

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

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Низькочастотний передавач для телекомунікаційних систем

Виконав: студент 4 курсу, групи РАС-41

спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»

(шифр і назва спеціальності)

Бодань В.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

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

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

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

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

«28» квітня 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

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

Студенту Боданю Вадиму Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Низькочастотний передавач для телекомунікаційних систем

Керівник роботи Дунець Василь Любомирович, к.т.н., доц., завідувач кафедри РТ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «28» квітня 2026 року № 4/9-198.

2. Термін подання студентом завершеної роботи 24 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: робоча частота передавача – 136 кГц; робочий частотний діапазон збуджувача – 50...300 кГц; напруга живлення пристрою – 3 В, 5 В, 12 В; споживана потужність – не більше 1,2 Вт.

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

1. Основна частина

2. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Висновки

Список використаних джерел

Додатки

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

1. Структурна схема

2. Схема електрична принципова

3. Друкований вузол

4. Плата друкована

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека життєдіяльності	д.т.н., професор кафедри МТ Барановський В.М.		

7. Дата видачі завдання 28.04.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з темою, технічним завданням і вихідними даними до кваліфікаційної роботи	28.04.2026 – 30.04.2026	
2.	Підбір, аналіз і систематизація джерел за темою низькочастотних передавачів для телекомунікаційних систем	01.05.2026 – 05.05.2026	
3.	Аналіз принципів побудови передавальних пристроїв і режимів роботи в діапазоні 136 кГц	06.05.2026 – 09.05.2026	
4.	Обґрунтування структурної організації збуджувача передавача діапазону 136 кГц	10.05.2026 – 13.05.2026	
5.	Розроблення структурної та функціональної схем пристрою	14.05.2026 – 17.05.2026	
6.	Розроблення схеми електричної принципової збуджувача передавача	18.05.2026 – 22.05.2026	
7.	Розрахунок основних вузлів схеми: цифро-аналогового перетворювача, підсилювача потужності, вузлів узгодження та керування	23.05.2026 – 27.05.2026	
8.	Вибір та обґрунтування елементної бази пристрою	28.05.2026 – 31.05.2026	
9.	Розроблення конструкції друкованого вузла та komponування друкованої плати	01.06.2026 – 04.06.2026	
10.	Розрахунок показників надійності пристрою та аналіз відповідності технічним вимогам	05.06.2026 – 07.06.2026	
11.	Оформлення графічного матеріалу до кваліфікаційної роботи	08.06.2026 – 09.06.2026	
12.	Оформлення розділу «Безпека життєдіяльності та основи охорони праці»	09.06.2026 – 10.06.2026	
13.	Нормоконтроль	10.06.2026	
14.	Перевірка на плагіат	10.06.2026	
15.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	10.06.2026	
16.	Захист кваліфікаційної роботи	24.06.2026	

Студент

(підпис)

Бодань В.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Дунець В.І.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Низькочастотний передавач для телекомунікаційних систем // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» // Бодань Вадим Іванович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, кафедра радіотехнічних систем, група РАС-41 // Тернопіль, 2026 // С. 86, рис. – 9, табл. – 3, кресл. – 5, додат. – 3, бібліогр. – 11.

Ключові слова: низькочастотний передавач, телекомунікаційна система, структурна схема, функціональна схема, електрична принципова схема, друкований вузол.

У кваліфікаційній роботі здійснено розроблення низькочастотного передавача для телекомунікаційних систем. Виконано аналіз функціонального призначення пристрою, обґрунтовано його структурну побудову, проведено схемотехнічне й конструкторське проєктування. У процесі розроблення сформовано основні технічні рішення, необхідні для реалізації передавача із заданими експлуатаційними параметрами.

Основні технічні характеристики низькочастотного передавача для телекомунікаційних систем:

- робоча частота – 136 кГц;
- швидкість передавання даних – до 76,5 біт/с;
- напруга живлення – 3 В, 5 В, 12 В;
- споживана потужність – не більше 1,2 Вт;
- час встановлення робочого режиму – не більше 3 с.

У роботі розглянуто основні етапи проєктування радіотехнічної апаратури, зокрема вибір структурної організації пристрою, розроблення функціональної й електричної принципової схем, а також конструкторське опрацювання друкованого вузла. Отримані результати підтверджують можливість практичної реалізації низькочастотного передавача з параметрами, придатними для використання у телекомунікаційних системах.

Annotation

Low-frequency transmitter for telecommunications systems // Qualification work of the educational level «Bachelor» // Bodan Vadym // Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, Radio Engineering Systems Department, group RAs-41 // Ternopil, 2026 // P. 86, fig. – 9, tabl. – 3, chair. – 5, annexes. – 3, references – 11.

Keywords: low-frequency transmitter, telecommunications system, block diagram, functional diagram, electrical schematic diagram, printed circuit board.

This thesis presents the development of a low-frequency transmitter for telecommunication systems. The functional purpose of the device was analyzed, its structural design was justified, and circuit and mechanical designs were carried out. During the development process, the main technical solutions necessary for implementing the transmitter with the specified operational parameters were formulated.

Main technical characteristics of the low-frequency transmitter for telecommunication systems:

- operating frequency – 136 kHz;
- data transmission rate – up to 76.5 bits/s;
- supply voltage – 3 V, 5 V, 12 V;
- power consumption – no more than 1.2 W;
- time to reach operating mode – no more than 3 s.

This paper examines the main stages of designing radio equipment, including the selection of the device's structural organization, the development of functional and electrical schematic diagrams, and the design of the printed circuit board. The results confirm the feasibility of implementing a low-frequency transmitter with parameters suitable for use in telecommunications systems.

