в авіаційній апаратурі), обов'язковим є вибір компонентів із низьким температурним коефіцієнтом. Наприклад, для резисторів — не вище  $\pm 100$  ppm/°C, для конденсаторів — тип NP0 (C0G) або X7R.

## **2. Конструктивна сумісність.**

Оскільки модернізація передбачає перехід від наскрізного (вивідного) монтажу до поверхневого, надзвичайно важливо правильно вибрати габарити та тип корпусів компонентів. Це забезпечує механічну надійність, спрощує монтаж, підвищує автоматизацію виробництва:

Розміри корпусів. Найбільш поширеними є SMD-розміри 0603, 0805, 1206 для резисторів і конденсаторів, SOT-23 для транзисторів, SOIC і TSSOP для мікросхем.

Сумісність із платою. Нові компоненти повинні мати достатній механічний запас по міцності, не створювати перешкод при розміщенні на платі, витримувати вплив вібрацій та навантажень, характерних для авіаційної техніки.

Тепловий режим. При виборі корпусу обов'язково враховується теплове розсіювання. Наприклад, для елементів, які генерують тепло — бажано використовувати корпуси з більшою площею теплообміну (наприклад, 1206 замість 0805).

## **3. Виробнича доступність.**

Один із важливих факторів — це наявність компонентів на ринку та можливість довготривалої закупівлі. Вибір на користь серійних, широко доступних виробів від надійних виробників (Murata, Yageo, Vishay, TDK,

ROHM, AVX) дозволяє уникнути проблем із ремонтом, техобслуговуванням або повторним виготовленням апаратури.

Також варто враховувати відповідність нової елементної бази стандартам екологічної безпеки (RoHS, REACH), що є критично важливим у сучасному виробництві.

#### **4. Сумісність із технологіями монтажу.**

Нові компоненти мають бути адаптовані до застосування стандартних методів поверхневого монтажу: інфрачервоного, конвекційного, хвильового паяння. Тому важливо враховувати:

- Термічну стійкість.
- Стійкість до циклічних термонавантажень.
- Матеріал корпусу та тип контактів.

Такі вимоги особливо актуальні при переході на автоматизовану пайку у виробництві.

## **2.2. Порівняння старих і нових компонентів**

У рамках модернізації плати збуджувача радіостанції P-863 проведено комплексну заміну застарілої елементної бази на сучасні SMD-компоненти, що забезпечують підвищення надійності, точності і технологічності виробу, а також сприяють зменшенню габаритів і ваги плати.

### **Резистори.**

Традиційні резистори типу МТ-0.125, МТ-0.25 і ОМЛТ мали циліндричну конструкцію з виводами для монтажу в отвори, а також широку розбіжність у допусках ( $\pm 10\%$ ). Вони відрізнялись середніми температурними коефіцієнтами та меншою стабільністю у порівнянні з сучасними аналогами. Для заміни обрані SMD-резистори серії RC0805 від виробника Yageo, які мають точніший допуск (часто  $\pm 1$  або  $\pm 5\%$ ), менші габарити та підвищену температурну стабільність.

Це забезпечує надійність роботи при коливаннях температури і зменшує ризик деградації параметрів із часом. Компактний корпус RC0805 також дає змогу знизити масу плати та підвищити щільність монтажу. Резистори типу **ОМЛТ** (оксидно-металоплівкові) мали високий рівень надійності з напрацюванням на відмову до **100 000 годин**. Їхнім сучасним аналогом є **RC0805JR (Yageo)**, який має такий самий або вищий ресурс (до **200 000 годин** при 55 °С) завдяки стабільному металооксидному шару та малому тепловому дрейфу. Аналогічна ситуація з резисторами **МТ** (металоплівкові), які мали ресурс близько **75–100 тис. годин**. Їхній SMD-еквівалент також може бути **RC0805JR**, що забезпечує аналогічну стабільність опору, кращу повторюваність параметрів і сумісність з автоматизованим монтажем.

### **Конденсатори.**

Старі керамічні конденсатори серій КМ-5б, КД-1, К53, КТ4 і К10-у мали великі допуски (наприклад, +50%/-20% у випадку КМ-5б-Н30-6800 пФ), відносно великі габарити і низьку стабільність параметрів при температурних змінах. В нових рішеннях використані багат шарові керамічні конденсатори типу MLCC (серії GRM від Murata, С1206 від Kemet та аналогічні) із допусками  $\pm 10\%$  і більш стабільною роботою в широкому діапазоні температур. Вони мають менші розміри (типові корпуси 0805 або 1206), що позитивно впливає на компактність плати. Такі конденсатори також характеризуються низьким рівнем втрат, що важливо для високочастотних і вібраційних застосувань. Керамічні конденсатори КМ-5б, які застосовувались у ВЧ-каскадах, зазвичай працювали до 20–30 тис. годин, проте були чутливими до вологи та механічних пошкоджень. Сучасний аналог С1206С682К5РАСТU (від Kemet), із ємністю 6,8 нФ, має напрацювання до 500 000 годин у режимі безперервної роботи при 85 °С. Це стало можливим завдяки використанню стабільного керамічного діелектрика X7R і герметичного SMD-корпусу.

Паперові конденсатори КД-1 мали дуже обмежений ресурс — від 2 000 до 5 000 годин, і швидко деградували у вологому середовищі. Їхній SMD-аналог GRM155R71E270KA01D (Murata, 27 нФ) на базі X7R-кераміки має типове

напрацювання понад 100 000 годин, високу температурну стабільність та стійкість до електричних пробоїв.

Конденсатори КТ-4 (електролітичні, герметизовані) зазвичай працювали не більше 1 500–4 000 годин при температурі 85 °С, що значно нижче сучасних стандартів. Їхній SMD-аналог GRM21BR71E100KA01L (10 мкФ, 25 В) є тантал-керамічним конденсатором з великим ресурсом — до 200 000 годин, низьким ESR і стійкістю до пульсацій.

### **Варикапи.**

Варикапи 2B110B і 2B110A, які застосовувалися раніше, виготовлялись у застарілих технологіях з більшими корпусами і нижчою якістю параметрів, зокрема — нестабільністю добротності та варіаціями ємності при коливаннях напруги. Сучасним аналогом обрано кремнієвий варикап SMV1247, який має покращені електричні характеристики, більш компактний корпус і кращу стабільність параметрів, що позитивно позначається на загальній точності роботи контуру збудження. Варикап **2B110B** мав ресурс близько **10 000 годин**, при цьому сильно деградував при перевищенні керуючої напруги або температурних режимів. Сучасний аналог **SMV1247** (Skyworks) має не тільки вищу лінійність, але й напрацювання до **100 000 годин**, гарантуючи стабільність при роботі у ВЧ-діапазоні до 2,5 ГГц.

### **Діоди.**

Діоди 2A507A і 2Д103А були поширеними в радянській елементній базі, але відрізнялись більшими габаритами і повільнішою швидкодією. Відповідно, для заміни обрано сучасні кремнієві швидкодіючі діоди 1N1184R і 1N4148, які мають нижчий зворотній струм, кращу стабільність при високих частотах і більшу довговічність. Їхній SMD-корпус також дозволяє зменшити площу монтажу.

### **Індуктивності.**

Котушка індуктивності ДМ-0.4-20 мкГн  $\pm 5\%$  мала великі габарити і масу, що ускладнювало монтаж і обмежувало щільність компонентів на платі. Її замінено на поверхневу SMD-котушку серії 1008LS-22NX, яка має аналогічні

параметри індуктивності, але значно менші габарити і масу, що позитивно впливає на загальну компоновку плати та знижує індуктивні втрати.

### **Транзистори.**

Раніше застосовувалися транзистори 2Т919Б, 2Т203Г, 2Т355А, 2Т203 з великими корпусами і низькою стабільністю параметрів. Вони мали значні паразитні ємності, що обмежувало частотний діапазон і підвищувало теплові втрати. Сучасні SMD-транзистори (наприклад, BFR93, BFR96S, BFU590G) забезпечують високу частотну характеристику, кращу тепловіддачу, менший паразитний вплив та значно менші розміри, що покращує роботу ВЧ-каскадів і підвищує надійність роботи плати. Транзистор **2Т919Б** (ВЧ, герметизований, до 600 МГц) мав середній ресурс **15 000 годин**. Його сучасний аналог **BFU590GX** (NXP) має значно більшу частотну межу (до 7 ГГц), низький шум і ресурс понад **150 000 годин**, що вдесятеро перевищує характеристики оригінального елемента. Потужні транзистори 2Т203Г та 2Т203 (в УМ) працювали зазвичай 8 000–12 000 годин, після чого зростали струми витоку або відбувались теплові пробої. Сучасний транзистор D44H11T (ON Semiconductor), у корпусі TO-252 або DPAK, має ресурс понад 100 000 годин при правильному охолодженні, з вищою стійкістю до імпульсних навантажень.

Транзистор 2Т355А (NPN, середньої потужності) із ресурсом 12 000 годин може бути ефективно замінений на BCX70K, що має аналогічні електричні характеристики, але працює стабільно до 200 000 годин у типовому SMD-застосуванні.

### **Мікросхеми.**

Застарілі мікросхеми 1НТ251 і 235ПС1 не мають сучасних аналогів з прямою заміною і вимагають перепроєктування або використання адаптерних плат на основі сучасних мікроконтролерів або логічних елементів. Це дає можливість розширити функціональність, підвищити гнучкість налаштувань і покращити надійність роботи електронної системи в цілому. Мікросхема 1НТ251, що виконувала функцію стабілізації напруги (наприклад,  $\pm 15$  В), мала ресурс 10 000–15 000 годин. У сучасних системах їй відповідає LM7815ACM,

яка має вдосконалене теплове управління та ресурс 100 000–250 000 годин, підтверджений серією промислових випробувань.

Мікросхема 235PC1, імовірно логічний елемент (наприклад, NAND), мала типовий ресурс до 20 000 годин. Аналогом є 74HC00 — чотири незалежних елементи NAND, у корпусі SOIC або TSSOP. Завдяки CMOS-технології ресурс таких мікросхем перевищує 500 000 годин, зокрема в режимі низького енергоспоживання.

### **2.3. Електричні та конструктивні відповідності**

У процесі модернізації плати збуджувача радіостанції Р-863 ключовою задачею було забезпечення повної відповідності нових сучасних компонентів до електричних і конструктивних характеристик оригінальних елементів. Це дозволило зберегти коректну роботу плати, уникаючи необхідності значних змін у схемотехнічній частині або конструктивній платформі, а також підтримати необхідний рівень надійності та стабільності експлуатації.

#### **Електрична відповідність.**

Забезпечення електричної відповідності передбачало детальний аналіз параметрів замінюваних компонентів. Для кожної групи елементів було визначено основні характеристики, які мають бути збережені або покращені:

**Резистори:** Головними параметрами для резисторів залишаються номінал опору, допуск, максимально допустима потужність розсіювання та температурний коефіцієнт опору. Враховуючи, що сучасні SMD-резистори мають меншу теплову інерцію та габарити, їх вибір був орієнтований на серії з допуском  $\pm 1-5\%$  та потужністю не менше ніж 0.125 Вт, що відповідає або перевищує параметри старих елементів типу МТ та ОМЛТ. Також нові резистори мають покращені температурні характеристики, що забезпечує

стабільність роботи у різних температурних режимах і мінімізує похибки, викликані тепловими змінами.

**Конденсатори:** Вибір нових конденсаторів був особливо важливим, оскільки вони відіграють критичну роль у формуванні сигналів та фільтрації в колах високих частот. Застосовані багатошарові керамічні конденсатори (MLCC) у корпусах 1206, 0805 та 0402 від провідних виробників мають низький еквівалентний серійний опір (ESR) та індуктивність (ESL), що зменшує втрати та покращує роботу на ВЧ. Їхні параметри, такі як ємність, допуск, робоча напруга та температурна стабільність, були підібрані з урахуванням відповідності старим типам (КМ-56, КД-1, К53). Окрім цього, сучасні конденсатори мають підвищену надійність та менший розкид параметрів, що сприяє стабільній роботі плати.

**Індуктивності:** Заміну індуктивностей (дроселів) типу ДМ-0.4 здійснено на компактні SMD-котушки із феритовим осердям, що мають стабільні параметри індуктивності та низькі втрати на ВЧ. Вибір дроселів із серії 1008LS дозволив зменшити габарити й вагу елементів, а також покращити термічний розподіл тепла. Важливою характеристикою є також висока стабільність індуктивності у робочому температурному діапазоні та стійкість до механічних впливів.

**Варикапи і діоди:** Для варикапів типу 2В110В і 2В110А, а також діодів 2А507А та 2Д103А було підібрано сучасні високочастотні кремнієві аналоги із серій SMV і 1N, що забезпечують аналогічні або покращені параметри зворотної напруги, швидкодії та ємності. Це сприяє більш ефективній модуляції та стабілізації частоти, що є критично важливим для функціонування плат збуджувача.

#### **Конструктивна відповідність.**

З точки зору конструкції, важливо було зберегти габаритно-монтажні параметри компонентів, аби не порушити існуючий дизайн друкованої плати та механічної компоновки радіостанції. Це знизило витрати на переоснащення виробництва та дозволило зберегти уніфікованість вузлів.

**Розміри корпусів:** Обрані SMD-компоненти у стандартних корпусах 0805, 1206 і 0402 відповідають габаритам, які легко інтегруються на існуючій друкованій платі без необхідності зміни трасування або монтажних отворів. Це гарантує безпроблемний монтаж нових компонентів, як вручну, так і автоматизованим способом.

**Тип монтажу:** Заміна традиційних вивідних компонентів на поверхневий монтаж (SMD) суттєво підвищує технологічність виробництва, зменшує час та вартість монтажу, а також покращує надійність з'єднань завдяки використанню сучасних технологій пайки. Крім того, SMD-компоненти забезпечують кращу механічну стійкість до вібрацій і ударів, що особливо важливо для польових умов експлуатації радіостанції.

**Тепловідведення:** У порівнянні зі старими деталями, нові SMD-компоненти мають менші розміри і масу, що призводить до швидшого нагрівання. Тому під час вибору та розміщення елементів на платі враховувалися теплові параметри, а також можливості системи охолодження. Особливо це стосується резисторів і котушок індуктивності, які можуть розсіювати значну потужність. Правильне розміщення компонентів з урахуванням теплового режиму запобігає перегріву та підвищує довговічність плати.