Зміст

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	5
Вступ.....	6
1. Основна частина.....	11
1.1. Аналіз ТЗ.....	11
1.1.1. Обґрунтування актуальності теми	11
1.1.2. Аналіз інформації.....	34
1.2. Проектування схемотехнічне.....	36
1.2.1. Розроблення структурної та функціональної схем.....	36
1.2.2. Проектування та розрахунок вузлів електричної принципової схеми пристрою	41
1.2.3. Вибір та обґрунтування компонентної бази.....	53
1.3. Компонування ДВ РТА	59
1.3.1. Розроблення компонування й конструкції ДВ.....	59
1.3.2. Оптимізація компонування друкованого вузла	63
1.3.3. Розрахунок й забезпечення вимог щодо надійності.....	69
1.4. Висновки до розділу 1	73
2. Охорона праці та безпека життєдіяльності	75
2.1. Питання щодо безпеки життєдіяльності	75
2.2. Питання з основ охорони праці	77
2.3. Висновок до розділу 2	81
Висновки	82
Список використаних джерел	84

					БВІ 2.010.001 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Бодань В.І.			Низькочастотний передавач для телекомунікаційних систем			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Дунець В.Л.							5	2
Консультант								ТНТУ, ФПТ, каф. РТ, гр. РАС-41, м. Тернопіль		
Н. Контр.		Хвостівська Л.В.								
Затверд.		Дунець В.Л.			Пояснювальна записка					

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів

ASCII (англ. American Standard Code for Information Interchange) – Стандартний американський код для обміну інформацією.

COM-порт (англ. Communication Port) – Послідовний комунікаційний порт комп'ютера.

CW (англ. Continuous Wave) – Безперервна хвиля.

DFCW (англ. Dual-Frequency Continuous Wave) – Двочастотна безперервна модуляція.

FSK (англ. Frequency-Shift Keying) – Частотна маніпуляція.

GFSK (англ. Gaussian Frequency-Shift Keying) – Гаусова частотна маніпуляція.

QRSS (англ. Very Slow Speed Continuous Wave) – Режим наднизькошвидкісного телеграфного передавання.

RT (англ. Real Time) – Режим реального часу.

SDR (англ. Software Defined Radio) – Програмно-визначене радіо.

SMD (англ. Surface Mounted Device) – Компонент поверхневого монтажу.

SMT (англ. Surface Mount Technology) – Технологія поверхневого монтажу.

USART (англ. Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter) – Універсальний синхронно-асинхронний приймач-передавач.

VCO (англ. Voltage-Controlled Oscillator) – Генератор, керований напругою.

АМ – Амплітудна модуляція.

АС – Аналоговий сигнал.

АІМ – Амплітудно-імпульсна модуляція.

АЦП – Аналого-цифровий перетворювач.

ВЧ – Високі частоти.

ГМ – Гальванічна металізація.

ГС – Гармонійний сигнал.

ДМ – Демодуляція.

ДП – Друкована плата.

ДС – Дискретний сигнал.

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДСТУ – Державний стандарт України.
 ДХ – Довгі хвилі.
 ЕБ – Елементна база.
 ЕЛМ – Електролітичне міднення.
 ЕМК – Електромагнітне коливання.
 ЕМП – Електромагнітне поле.
 ЕМС – Електромагнітний сигнал.
 ЕМХ – Електромагнітна хвиля.
 ЕП – Електричне поле.
 ЕРЕ – Електрорадіоелемент.
 ЕС – Електричний сигнал.
 ЕЗ – Електрозв’язок.
 ЕЗ – Електрична принципова схема.
 ЗЗ – Засоби зв’язку.
 ІМС – Інтегральна мікросхема.
 ІС – Інформаційний сигнал.
 ІТ – Інформаційні технології.
 ІХ – Іоносферна хвиля.
 КЕ – Колектор-емітер.
 КЗ – Канал зв’язку.
 КІМ – Кодово-імпульсна модуляція.
 КМ – Комп’ютерна мережа.
 КМОП – Комплементарна структура метал-оксид-напівпровідник.
 КПМ – Комбінований позитивний метод.
 КР – Конструктивне рішення.
 КТ – Транзисторний ключ.
 КХ – Короткі хвилі.
 МК – Мікроконтролер.
 МЗ – Мобільний зв’язок.
 МП – Магнітне поле.
 НДХ – Наддовгі хвилі.
 НЖ – Напруга живлення.
 НК – Несуче коливання.
 НС – Несучий сигнал.

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

НЧ – Низькі частоти.
 ОДП – Одностороння друкована плата.
 Пд – Передавач.
 ПдП – Передавальний пристрій.
 ПК – Персональний комп'ютер.
 ПЗ – Програмне забезпечення.
 Пм – Приймач.
 ПмП – Приймальний пристрій.
 ПП – Підсилювач потужності.
 ПрП – Приймач-передавач.
 РД – Радіодіапазон.
 РЗ – Радіозв'язок.
 РК – Радіоканал.
 РМ – Радіомовлення.
 РП – Радіоперешкода.
 РС – Радіосигнал.
 РТА – Радіотехнічна апаратура.
 РХ – Радіохвиля.
 РЧ – Радіочастоти.
 СК – Складальне креслення.
 СЗ – Система зв'язку.
 Сп.о-с – Сплав олово-свинець.
 СПР – Струмопровідний рисунок.
 СХ – Середні хвилі.
 ТД – Технічна документація.
 ТЗ – Технічне завдання; технічний засіб.
 ТКІ – Телекомунікаційна інфраструктура.
 ТКС – Телекомунікаційна система.
 ТО – Технічне обслуговування.
 ТП – Технологічний процес.
 ТТЛ – Транзисторно-транзисторна логіка.
 ТХ – Технічні характеристики.
 УКХ – Ультракороткі хвилі.
 ФД – Фольгований діелектрик.

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ФМ – Фазова модуляція.

ХМ – Хімічна металізація; хімічне міднення.

ЦАП – Цифро-аналоговий перетворювач.

ЦМ – Цифрова модуляція.

ЦОС – Цифрове оброблення сигналів.

ЦС – Цифровий сигнал.

ЧІМ – Часоімпульсна модуляція.

ЧМ – Частотна модуляція.

ШІМ – Широтно-імпульсна модуляція.

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

До початку 1990-х років розвиток електроніки, обчислювальної техніки та цифрових засобів оброблення інформації зумовив поступове витіснення класичних телетайпних й радіотелетайпних систем. Телеграфні літеродрукувальні апарати було замінено комп'ютерними засобами відображення інформації, зокрема моніторами, а введення даних почало здійснюватися за допомогою комп'ютерної клавіатури. За потреби документального фіксування даних почали застосовуватися принтери. Водночас традиційний телетайпний інтерфейс було замінено модемами, багаторежимними процесорами передавання даних (multimode communications processor, MCP) й трансиверами.

На початку XXI століття подальший розвиток телекомунікаційних технологій спричинив активне впровадження бездротових мереж. Провідні комп'ютерні мережі (КМ) поступово доповнювалися або замінювалися РЧ каналами передавання даних, що забезпечили користувачам вищу мобільність й доступ до інформаційних ресурсів незалежно від стаціонарного робочого місця. У радіоаматорській практиці почали застосовуватися не лише провідні пакетні інтерфейси для підключення репітерів до КМ, а й бездротові рішення на основі мережевого протоколу IEEE 802.11, відомого як стандарт Wi-Fi. Для стандарту 802.11b швидкість передавання даних становила до 11 Мбіт/с, а для стандартів 802.11a та 802.11g – до 54 Мбіт/с.

Водночас радіозв'язок (РЗ) у довгохвильовому (ДХ) діапазоні й короткохвильовому діапазоні (КХ) зберігає практичне значення. Такі системи залишаються актуальними для радіоаматорського, резервного та спеціального зв'язку, зокрема в умовах порушення штатної телекомунікаційної інфраструктури (ТКІ). Їхніми основними перевагами є конструктивна простота, порівняно низькі вимоги до апаратних й програмних ресурсів, енергетична ефективність й можливість роботи на значних відстанях [3].

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Основна частина

1.1. Аналіз ТЗ

1.1.1. Обґрунтування актуальності теми

РЗ є важливою складовою сучасних телекомунікаційних систем (ТКС), оскільки забезпечує передавання інформації за допомогою електромагнітних хвиль (ЕМХ). Його застосування охоплює радіомовлення (РМ), мобільний зв'язок (МЗ), передавання даних, радіонавігацію, спеціальні системи зв'язку (СЗ) та резервні канали обміну інформацією. Тому розроблення радіотехнічної апаратури (РТА), зокрема збуджувача передавача (Пд) діапазону 136 кГц, є технічно обґрунтованим завданням.

Розвиток РЗ відбувався паралельно з розвитком електроніки. Після відкриття явища термоелектронної емісії Т. Едісоном у 1883 році було сформовано передумови для створення електронних приладів. У 1904 році Дж. Флемінг розробив електронно-вакуумний діод із розжарюваним катодом. У 1906 році Лі де Форест запропонував електронно-вакуумний тріод, доповнивши ламповий діод третім електродом – керуючою сіткою. Це забезпечило можливість підсилення слабких електричних сигналів. За умови введення позитивного зворотного зв'язку тріодний підсилювач міг використовуватися як генератор незатухаючих електричних коливань.

Подальший розвиток радіотехніки в першій половині XX століття значною мірою ґрунтувався на використанні лампової електроніки. У цей період було освоєно нові частотні діапазони, збільшено потужність випромінювання передавальних пристроїв, підвищено чутливість приймальної апаратури й створено мережі радіомовних станцій.

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На початковому етапі РЗ забезпечував переважно передавання телеграфних знаків, тобто функціонував у режимі радіотелеграфії. Після реалізації передавання мовних сигналів сформувалися радіотелефонія й РМ.

Регулярне передавання звукових радіопрограм у країнах Європи й Америки розпочалося з 1920 року. Надалі РМ системи почали застосовуватися для передавання мовлення, музики та інформаційних повідомлень. На ранніх етапах розвитку радіотехніки телекомунікаційний обмін здійснювався переважно з використанням електромагнітних коливань (ЕМК) ДХ частини радіодіапазону (РД), здатних поширюватися вздовж поверхні Землі. У 1920-х роках було встановлено можливість відбиття радіохвиль (РХ) від іоносфери, що забезпечило дальній РЗ на відстанях у кілька тисяч кілометрів й сприяло активному розвитку КХ техніки.

Сучасний етап розвитку науки й техніки характеризується широким використанням інформаційних технологій (ІТ), у яких передавання інформації є однією з базових функцій. Інформацією вважається сукупність відомостей про об'єкти, процеси, події або явища. У природних умовах людина сприймає інформацію через органи чуття, однак фізіологічні можливості не забезпечують передавання великих обсягів даних на значні відстані. Для цього застосовуються технічні засоби зв'язку (ЗЗ).

Зв'язок охоплює сукупність технічних засобів (ТЗ), призначених для передавання, приймання, оброблення й відтворення інформації на відстані. Залежно від фізичної природи засобів передавання розрізняють поштовий зв'язок й електровз'язок (ЕЗ). ЕЗ передбачає передавання інформації за допомогою електричних або електромагнітних сигналів (ЕМС).

У теорії зв'язку повідомленням називають сукупність відомостей, поданих у визначеній формі й призначених для передавання. Повідомленнями можуть бути текстові дані, телеграми, мовні сигнали, телевізійні зображення, цифрові дані або інші інформаційні об'єкти. Для подання повідомлень використовуються матеріальні носії у вигляді символів,

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

знаків або сигналів. В ЕЗ кожному повідомленню ставиться у відповідність певна сукупність електричних сигналів.

Сигналом називається фізичний процес, параметри якого відображають передаване повідомлення. Інформація може бути закладена в амплітуді, частоті, фазі, тривалості або іншому параметрі сигналу. За видом передаваного повідомлення розрізняють телеграфні, мовні, відео- й цифрові сигнали (ЦС). Отже, ЕЗ можна визначити як процес передавання інформації за допомогою електричних сигналів (ЕС).