**Механічна сумісність:** При виборі нових компонентів було також враховано особливості монтажу в корпусі радіостанції Р-863. Це дозволило зберегти штатну конструкцію корпусу без необхідності вносити складні зміни або додаткові адаптери, що знижує час і вартість модернізації

Таким чином, модернізація плати збуджувача на основі заміни застарілих компонентів сучасними SMD-аналогами дозволяє не лише зберегти електричні характеристики і функціональність, але й значно підвищити надійність, зменшити габарити та вагу, а також поліпшити тепловідвід і стійкість до зовнішніх впливів. Врахування всіх перелічених аспектів є запорукою успішної інтеграції нових елементів у вже існуючу конструкцію без потреби суттєвих доопрацювань.

Крім того, використання сучасної елементної бази відкриває нові можливості для подальшої автоматизації виробництва, спрощує технічне обслуговування і ремонт, а також забезпечує сумісність із сучасними технологіями монтажу і контролю якості.

#### **2.4. Аналіз сумісності та обґрунтування вибору**

Під час модернізації плати збуджувача радіостанції Р-863 одним із ключових завдань було забезпечення максимальної сумісності нових компонентів із існуючою схемою, конструкцією та експлуатаційними вимогами пристрою. Це передбачало комплексний аналіз не лише електричних параметрів, а й конструктивних, технологічних та експлуатаційних характеристик кожного компонента. Основна мета полягала у тому, щоб заміна морально та фізично застарілих елементів на сучасні аналоги не призвела до погіршення функціонування збуджувача, а навпаки — забезпечила підвищення надійності та стабільності роботи радіостанції в цілому.

В першу чергу, при виборі нових резисторів і конденсаторів було критично важливо дотримуватися точних номінальних значень, а також допусків і температурних характеристик, оскільки навіть незначні відхилення можуть вплинути на параметри частоти генерації і стабільність сигналу. Нові SMD-компоненти від провідних виробників, таких як Yageo, Murata, TDK, Kemet, мають більш високу температурну стабільність, менші паразитні ємності і індуктивності, що особливо актуально для високочастотних ланцюгів збуджувача. Це дозволяє значно знизити вплив зовнішніх факторів, таких як зміна температури навколишнього середовища, на роботу пристрою.

Варикапи, які раніше виконували роль налаштовуваних ємностей, замінено на сучасні кремнієві варикапи з поліпшеними характеристиками добротності і робочого діапазону ємностей, що забезпечує більш точне і стабільне

налаштування частоти генератора. Подібним чином, швидкодіючі кремнієві діоди, які замінили старі типи, значно підвищують надійність, мають менші втрати та кращу температурну стабільність.

З конструктивної точки зору застосування компонентів у стандартних SMD-корпусах (0805, 1206) не тільки зберігає існуючі габарити та монтажні умови, але й суттєво покращує технологічність виготовлення плати. SMD-компоненти забезпечують вищу механічну стійкість до вібрацій і ударів, що особливо важливо для військової техніки, яка може експлуатуватися в жорстких умовах. Автоматизація монтажу з використанням цих типорозмірів також підвищує якість пайки і знижує ризик браку, що позитивно впливає на загальну надійність виробу.

Особлива увага приділялася сумісності індуктивних елементів, оскільки заміна котушок індуктивності потребує збереження точних параметрів індуктивності, якості сердечника і мінімізації втрат. Використання сучасних SMD-дроселів серії 1008LS із гарантованими допусками та стабільністю параметрів забезпечує відповідність оригінальним характеристикам і полегшує інтеграцію з існуючою схемою.

Також при виборі компонентів брали до уваги їхні електромагнітні властивості та сумісність з нормами електромагнітної сумісності (ЕМС). Сучасні елементи мають кращі параметри шумозаглушення, що важливо для зниження рівня перешкод у ВЧ-ланцюгах і забезпечення чіткої роботи радіостанції в складних радіоелектронних середовищах.

Крім того, було враховано аспекти довговічності і надійності компонентів у процесі експлуатації, зокрема стійкість до корозії, вібраційних навантажень, перепадів температур і вологи. Сучасні SMD-компоненти відповідають підвищеним стандартам військової техніки, що суттєво продовжує ресурс роботи плати збуджувача і знижує потребу у частому обслуговуванні або ремонті.

Обґрунтування вибору нової елементної бази ґрунтується на поєднанні максимальної відповідності електричних параметрів з істотним підвищенням

надійності, технологічності та стабільності роботи. Використання новітніх матеріалів і технологій виробництва дозволяє отримати кращу тепловіддачу, знизити паразитні ефекти та мінімізувати габарити та вагу пристрою. В результаті, модернізована плата збуджувача радіостанції Р-863 стає більш ефективною, довговічною та готовою до роботи у сучасних складних умовах експлуатації.

Таким чином, ретельний підбір і обґрунтування застосування нових компонентів забезпечують не лише підтримання функціональності, а й створення надійної та перспективної бази для подальших технічних удосконалень і адаптації радіостанції до сучасних вимог.

## РОЗДІЛ 3

### ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА: ЗАМІНА КОМПОНЕНТІВ НА ПЛАТІ ЗБУДЖУВАЧА

#### 3.1. Конструкція плати

Плата збуджувача радіостанції Р-863 (Рис. 3.1) є одним із ключових елементів у структурі пристрою, відповідальним за генерацію та формування високочастотного сигналу, що впливає на загальну якість роботи радіостанції. Плата конструктивно входить до складу блоку 1 (приймача-збуджувача) і розміщена у субблоці 1-8.

Виготовлена вона із застосуванням багатошарової друкованої плати (ДП), основу якої складає склотекстоліт із мідним покриттям. Такий вибір матеріалу забезпечує міцність конструкції, стабільність електричних характеристик та стійкість до впливу вологості й механічних навантажень, що є важливим для роботи в різних кліматичних умовах та підвищеної вібрації. Мідні шари плати ретельно захищені від окислення, що позитивно впливає на довговічність контактів і знижує ризик виникнення переривань або підвищеного опору в електричних ланцюгах.

Розміщення елементів на платі продумане з урахуванням вимог до високочастотної техніки, де навіть незначні паразитні індуктивності або ємності можуть вплинути на роботу генератора. Тому компоненти, що утворюють резонансні ланцюги, підсилювачі та стабілізатори, розташовані максимально близько один до одного, що дозволяє мінімізувати довжину з'єднувальних провідників і відповідно знизити паразитні ефекти. Така топологія сприяє збереженню параметрів сигналу, покращує стабільність частоти генерації та знижує втрати енергії.

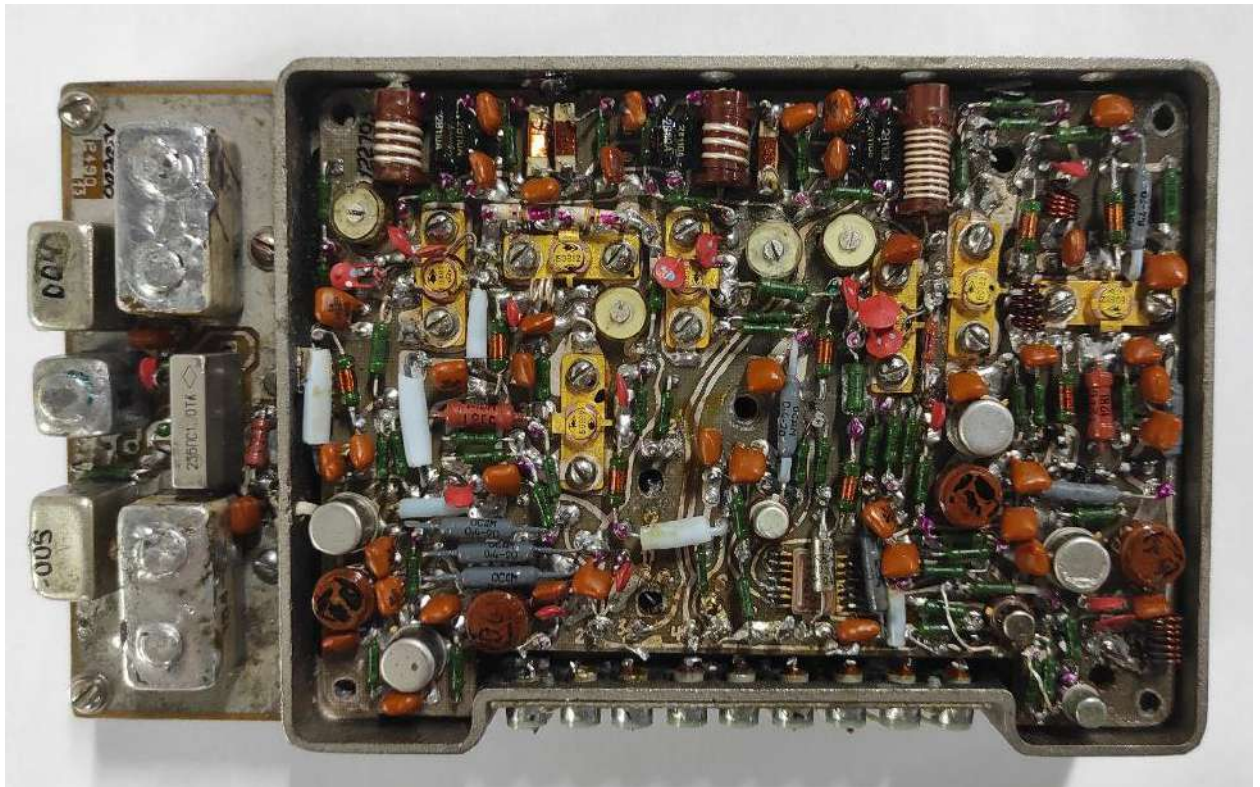


Рис. 3.1. Зображення плати збуджувача радіостанції Р-863

Початкова конструкція плати передбачала використання вивідних компонентів (дискретних резисторів, конденсаторів, котушок індуктивності), що хоча і були поширеними у свій час, однак мають суттєві недоліки з точки зору сучасних технологій: великі габарити, обмежена стабільність параметрів через механічні навантаження, значні втрати через паразитні елементи та ускладнений монтаж. Крім того, застосування вивідних елементів ускладнювало автоматизацію виробничого процесу, оскільки ручний монтаж або напівавтоматичний метод збиралися застарілими технологіями, що негативно впливало на якість та стабільність кінцевого виробу.

З метою підвищення надійності, скорочення розмірів і маси плати, а також для можливості застосування сучасних автоматизованих процесів виробництва було прийнято рішення про заміну вивідних компонентів на поверхневі монтажні (SMD) аналоги. Використання SMD-компонентів дозволяє суттєво зменшити розміри плати, оскільки вони мають компактні корпуси, що мінімізують необхідну площу монтажу. Крім того, SMD-компоненти мають

кращу тепловіддачу, що важливо для стабільної роботи у режимі підвищених навантажень.

Плата розбита на функціональні блоки, кожен із яких відповідає за конкретну задачу: генерація сигналу, його підсилення, стабілізація живлення, а також керування і фільтрація. Такий поділ сприяє логічній структурованості, що полегшує аналіз роботи кожного блоку, їхнє тестування та ремонт у разі необхідності. Крім того, модульність конструкції дозволяє у майбутньому виконувати модернізацію окремих частин без необхідності повної заміни плати.

Серед переваг такої конструкції варто відзначити високу якість виготовлення багатопшарової ДП з оптимізованим розташуванням провідників, що зменшує перешкоди і паразитні ефекти. Застосування сучасних SMD-компонентів значно покращує надійність контактів і дає змогу проводити автоматизований монтаж, що підвищує стабільність параметрів виробів та знижує виробничі витрати у великосерійних партіях. Конструкція також відрізняється зменшеними розмірами і масою, що є критично важливим для мобільних радіостанцій, де вагові та габаритні обмеження мають першочергове значення.

Проте конструкція має і низку недоліків, які необхідно враховувати. По-перше, початкова версія плати з вивідними елементами мала більш простий ремонт — елементи було легко замінити вручну, у той час як SMD-компоненти потребують більш точного обладнання і кваліфікованого персоналу для монтажу і ремонту. По-друге, відсутність додаткових заходів щодо тепловідводу у місцях скупчення елементів може призводити до локального перегріву, що знижує довговічність роботи і стабільність параметрів. Необхідно впроваджувати додаткові елементи тепловідводу або проектувати плати з урахуванням оптимального розсіювання тепла. Також існує ризик недостатнього захисту плати від електромагнітних завад, що може впливати на якість сигналу в умовах складних радіоелектронних середовищ. Для покращення цього аспекту можна впроваджувати додаткові фільтри, екрани або використовувати екрановані корпуси.

З огляду на перелічені особливості, конструкція плати збуджувача радіостанції Р-863 у сучасному виконанні поєднує в собі передові технології виготовлення та компонентну базу, що забезпечують високу якість сигналу, надійність і довговічність пристрою. Разом із цим, необхідно приділяти увагу деталям конструкції, які можуть стати причиною зниження ефективності роботи або скорочення ресурсу в умовах інтенсивної експлуатації.

### **3.2. Технологія демонтажу старих компонентів**

У ході модернізації плати збуджувача радіостанції Р-863, одним із ключових етапів став процес встановлення нових компонентів після демонтажу старої елементної бази. Враховуючи специфіку радіочастотної техніки, де особливо важливими є електрична надійність, стабільність параметрів та якість монтажу, процес встановлення нових компонентів проводився з дотриманням сучасних стандартів монтажу поверхневих елементів (SMD).

Перед початком встановлення нових компонентів проводилась комплексна підготовка робочого місця: використовувалися антистатичні килимки, браслети та пінцети, щоб запобігти електростатичному розряду, який міг би пошкодити чутливі компоненти. Плата після демонтажу старих деталей підлягала ретельному очищенню. З поверхні видаляли залишки старого флюсу, окислів та мікрочастинок, що накопичились у процесі експлуатації. Для цього використовували ізопропіловий спирт та спеціальні щітки з антистатичним ворсом. Додатково проводився візуальний огляд контактних площадок — перевірялося, чи немає пошкоджень провідників, обривів чи відшарувань шару металізації.