Розвиток телекомунікацій супроводжується модернізацією ТЗ, підвищенням якості традиційних послуг й появою нових способів передавання даних. Унаслідок цього змінюється класифікація видів ЕЗ, уточнюються межі між окремими системами й формується тенденція до їх інтеграції в єдину інформаційно-ТКІ.

За характером сприйняття повідомлень системи ЕЗ поділяються на такі, що призначені для передавання звукової інформації, й такі, що забезпечують передавання оптичної інформації. За часом доставки повідомлень виділяють системи реального часу (RT) й системи з відкладеним передаванням. За призначенням повідомлень розрізняють індивідуальний зв'язок, орієнтований на конкретного абонента, й масовий зв'язок, призначений для широкого кола користувачів.

За середовищем поширення сигналів ЕЗ поділяють на дротовий й бездротовий. У дротових системах сигнали передаються провідниками, електричними кабелями або оптичними лініями. У бездротових системах для передавання інформації використовуються радіосигнали (РС). До основних видів ЕЗ належать телефонний, телеграфний, факсимільний зв'язок, передавання даних, РЗ, РМ й телебачення.

У сучасних умовах спостерігається інтеграція різних видів ЕЗ в єдині цифрові системи. Основою такої інтеграції є перетворення сигналів різної фізичної природи в цифрову форму з подальшим передаванням

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

універсальних цифрових даних каналами зв'язку (КЗ). Прикладом такого підходу є КМ, які забезпечують одночасне передавання текстових документів, графічних зображень, аудіо- й відеоінформації.

Канали ЕЗ. КЗ називають сукупність ТЗ й середовища поширення, що забезпечують передавання сигналу від визначеної точки передавального пристрою (ПдП) до відповідної точки приймального пристрою (ПмП). Частина Пд, що не входить до складу каналу, розглядається як джерело сигналу (ДС) для цього каналу. В одній СЗ можуть бути виділені різні канали залежно від вибраних точок входу й виходу.

КЗ вважається безперервним, якщо його вхідний й вихідний сигнали є безперервними. Якщо на вхід КЗ подаються дискретні сигнали (ДС) й з його виходу знімаються ДС, такий КЗ називається дискретним. Також застосовуються дискретно-безперервні й безперервно-дискретні канали, у яких характер сигналів на вході й виході відрізняється. Тип КЗ не завжди визначається видом передаваного повідомлення, оскільки залежить від способу вибору точок аналізу в СЗ.

КЗ характеризується трьома основними параметрами: часом передавання T_K , смугою пропускання F_K й динамічним діапазоном D_K . Динамічний діапазон КЗ визначається як відношення допустимої потужності переданого сигналу до потужності завади, наявної в КЗ. У практиці використовуються провідні канали, ДХ й КХ радіоканали (РК) з іоносферним відбиттям, ультракороткохвильові (УКХ) канали, канали іоносферного й тропосферного розсіювання, метеороного й космічного зв'язку.

Узагальненою характеристикою безперервного каналу є його об'єм V_K , який визначається добутком часу передавання, смуги пропускання та динамічного діапазону:

$$V_K = T_K F_K D_K.$$

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для передавання сигналу без істотних спотворень об'єм сигналу V_C повинен бути меншим за об'єм каналу V_K , що відображено умовою (1.1):

$$V_C < V_K. \quad (1.1)$$

Для узгодження сигналу з КЗ виконується вторинне перетворення первинного сигналу. У найпростішому випадку узгодження здійснюється за всіма трьома параметрами: тривалістю, смугою частот й динамічним діапазоном. Відповідні умови наведено у формулі (1.2):

$$T_C < T_K; \quad F_C < F_K; \quad D_C < D_K. \quad (1.2)$$

За виконання умов (1.2) об'єм сигналу повністю узгоджується з об'ємом каналу. Водночас умова (1.1) може виконуватися й тоді, коли одна або дві нерівності з формули (1.2) не виконуються. Це означає можливість взаємного перетворення параметрів сигналу, зокрема обміну тривалості на ширину спектра або динамічного діапазону на смугу пропускання. Наприклад, зменшення швидкості відтворення записаного сигналу приводить до звуження його спектра за рахунок збільшення тривалості передавання. Аналогічно застосування широкосмугових завадостійких видів модуляції дає змогу передавати повідомлення каналами з підвищеним рівнем завад, але потребує ширшої смуги пропускання порівняно зі спектром початкового повідомлення.

За способом поширення електромагнітної енергії канали поділяються на канали із закритим й відкритим поширенням. У каналах із закритим поширенням ЕМК передаються напрямними середовищами, зокрема провідними, кабельними або хвилевідними трактами. У КЗ із відкритим поширенням використовуються РХ відповідного частотного діапазону.

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РД. На початкових етапах розвитку РМ ВЧ коливання значної потужності формувалися за допомогою електромашинних генераторів. У таких пристроях кількість пар полюсів, схема з'єднання обмоток й швидкість обертання ротора добиралися так, щоб забезпечити генерування сигналів із частотою в десятки кілогерц. Через механічні й конструктивні обмеження такі генератори, як правило, працювали на частотах нижче 100 кГц, що відповідає наддовгохвильовій частині радіоспектра.

Отже, становлення РМ розпочалося з освоєння НЧ РЧ спектра. Надалі розвиток елементної бази (ЕБ) та передавальної апаратури забезпечив практичне використання ДХ, СХ, КХ та УКХ діапазонів. Розподіл частот радіочастотного спектра для потреб РМ доцільно подати у табличній формі (див. табл. 1.1.).

Таблиця 1.1.