Далі здійснювалося нанесення паяльної пасти — ключового елементу в технології поверхневого монтажу. Паста наносилась точково за допомогою дозатора-шприца, щоб уникнути надлишкового нанесення, яке може

спричинити утворення коротких замикань. У даному проєкті використовувалась безсвинцева паяльна паста на основі сплаву SAC305 (Sn96.5Ag3Cu0.5), яка відповідає екологічним нормам та забезпечує високу якість паяних з'єднань.

Компоненти у корпусах типу 0805, 1206, 1008, а також дрібніші типорозміри (наприклад, 0603) встановлювались вручну з використанням антистатичного пінцета та оптичного збільшення — лупи або мікроскопа. При цьому враховувалася полярність компонентів — для електrolітичних конденсаторів, діодів, варикапів тощо. Неправильне встановлення таких елементів могло спричинити критичну помилку при подачі живлення на схему. Щоб цього уникнути, монтаж здійснювався за попередньо підготовленими кресленнями та розмітками.

Процес паяння залежав від типу елемента і щільності його розташування на платі. Для одиничних компонентів використовувалася паяльна станція з регульованою температурою жала — зазвичай у межах 270–300 °C. У місцях з великою кількістю компонентів, де було небезпечно перегріти плату, використовувалася термовоздушна станція з контролем температури повітряного потоку. Такий підхід дозволив уникнути деформації SMD-корпусів, а також перегріву підкладки плати.

Після встановлення всіх елементів проводився ретельний контроль якості монтажу. Візуальна перевірка проводилася під мікроскопом — визначалися можливі дефекти: «холодна пайка», утворення «містків», неповне змочування, тріщини або механічні пошкодження корпусів компонентів. Також проводився електричний контроль: за допомогою мультиметра тестувалися основні ланцюги на коротке замикання та обриви. У разі виявлення дефектів проводилося локальне виправлення — повторне пропаювання або, якщо потрібно, заміна пошкодженого компонента.

Складність полягала ще й у тому, що деякі компоненти, як наприклад варикапи, діоди або транзистори, мали особливі вимоги до теплового режиму

паяння. Вони встановлювались із використанням тепловідвідних підкладок або пайкою в два етапи: спочатку фіксація, потім основне з'єднання.

Окрім технічних аспектів, увага приділялась і точному дотриманню схеми монтажу, щоб не допустити логічних помилок, які можуть вивести з ладу всю плату. Через зменшення габаритів нових елементів з'явилась додаткова вільна площа, яку в подальшому можна використати для розширення функціоналу пристрою.

### **3.3. Адаптація та зміни в схемі**

У процесі модернізації плати збуджувача радіостанції Р-863 ключовим етапом стала адаптація електричної схеми та конструкції друкованої плати до нової елементної бази. Оскільки початкове виконання передбачало застосування виключно компонентів з вивідним монтажем (черезотвірних), використання сучасних SMD-аналогів вимагало суттєвих змін як у схемотехнічній частині, так і в конструктиві плати.

Передусім було проведено комплексне перенесення принципової схеми до сучасної САД-системи (наприклад, Altium Designer або KiCAD), де здійснювалось оновлення позначень компонентів, бібліотек, номіналів і корпусів відповідно до специфікацій нових елементів. Це стало базою для подальшої розробки нової топології плати.

Однією з основних задач стало заміщення отворів для встановлення вивідних елементів на контактні площадки для поверхневого монтажу. Усі посадкові місця були адаптовані відповідно до стандартів ІРС, враховуючи ширину та довжину контактних майданчиків, необхідний зазор для пайки, а також термостабільність матеріалу основи плати. Компоненти типорозмірів 0805, 1206, SOT-23, SOT-223, SC-70 тощо вимагали абсолютно іншого підходу

до компонування порівняно зі старими елементами типу МТ, КМ, КД, КТ, К53 та ін.

Особливу увагу було приділено високочастотним вузлам схеми. Враховуючи, що плата збуджувача працює у діапазоні радіочастот, будь-яке змінення в розведенні доріжок або зміна електричних параметрів навіть у межах допуску могло спричинити розбалансування резонансних контурів, порушення добротності фільтрів, зниження чутливості або підсилення шумів. Тому проектування нової плати здійснювалося з дотриманням правил ВЧ-монтажу: мінімізація довжин сигнальних ліній, заземлення навколо контурів, уникнення паралельних провідників для запобігання наведенням, використання суцільного екранування окремих ділянок.

Важливою зміною стало оновлення конфігурації живлення. Деякі сучасні SMD-компоненти мають нижчі допустимі напруги або вимагають стабільнішого живлення. У зв'язку з цим до схеми були додані елементи захисту від перенапруги (TVS-діоди), LC-фільтри та додаткові розв'язувальні керамічні конденсатори безпосередньо на входах живлення до активних мікросхем. Це дозволило зменшити рівень пульсацій і підвищити електромагнітну сумісність плати в цілому.

При переході до SMD-компонентів також виникла необхідність у перекомпонуванні всієї плати. Завдяки компактності поверхневого монтажу вдалося зменшити розміри пристрою, а також реалізувати двостороннє розміщення елементів. З одного боку, це дозволило розвантажити щільні ділянки схеми, з іншого — поставило додаткові технологічні вимоги до процесу виготовлення плати (точне позиціонування, паяння з обох сторін, теплоотведення). Було заплановано місця під теплові пасти та металізовані теплові відводи для потужних компонентів, особливо в каскадах попереднього підсилення.

Для забезпечення майбутньої сервісопридатності та діагностики на новій платі передбачено спеціальні контактні точки для підключення осцилографа, мультиметра та генератора сигналів. У деяких вузлах закладено можливість

гнучкого налаштування за допомогою перемичок або змінних варикапів, що дозволяє точно узгоджувати схему в процесі випробувань без складного перепаявання.

Також було передбачено кілька універсальних посадкових місць, які дозволяють встановлювати альтернативні компоненти (наприклад, конденсатори різного типорозміру або транзистори у різних корпусах), що робить плату більш адаптивною до можливих змін елементної бази у майбутньому. Такий підхід особливо актуальний в умовах імпортозаміщення або перебоїв у постачанні електронних компонентів.

### **3.4. Установка нових компонентів**

Установка нових компонентів на плату збуджувача радіостанції Р-863 є ключовим етапом практичної реалізації модернізації, що поєднує як технічну точність, так і розуміння особливостей роботи радіоелектронної апаратури. Суть цієї процедури полягає не лише у фізичному розміщенні елементів на платі, а й у забезпеченні стабільної, надійної та довговічної роботи пристрою після заміни морально застарілих або фізично зношених компонентів.

Основу монтажу становили сучасні SMD-компоненти у корпусах типу 0805, 0603 та 1206, які прийшли на заміну великогабаритним радіокомпонентам із виводами для наскрізного монтажу. Підбір таких компонентів відбувався із дотриманням відповідності номіналів, допусків, температурної стабільності та робочої напруги, а також з урахуванням параметрів роботи пристрою на високих частотах.

Перед початком монтажу була виконана ретельна підготовка робочого місця. Це включало очищення поверхні плати від залишків флюсу після демонтажу, перевірку цілісності друкованих доріжок, відновлення пошкоджених контактних майданчиків, а також нанесення маркувань для

зручності позиціонування компонентів. Було проведено сортування всіх елементів за номіналами та типами, щоб уникнути помилок під час монтажу.

Для нанесення компонентів використовувалась паяльна паста на основі бесвинцевого припою, яка забезпечує якісне змочування контактних поверхонь при нагріванні. Кожна крапля пасти наносилась мікродозатором вручну або за допомогою трафарету, що дозволяло досягати однакової кількості припою для кожного елемента та уникати утворення надлишкових паяних з'єднань, які можуть спричинити коротке замикання.

Після нанесення пасти компоненти встановлювалися за допомогою антистатичного пінцета, при цьому дотримувалась точна орієнтація — особливо для елементів з полярністю (конденсатори, діоди, транзистори). Навіть незначне порушення орієнтації могло призвести до некоректної роботи або виходу з ладу компонентів. У випадках, коли встановлювалися мікросхеми або складні транзистори, монтаж супроводжувався візуальним контролем під мікроскопом, щоб переконатися в точності посадки.

Для оплавлення паяльної пасти використовувалась термовоздушна паяльна станція із регулюванням температури та потоку повітря. Температурний режим підбирався індивідуально, залежно від типу елементів — зазвичай у межах 240–270°C. Нагрів проводився поступово, щоб уникнути термічного шоку для компонентів і зберегти цілісність полімерного шару самої плати.

Особливу складність становили ділянки з великою щільністю елементів — у таких випадках монтаж вимагав підвищеної точності, координації дій та нерідко — повторного позиціонування окремих елементів перед їх остаточним запаюванням. Наприклад, конденсатори малої ємності, які використовуються у ВЧ-контурі, мали бути розташовані максимально близько до вузлів генерації або підсилення, щоб мінімізувати паразитні параметри та зберегти стабільність частоти.

Після завершення монтажу вся плата охолоджувалась у природних умовах, після чого здійснювалося промивання її поверхні від залишків флюсу

ізопропіловим спиртом або спеціальними антифлюсовими засобами. Така процедура необхідна для уникнення витоків струму по поверхні, які можуть виникати при високій вологості або під час експлуатації в агресивному середовищі.

Завершальний етап — візуальний та мултиметричний контроль. Кожне паяне з'єднання перевірялося на відсутність мікротріщин, замикань і холодних пайок. Контроль полярності, відповідності номіналів та тест на коротке замикання між живленням та масою дозволяли впевнено перейти до етапу функціонального тестування.

### **3.5. Проведення функціональних випробувань**

Після завершення монтажу нових компонентів на платі збуджувача та внесення усіх необхідних конструктивних змін, проводиться комплексна перевірка працездатності вузла збуджувача в складі радіостанції P-863. Важливо відзначити, що всі параметри і налаштування здійснюються після встановлення плати збуджувача безпосередньо у відповідний блок радіостанції, а не окремо. Такий підхід дозволяє оцінити роботу збуджувача в реальних умовах його експлуатації з урахуванням взаємодії з іншими функціональними елементами системи.

Перед початком налаштувань виконується детальний візуальний огляд плати, перевіряється якість монтажу нових SMD-компонентів, відсутність механічних пошкоджень, а також якість пайки і відсутність коротких замикань. Після цього здійснюються первинні електричні виміри, що включають перевірку ланцюгів живлення, опорів і цілісності контактів для виключення дефектів монтажу.

Плата збуджувача монтується в блок радіостанції, де здійснюється підключення до системи тестування, що дозволяє вимірювати основні

параметри робочих контурів збуджувача: частоту генерації, стабільність вихідного сигналу, амплітуду коливань і коефіцієнт узгодження з іншими вузлами радіостанції. Тільки після установки в блок і підключення до всієї системи стає можливим провести точні вимірювання і оцінити роботу збуджувача в комплексі.

Регулювання резонансних контурів збуджувача відбувається поетапно, із застосуванням спеціалізованого вимірювального обладнання, що забезпечує точне налаштування частоти та параметрів добротності контурів. Це особливо важливо, оскільки зміни параметрів резонансних контурів впливають на якість модуляції та стабільність сигналу, що передається радіостанцією.

Додатково перевіряється стабільність роботи збуджувача в умовах різних температурних режимів і впливу зовнішніх факторів, що імітують реальні умови експлуатації. Виконується аналіз наявності паразитних коливань, шумів і потенційних нестабільностей, які можуть негативно вплинути на роботу всієї радіостанції.

Важливою частиною перевірки є оцінка взаємодії збуджувача із суміжними каскадами, зокрема з підсилювачами потужності та фільтрами, що знаходяться в складі блоку. Це дозволяє виявити можливі електричні або конструктивні невідповідності, які неможливо побачити під час тестування плати збуджувача окремо від системи.

Усі отримані під час налаштувань параметри ретельно фіксуються в технічній документації. У разі виявлення невідповідностей розробляються рекомендації щодо подальшої оптимізації схеми або конструкції плати, після чого проводяться додаткові випробування. Лише після комплексної перевірки та точного налаштування в складі радіостанції можна гарантувати відповідність збуджувача технічним вимогам та його стабільну роботу під час експлуатації.

## РОЗДІЛ 4

### ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ

#### 4.1. Порівняльна характеристика до і після модернізації

Порівняльний аналіз плати збуджувача радіостанції Р-863 до і після модернізації свідчить про значні покращення, що стосуються як електричних характеристик, так і конструктивних особливостей. До модернізації у складі плати застосовувались класичні, радянського виробництва компоненти — резистори типу МТ, ОМЛТ, великі керамічні конденсатори серій КМ-56, КД-1, К53, а також варикапи й діоди застарілих типів. Ці елементи мали суттєві недоліки, пов'язані з великими габаритами, незначною точністю номіналів, широкими допусками, значною чутливістю до коливань температури, а також низькою механічною надійністю через громіздкість і високий ризик пошкоджень при експлуатації.

Основною проблемою таких компонентів була їхня фізична застарілість, що унеможлилювало використання сучасних методів монтажу — зокрема, автоматизованої пайки. Великі розміри резисторів і конденсаторів також ускладнювали компактне компонування плати, що впливало на її загальні розміри і вагу. Крім того, застосування аналогів із низькою температурною стабільністю та значними допусками призводило до підвищеного рівня шумів, нестабільності частоти генератора та меншої надійності роботи вузла збуджувача.

Після проведеної модернізації замість цих застарілих компонентів було використано сучасні SMD-елементи виробництва провідних світових брендів, таких як Murata, Yageo, TDK та інші. Сучасні резистори серії RC0805, конденсатори типу GRM (Murata) в корпусах 0805 та 1206, варикапи SMV1247, а також швидкодіючі діоди 1N4148 і індуктивні котушки в компактних SMD-

корпусах повністю замінили стару елементну базу. Завдяки цьому вдалося суттєво зменшити габарити плати, знизити її масу та підвищити технологічність виробництва — автоматизована пайка, що застосовується для SMD-компонентів, зменшує ймовірність браку і прискорює процес складання.

Електрично нові компоненти демонструють вищу точність номіналів і значно кращу температурну стабільність, що дозволяє підтримувати стабільність параметрів збуджувача навіть у складних умовах експлуатації. Зменшення паразитних ємностей та індуктивностей за рахунок компактних корпусів і покращена якість матеріалів дозволили знизити рівень шумів і підвищити стабільність частотних характеристик, що є критично важливим для якісної роботи радіостанції.