Діапазони РМ

Діапазон	Частоти	Вид модуляції	Усталена назва
ДХ (LW)	144-415 кГц	АМ, моно	—
СХ (MW)	520-1602 кГц	АМ	АМ
КХ – 90 м	3200-3400 кГц	Цифрова трансляція DRM	—
КХ – 75 м	3900-4000 кГц	Digital Radio Mondiale	—
КХ – 60 м	4750-5060 кГц	Digital Radio Mondiale	—
КХ – 41 м	7100-7400 кГц	Digital Radio Mondiale	—
КХ – 31 м	9500-9900 кГц	Digital Radio Mondiale	—
КХ – 25 м	11650-12050 кГц	Digital Radio Mondiale	—
КХ – 22 м	13600-13800 кГц	Digital Radio Mondiale	—
КХ – 19 м	15100-15600 кГц	Digital Radio Mondiale	—
КХ – 16 м	17550-17900 кГц	Digital Radio Mondiale	—
КХ – 13 м	21450-21850 кГц	Digital Radio Mondiale	—
КХ – 11 м	25650-26100 кГц	Digital Radio Mondiale	—
УКХ-1	65,9-74 МГц	ЧМ з полярною модуляцією	Місцевий УКХ
УКХ-2	87,5-100 МГц	ЧМ з пілот-тоном	Нижня частина FM
УКХ-3	100-108 МГц	ЧМ	FM

На всіх діапазонах УКХ може застосовуватися як монофонічний, так й стереофонічний режим передавання.

Особливості поширення ДХ й наддовгі хвилі (НДХ). РХ з довжиною від 1000 до 10000 м належать до ДХ, що відповідає частотному діапазону 300-30 кГц. РХ з довжиною понад 10000 м класифікуються як НДХ, частота яких є меншою за 30 кГц.

ДХ, а особливо НДХ, характеризуються малим поглинанням під час поширення в товщі земної поверхні або морської води. Зокрема, хвилі довжиною 20-30 км здатні проникати у морську воду на глибину кількох десятків метрів. Це зумовлює можливість їх застосування для зв'язку із зануреними підводними об'єктами, а також для організації підземного РЗ.

У зазначених діапазонах для більшості типів земної поверхні струми провідності переважають над струмами зміщення. Унаслідок цього під час поширення поверхневої хвилі втрати електромагнітної енергії є порівняно незначними. Крім того, ДХ мають виражену здатність до дифракції навколо сферичної поверхні Землі.

Поєднання малого поглинання й значної дифракційної здатності забезпечує поширення ДХ й НДХ земною хвилею на відстані близько 3000 км. Для відстаней приблизно 500-600 км напруженість електричного поля може бути визначена за формулою Шулейкіна-Ван-дер-Поля:

$$E_m = \frac{\sqrt{120PD}}{r} |W|. \quad (1.3)$$

Для більших відстаней розрахунок напруженості поля виконується з урахуванням законів дифракції.

Починаючи з відстані приблизно 300-400 км, крім земної хвилі, у точці приймання фіксується хвиля, відбита від іоносфери. Зі збільшенням відстані напруженість електричного поля (ЕП) іоносферної хвилі зростає. На відстанях близько 700-1000 км напруженості полів земної й іоносферної

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

хвиль (IX) стають порівнянними. Унаслідок накладання цих складових формується інтерференційна структура поля, характер якої наведено на рисунку 1.1.

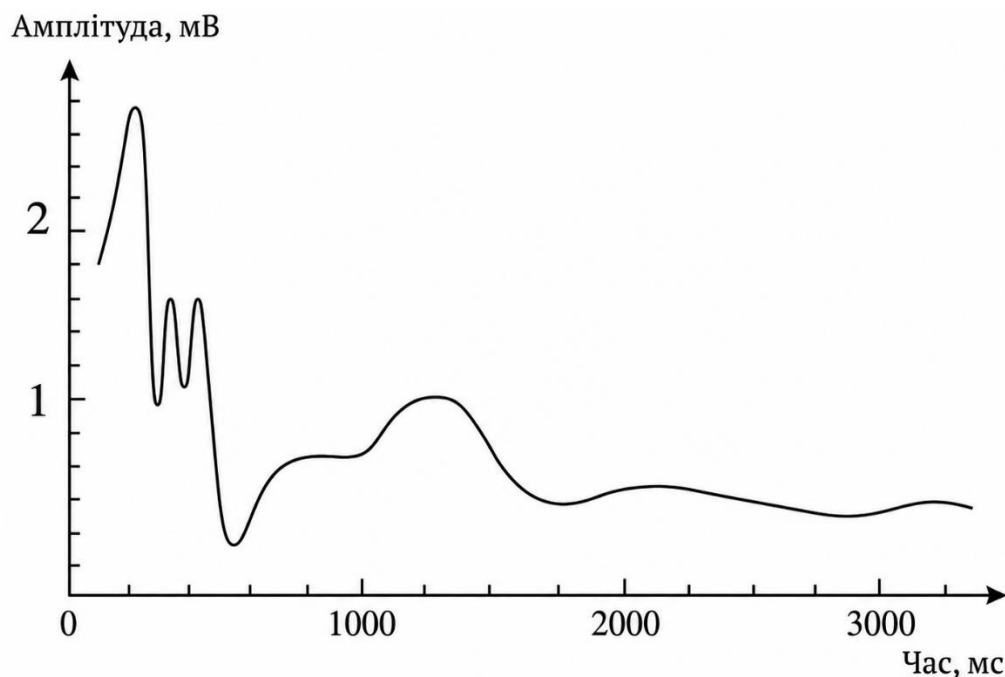


Рис. 1.1. – Характер зміни напруженості ЕП ДХ із відстанню
($\lambda = 1800$ м, $P = 1$ кВт) [7]

На відстанях понад 2000-3000 км ЗХ й IX вже не розглядаються як окремі складові поля. Поширення електромагнітної енергії в цьому випадку набуває хвилевідного характеру: роль стінок умовного хвилеводу виконують поверхня Землі та нижня межа іоносфери.

Діелектрична проникність іоносфери для зазначених діапазонів РХ визначається виразом:

$$v_{\text{тн}} = \frac{c}{\sqrt{1 - (\omega_0/\omega)^2}}.$$

Умова відбиття РХ від іоносферного середовища записується у вигляді:

$$\sin \theta_0 = \sqrt{1 - 3,19 \cdot 10^9 \frac{N_E}{\omega^2 + \nu^2}},$$

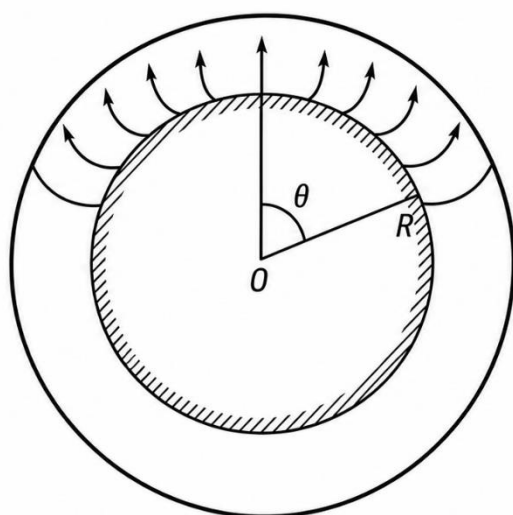
де ω – кутова частота хвилі, яка є меншою або дорівнює величині ν .

Висота відбиття залежить від вертикального розподілу електронної концентрації N й частоти зіткнень електронів із нейтральними молекулами ν . Розрахункові й експериментальні дані свідчать, що вдень відбиття ДХ й НДХ може відбуватися поблизу нижньої межі шару E , а вночі – поблизу нижньої межі шару D . Електропровідність нижніх шарів іоносфери для ДХ є істотною, хоча вона значно менша за електропровідність сухої земної поверхні. За цих умов струми провідності мають порядок, близький до струмів зміщення, тому нижня область іоносфери для ДХ діапазону може розглядатися як напівпровідне середовище.

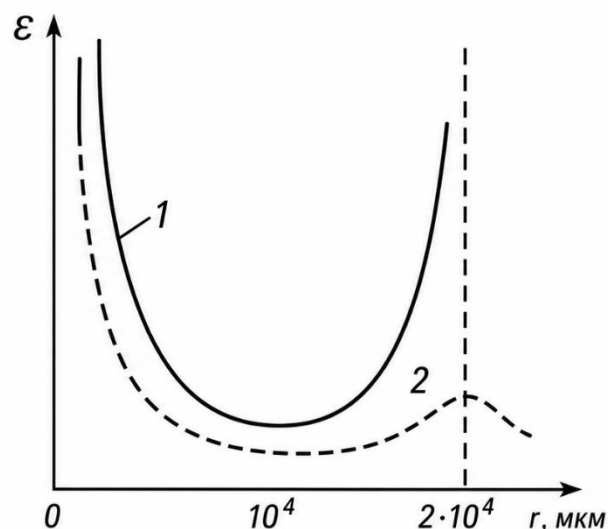
Для ДХ й, особливо, НДХ електронна густина шарів D й E змінюється різко в межах довжини хвилі. Тому відбиття відбувається переважно на межі поділу «повітря – напівпровідникове середовище» без значного проникнення хвилі в товщу іонізованого газу. Саме цим пояснюється відносно слабе поглинання ДХ й НДХ в іоносфері.

Відстань від поверхні Землі до нижньої межі іоносфери становить орієнтовно 60-100 км. Вона є співмірною з довжинами ДХ й НДХ, тому простір між Землею та іоносферою можна розглядати як сферичний хвилевід Земля-іоносфера. Умови поширення в такому середовищі наближені до умов поширення в діелектричному хвилеводі, що схематично відображено на рисунку 1.2а.

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



а



б

Рис. 1.2. – Поширення ДХ й НДХ у хвильоводі Земля-іоносфера:
а – схема поширення; б – залежність напруженості ЕП ДХ від відстані:
1 – без урахування поглинання; 2 – з урахуванням поглинання

Як й в інших хвильовідних системах, у хвильоводі Земля-іоносфера виділяються оптимальні й критичні хвилі. Оптимальними вважаються хвилі, які поширюються з мінімальним загасанням. Критичними є хвилі з граничною довжиною, за якої поширення ще можливе. Для сферичного хвильоводу Земля-іоносфера оптимальними є хвилі довжиною 25-35 км, тоді як критична довжина хвилі становить приблизно 100 км. У такому хвильоводі фазова швидкість РХ може перевищувати швидкість світла у вільному просторі.

На частотах понад 10 кГц відмінність фазової швидкості від швидкості світла є незначною й може бути подана виразом:

$$(v_{\phi}/c - 1) = (1/5) \cdot 10^{-3}.$$

Однак фазова швидкість змінюється з відстанню, оскільки залежить від електронної густини й кількості зіткнень електронів із молекулами в області

іоносфери, де відбувається відбиття РХ. Це спричиняє фазову нестабільність, особливо в ранкові й вечірні години, коли змінюється висота відбиття ДХ. Такий чинник необхідно враховувати під час функціонування ДХ радіонавігаційних систем.

Методи визначення напруженості поля ДХ на великих відстанях від Підґрунтяються на аналізі електромагнітного поля (ЕМП) в іоносферному хвилеводі. Енергія, випромінена антеною, поширюється між двома сферичними поверхнями – Землею та нижньою межею іоносфери. Оскільки в діапазоні ДХ переважно застосовуються ненапрямлені антени, енергія поширюється в усіх напрямках, що узгоджується зі схемою, наведеною на рисунку 1.2а.

У міру віддалення від Під кільцевий переріз сферичного хвилеводу збільшується до моменту, коли внутрішній радіус кільця, у якому поширюється хвиля, досягає радіуса Землі. За подальшого збільшення відстані площа кільцевого перерізу зменшується, що спричиняє концентрацію енергії. Характер зміни напруженості ЕП ДХ на великих відстанях наведено на рисунку 1.2б: суцільна лінія відповідає реальному випадку з урахуванням поглинання, а пунктирна – моделі сферичного хвилеводу з ідеально провідними стінками.