Крім того, компактність і менша вага сучасних SMD-компонентів покращують механічну надійність плати. Зменшення габаритів дозволило більш ефективно використовувати внутрішній простір блоку радіостанції, що сприяє покращенню тепловідведення та зниженню вібраційних впливів. Це в свою чергу підвищує довговічність і експлуатаційну стійкість вузла збуджувача.

#### **4.2. Висновки щодо надійності та ефективності**

В результаті модернізації плати збуджувача радіостанції Р-863 значно покращилася її надійність та ефективність роботи. Використання сучасних SMD-компонентів замість застарілих елементів суттєво знизило ризик виникнення несправностей, пов'язаних із механічними пошкодженнями або деградацією параметрів під впливом температурних коливань і вібрацій. Нові компоненти мають більш стабільні електричні характеристики, що сприяє стабільній роботі вузла збуджувача у широкому діапазоні робочих умов.

Перевагою також є зниження енергоспоживання завдяки меншому паразитному опору і покращеній якості матеріалів, що застосовані у сучасних резисторах, конденсаторах та діодах. Це позитивно впливає на тепловий режим плати, зменшуючи нагрів і підвищуючи довговічність усіх компонентів.

Крім того, покращена точність і стабільність номіналів нових елементів дозволяє більш точно налаштувати параметри контуру збудження, що підвищує якість генерації сигналу і знижує рівень небажаних гармонік. Як наслідок, зменшується ймовірність збоїв у роботі радіостанції під час експлуатації.

Важливим фактором є також підвищення технологічності монтажу плати. Автоматизовані методи встановлення SMD-компонентів значно зменшують кількість виробничих дефектів і сприяють стандартизації процесу, що в подальшому полегшує ремонт та технічне обслуговування.

Усі ці зміни підвищують загальну надійність системи, зменшують частоту технічних втручань і забезпечують більш стабільну та довготривалу роботу радіостанції в цілому. Таким чином, проведена модернізація не лише відновлює працездатність плати збуджувача, але й суттєво підвищує її експлуатаційні характеристики, що особливо важливо для військової та спеціальної апаратури, де надійність і стабільність роботи є критичними.

### **4.3. Можливості подальшої модернізації**

Проведена модернізація плати збуджувача радіостанції Р-863 створює широкі можливості для подальшого удосконалення апаратури, відкриваючи шлях до впровадження більш сучасних та ефективних технологічних рішень. Заміна застарілої елементної бази на нові SMD-компоненти не лише забезпечила підвищення надійності і зменшення габаритів, а й створила міцний фундамент для інтеграції нових функціональних можливостей та розширення технічних характеристик системи.

Однією з ключових переваг оновленої плати є її компактність. Використання сучасних корпусів типу 1206, 0805 та інших стандартних розмірів дозволяє значно зменшити загальні розміри вузла збуджувача. Це сприяє не тільки зниженню маси апаратури, але й відкриває можливості для подальшого зменшення розмірів всієї радіостанції, що особливо важливо для мобільних і портативних варіантів застосування, де компактність і легкість мають першочергове значення.

Сучасні компоненти характеризуються поліпшеними електричними параметрами: більшою стабільністю номіналів, нижчими втратами, кращою температурною стабільністю та підвищеним ресурсом експлуатації. Це дозволяє підвищити надійність роботи плати збуджувача у складних умовах експлуатації, зменшити ймовірність відмов і знизити потребу в частому технічному обслуговуванні. Завдяки цьому підвищується загальна довговічність радіостанції, що є важливим фактором для військової та спеціальної техніки.

Крім того, використання сучасних компонентів відкриває можливість збільшення робочих частот і потужності сигналу. Нові транзистори, діоди, варикапи та котушки індуктивності мають покращені характеристики, що дозволяє оптимізувати роботу збуджувача, покращити якість формування сигналу, зменшити рівень шумів та спотворень. Це сприяє підвищенню дальності зв'язку і надійності прийому, що є важливим аспектом для радіостанції, особливо у військових і спеціальних застосуваннях.

Сучасна елементна база також значно спрощує процес виробництва та технічного обслуговування. Стандартні корпуси та широкий асортимент компонентів, які легко доступні на ринку, дають змогу автоматизувати монтаж, знизити час і витрати на ремонт. Це особливо актуально для серійного виробництва і модернізації великих партій обладнання.

Ще однією важливою перевагою є можливість інтеграції з сучасними цифровими системами управління та діагностики. Використання мікроконтролерів, програмованих логічних пристроїв і цифрових інтерфейсів

дозволяє підвищити функціональність збуджувача, автоматизувати налаштування параметрів, здійснювати самодіагностику і адаптивне управління роботою. Це значно розширює потенціал радіостанції, дозволяючи їй працювати ефективніше у змінних умовах.

Додатково модернізація відкриває перспективи впровадження нових технологій цифрової обробки сигналів, що дає змогу підвищити якість передачі та безпеку зв'язку. Адаптація апаратури під сучасні стандарти і протоколи комунікацій забезпечує її сумісність із сучасним радіоелектронним обладнанням, що важливо для інтеграції в складні системи зв'язку.

Отже, оновлення плати збуджувача радіостанції Р-863 не лише вирішує поточні проблеми з морально і фізично застарілими компонентами, а й відкриває широкий спектр можливостей для подальшої модернізації і розвитку обладнання, підвищуючи його конкурентоспроможність і забезпечуючи довготривалу ефективність роботи.

## РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1. Перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Згідно ГОСТ 12.0.003-74 при технічній експлуатації і ремонті (ТЕіР) вдосконаленої системи мають місце наступні небезпечні і шкідливі виробничі фактори (Н і ШВФ). Фізичні і психологічні дані ДСТ визначає також групи хімічних біологічних факторів, але при ТЕ і Р останні не роблять значного впливу у свою чергу групи факторів мають свої підгрупи :

- машини, що рухаються, і механізми (на площадці техобслуговування пересувні джерела харчування, піднімальні механізми і т.д.) при перевірці, монтажі проекрованої системи;

- незахищені рухливі елементи виробничого устаткування, система електропостачання та ін.;

- вироби, що пересуваються, блоки, установки (висувні блоки, рухливі кронштейни);

- підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони, у зв'язку з недостатньою вентиляцією відбувається скупчування CO<sub>2</sub>, виділення летучих компонентів лакофарбових покриттів, ізолюючих матеріалів у процесі їхнього старіння, а також при експлуатації ґрунтового аеродрому;

- підвищена чи знижена температура повітря робочої зони (відсутнє опалення літака під час ТО) при технічному обслуговуванні в зимових умовах, при технічному обслуговуванні в умовах експлуатації приладів в Африці і південних широтах:

- підвищення рівня шуму, вібрації, електромагнітні випромінювання в робочій зоні (близькість при запуску авіаційних двигунів, бортовий РЛ);

- підвищене значення напруги в електричному ланцюгу і поява його металоведучих елементах конструкції авіаційного устаткування, що може привести до замикання ланцюга через тіло людини, близькість оголеної проводки і штепсельних рознімачів);

- чи відсутність недолік природного освітлення (тільки штучне висвітлення) при ТО в нічний час;

- незручне розташування робочого місця (у зв'язку з прагненням економії маси й обсягу при конструюванні ПС явний недолік вільного простору для робочого місця).