Розрахунок напруженості ЕП ДХ й НДХ здебільшого виконується за емпіричними залежностями. Однією з найпоширеніших є формула Остіна, яка використовується для оцінювання напруженості поля ДХ у денний час на відстанях до 16000-18000 км над морем й сушею. Для поширення над сушею, починаючи з відстаней 2000-3000 км, формула Остіна має вигляд:

$$E_m = \frac{\sqrt{PD}}{r} \sqrt{\frac{\theta}{\sin \theta}} e^{-\frac{0,0014}{\lambda^{0.6}} r} \quad (1.4)$$

Кут θ , що входить до формули, позначено на рисунку 1.2. Наявність у знаменнику множника $\sqrt{\sin(\theta)}$ відображає залежність напруженості ЕП від відстані, показану на рисунку 1.2б пунктирною кривою. З рисунка 1.2б випливає, що поблизу антиподних точок земної кулі, тобто діаметрально протилежних щодо Пд, спостерігається зростання напруженості ЕП. Це явище називається ефектом антипода.

Основною перевагою ДХ є висока стабільність напруженості ЕП. Рівень сигналу в КЗ змінюється відносно незначно протягом доби й року й меншою мірою піддається випадковим флуктуаціям. За умови використання потужних Пд й великогабаритних антен достатня для приймання напруженість ЕП може забезпечуватися на відстанях понад 20000 км.

Недоліком ДХ й НДХ є обмежена смуга частот, що унеможливорює ефективне передавання широкосмугових повідомлень, зокрема мовної або музичної інформації. Тому такі хвилі застосовуються переважно для телеграфного зв'язку на великі відстані, радіонавігації та спеціалізованих систем передавання інформації.

Умови поширення НДХ досліджуються, зокрема, шляхом аналізу електромагнітних імпульсів, утворених грозовими розрядами. Грозовий розряд є імпульсом струму, спектр якого охоплює широкий діапазон частот – від сотень герц до десятків мегагерц. Значна частина енергії такого імпульсу припадає на діапазон НДХ. Під час поширення від місця виникнення розряду хвилі різної довжини зазнають неоднакового поглинання та надходять у точку приймання з різними фазами. Унаслідок цього форма імпульсу спотворюється, а аналіз таких спотворень дає змогу оцінювати параметри сферичного хвильоводу Земля-іоносфера.

У діапазоні ДХ й НДХ спостерігається специфічне атмосферне радіоявище – свистячий атмосферик. Він сприймається як сигнал зі змінною в часі частотою, яка протягом приблизно 0,5-1 с змінюється в межах 400-8000 Гц. Джерелом таких сигналів є грозові розряди, що збуджують НДХ. За

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

умови поширення хвилі в іонізованому газі вздовж силових ліній постійного магнітного поля Землі при $f < f_n = 1,4$ МГц відбиття хвилі від іоносфери не відбувається, оскільки діелектрична проникність іоносфери залишається більшою за одиницю. У такому випадку хвиля поширюється вздовж силових ліній МП, проходить крізь іоносферу й може бути прийнята на Землі в іншій точці тієї самої магнітної силової лінії. Схему поширення свистячих атмосфериків наведено на рисунку 1.3.

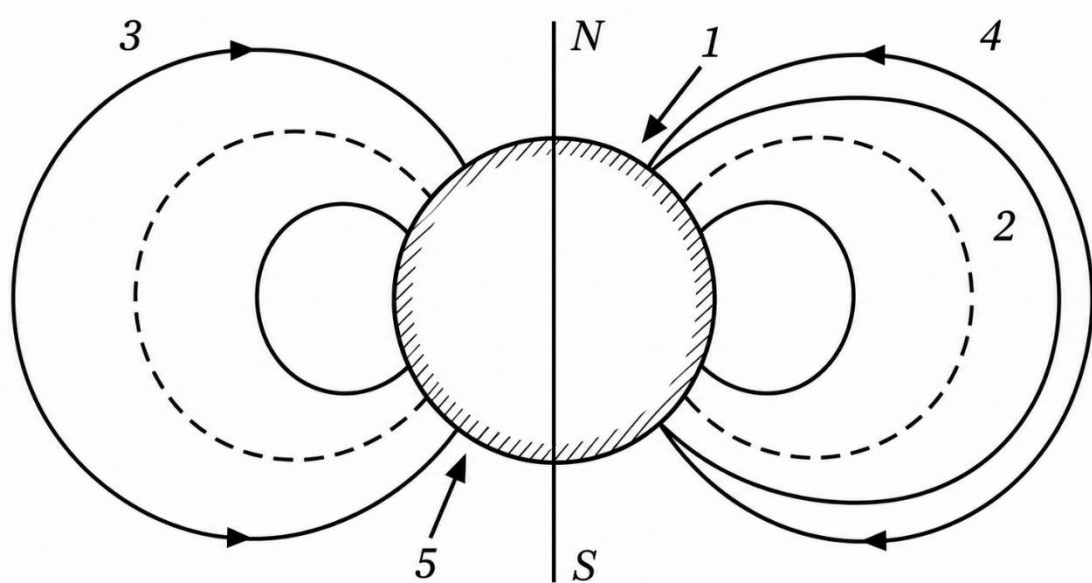


Рис. 1.3 – Схема поширення свистячих атмосфериків:

1 – грозовий розряд; 2 – силові лінії МП Землі; 3 – шлях короткого свистячого атмосферика; 4 – шлях довгого свистячого атмосферика

Сигнал, відбитий від земної поверхні, може пройти зворотний шлях й бути прийнятим поблизу місця виникнення грозового розряду. Час запізнення таких сигналів становить приблизно 2-3 с, що свідчить про проходження ними траєкторії довжиною в багато тисяч кілометрів із віддаленням від поверхні Землі на 10000-15000 км. Спостереження за свистячими атмосфериками дає змогу отримувати відомості про стан МП Землі та густину середовища на значних висотах.