До психофізіологічних Н і ШВФ відносяться: перенапруга аналізаторів, тому що оператору приходится працювати з пультом ПК-56, те основне навантаження приходится на очі що поступово приводить до їх перенапруги.

## **5.2. Технічні й організаційні заходи для зменшення рівня впливу Н і ШВФ**

Розроблена система забезпечує максимальну безпеку при ТЕ і Р відповідно до системи стандартів безпеки праці ДСТ 12.І.004-91 (ССБТ. Пожежна безпека. Загальні вимоги), укаже міри безпеки, прийняті при розробці системи :

- для виключення випадкового дотику до струмоведучих частин пристрій міститься в кожух;

- електричний монтаж виконаний на друкованих платах, що значною мірою

зменшує кількість монтажних проводів, знижує імовірність коротких замикань і дія навколишнього середовища;

- у монтажі використовується провід марки 4БШ. У багатопроволочні ізолювані обмоткою із шовку з максимальним робітником напругою 200 В та припустимою робочою температурою  $T = (\text{від} - 50 \text{ до} + 70) \text{ C}^\circ$ ;

- захист проектованої системи на напівпровідникових приладах характерна тим, що напівпровідникові прилади мають дуже малу теплову інерцію, тому плавкі вставки запобіжників вибирають виходячи з номінального струму, що протікає в ланцюгах.

При профілактичних оглядах під час ТЕ обмежуються лише зовнішнім оглядом і перевіркою надійності кріплення блоків, відсутністю хімічних ушкоджень і наявності контровки на ШР.

При ТО ПС, особливо в сиру погоду необхідно використовувати сухе гумове чи взуття ізолюючі килими, опір яких включається послідовно з опором тіла людини. Для усунення можливості поразки електричним струмом передбачається ряд мір: при ТО ПС необхідно пам'ятати, що літак відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою поразки струмом через високо провідну поверхню корпусу.

Під час робіт, зв'язаних з оглядом, монтажем і демонтажем електричних агрегатів, необхідно знеструмлювати мережа. При проведенні чи перевірки огляду електричних пристроїв під напругою необхідно дотримувати обережність щоб уникнути коротких замикань і поразки електричним струмом. Перед відходом з робочого місця необхідно відключити в обов'язковому порядку бортову мережу, коробки реле і електрощітки закрити кришками, заізолювати оголені кінці проводів. Перед подачею електроенергії на борт ПС переконатися, що всі АЗМ відключено, а перемикачі виключені. Всі агрегати електроустаткування перед установкою на літак перевіряють на відповідність НТП.

Для захисту від ушкодження і дотику розроблена система укладена в захисний корпус. Створення сприятливих умов праці і підвищення культури виробництва у великому ступені забезпечується благоустроєм робочих місць виробничих приміщень, наприклад, авіа технічної бази, лабораторії по технічному обслуговуванню електроприладного устаткування.

Важливий зміст приміщень відповідно до гігієнічних вимог «Стандартних норм і правил». Норми температури, відносній вологості і швидкості руху

повітря в робочій зоні технічного відсіку зазначені в ДСТ 12.1.005 - 88 (ССБТ. Повітря робочої зони. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги).

### **5.3. Забезпечення пожежної і вибухової безпеки**

Пожежна і вибухова безпека передбачені ДСТ 12.1.004 -59. Порушення норм, правил монтажу і демонтажу , а також посібників з технічної експлуатації системи може створити умови для виникнення пожежі. Укажемо причини виникнення пожежі:

- неякісне виконання пайки і з'єднання проводів приводить короткому замиканню і загорянню;

- неправильний вибір перетину сполучних проводів, перетин проводів вибирається з умови припустимої щільності струмів, що виключає можливість перегріву.

За результатами розрахунку вибирається провід із перетином 0,25 мм<sup>2</sup>, відповідно до умови експлуатації і припустимим рівнем напруги, під яким вона знаходиться.

Резистори вибираються по припустимій потужності, що розсіюється, конденсатори - по допустимому напруженню з метою зниження небезпеки виникнення пожежі в розробленій системі застосовані не пальні чи мало горючі матеріали.

## ВИСНОВКИ

Результати модернізації дозволяють зробити висновок про технічну доцільність переходу на сучасну елементну базу в подібних зразках апаратури. Застосовані принципи мають універсальний характер і можуть бути використані для модернізації інших радіоелектронних систем із подібною архітектурою. Отже, дана робота не лише має практичне значення для продовження ресурсу Р-863, але й закладає основу для системної модернізації подібних засобів зв'язку.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вашутін А., Антонов А., Білоус О. Візія Повітряних Сил ЗСУ: заміна радянського та уніфікація. Мілітарний: веб-сайт. URL: <https://mil.in.ua/uk/articles/viziya-povitryanyh-syl-zsu-zamina-radyanskogo-ta-unifikatsiya>.

2. Кукурудзяк Ю. Ю. Модель ідентифікації несправностей автомобільного двигуна. Вісник Державного університету “Житомирська політехніка” . 2014. № 2(69).

3. Кузавков В. В., Хусаїнов П. В. Пошук несправностей у складних технічних системах. Науково-практичний журнал “Сучасна спеціальна техніка”. 2018. № 2(53).

4. Zeldam S., Jong A., Loendersloot R., Tinga T. Automated Failure Diagnosis in Aviation Maintenance Using explainable Artificial Intelligence (XAI). European conference of the prognostics and health management society : conference paper. 2018.

5. Kabashkin I. Design of Embedded Architecture for Integrated Diagnostics in Avionics Domain. 16th Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication : conference paper. 2016.

6. Про затвердження Методичних рекомендацій державної авіації щодо збору, аналізу і подання інформації про несправності авіаційної техніки (МРДА-02/16): Наказ начальника Управління регулювання діяльності державної авіації України (з основної діяльності) від 24 бер. 2016 р. № 20. URL: [https://www.mil.gov.ua/content/yrdday/20\\_24032016.pdf](https://www.mil.gov.ua/content/yrdday/20_24032016.pdf) (дата звернення 10.12.2021).

7. Про затвердження Правил інженерно-авіаційного забезпечення державної авіації України : Наказ Міністерства оборони України від 05 лип. 2016 р. № 343. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1101-16#Text> (дата звернення 10.12.2021).

8. Технічний паспорт радіостанції Р-863. — М.: Радіоелектроніка
9. Шанін, О. В. Основи технічного обслуговування і ремонту радіоелектронних засобів зв'язку. — Київ: Наукова думка.
10. Захаров, Ю. В. Радіозв'язок і радіоелектронні засоби: принципи роботи і обслуговування. — Харків: ХНУ
11. Офіційна документація "Р-863. Технічне обслуговування і ремонту". — М.: Головне управління зв'язку Міністерства оборони.
12. Мартиненко, В. І. Технічне обслуговування засобів зв'язку та радіоелектронної апаратури. — Київ: Техніка.
13. <https://oleg-tulin.narod.ru/index/0-7>
14. <https://studfile.net/preview/9627582/page:10/>