Загальні відомості про модуляцію. ЕС, що містять інформацію про мовлення, зображення або інші повідомлення, мають спектральний склад, який обмежує можливість їх безпосереднього використання в РЗ. По-перше, ефективне випромінювання й приймання НЧ-коливань потребувало б антен великих геометричних розмірів. По-друге, сигнали від однотипних джерел часто мають близькі спектральні характеристики, тому їх одночасне випромінювання у спільному частотному діапазоні ускладнює виділення потрібного сигналу на приймальному боці.

Для перенесення інформації в РК застосовуються ВЧ-коливання, які називаються несучими коливаннями (НК). НК саме по собі є періодичним процесом й не містить інформаційного повідомлення. Для передавання інформації один або кілька його параметрів змінюються відповідно до закону первинного інформаційного сигналу. Процес зміни параметра НК за законом передаваного повідомлення називається модуляцією.

Найчастіше як НК використовується гармонійний сигнал (ГС). Залежно від параметра, що змінюється, розрізняють АМ, ЧМ й фазову модуляцію (ФМ). Сигнал, отриманий унаслідок модуляції, називається модульованим коливанням або РС.

Якщо носієм інформації є послідовність імпульсів, то модуляція полягає у зміні параметрів цієї послідовності. За цією ознакою виділяють амплітудно-імпульсну модуляцію (АІМ), часоімпульсну модуляцію (ЧІМ), широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ) й кодово-імпульсну модуляцію (КІМ). У випадку КІМ інформація подається у вигляді коду, що відповідає певному параметру імпульсної послідовності.

Для розділення сигналів від різних джерел на приймальному боці використовується відмінна ознака НС. Найчастіше такою ознакою є частота несучої. У цьому випадку застосовується частотне розділення сигналів. Приймальний пристрій налаштовується на сигнал із заданою частотною ознакою, а для його виділення використовуються частотні фільтри. Такий

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

фільтр пропускає сигнал із вибраною несучою частотою, незважаючи на те, що на вхід приймальної антени можуть одночасно надходити сигнали від інших джерел.

Після виділення НК з необхідною ознакою здійснюється відновлення інформації, закладеної в його змінених параметрах. Сукупність операцій, зворотних до модуляції, називається демодуляцією (ДМ). У процесі ДМ з прийнятого РС відновлюється первинний інформаційний сигнал (ІС).

Способи та режими модуляції в діапазоні ДХ. У діапазоні ДХ передавання мовної або музичної інформації в режимі RT стандартними широкосмуговими методами, зокрема АМ або ЧМ, є обмеженим через малу доступну смугу частот. Тому в ДХ системах застосовуються спеціалізовані режими, у яких інформація передається шляхом зміни окремих інформативних параметрів сигналу в КЗ.

Азбука Морзе та режими передавання в діапазоні ДХ.

Азбука Морзе, або режим безперервної хвилі (CW), є способом кодування літер, цифр, розділових знаків та інших символів за допомогою послідовностей коротких й довгих сигналів. Короткий сигнал називається точкою, а довгий – тире. Крім сигнальних елементів, у коді використовуються паузи, які відокремлюють елементи одного символу, окремі символи й слова.

За базову одиницю часу приймається тривалість точки. Тривалість тире дорівнює трьом точкам. Пауза між елементами одного символу становить одну точку, між літерами – три точки, між словами – сім точок. Назва коду пов'язана з іменем американського винахідника Семюеля Морзе, однак сучасна телеграфна азбука істотно відрізняється від первинного варіанта, запропонованого в першій половині ХІХ століття.

Сучасний код Морзе є уніфікованою системою передавання символів короткими й довгими посилками КЗ. Початковий варіант коду містив сигнали трьох різних тривалостей: точку, тире й довге тире, тривалість якого

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

була у чотири рази більшою за тривалість точки. Крім того, окремі символи містили внутрішні паузи. У сучасній системі ці особливості було усунено, що підвищило придатність коду для практичного радіотелеграфного зв'язку.

Азбука Морзе належить до перших цифрових способів передавання інформації. Спочатку вона широко застосовувалася в телеграфії й радіотелеграфії. Надалі в автоматизованих СЗ почали використовуватися інші кодові системи, зокрема код Бодо й стандартний американський код для обміну інформацією (American Standard Code for Information Interchange, ASCII), які є зручнішими для машинного оброблення. Водночас для коду Морзе також розроблено засоби автоматичного формування та розпізнавання сигналів.

До основних переваг коду Морзе належать:

- висока завадостійкість під час приймання сигналів на слух в умовах значних радіоперешкод (РП);
- можливість ручного кодування й декодування повідомлень;
- простота запису, формування й відтворення сигналів за допомогою нескладної апаратури;
- придатність для роботи з малопотужними Пд та вузькосмуговими каналами.

Основними недоліками коду Морзе є:

- низька інформаційна ефективність, оскільки для передавання одного символу в середньому потрібно близько 9,5 елементарних посилок;
- обмежена придатність для автоматизованого літеродрукуювального приймання;
- невисока швидкість телеграфування порівняно з сучасними цифровими методами передавання даних.

У 2004 році Міжнародний союз електров'язку (МСЕ) доповнив азбуку Морзе кодом для символу «@», що було зумовлено потребою передавання адрес електронної пошти. На практиці для спрощення запам'ятовування коду

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

часто використовуються мнемонічні словесні форми, які відтворюють ритмічну структуру точок й тире.

Одночастотна безперервна модуляція QRSS є режимом наднизькошвидкісного телеграфного передавання. Позначення QRSS походить від системи Q-кодів, що використовуються в РЗ. Застосування цього режиму потребує вузькосмугового сигналу й Пм зі смугою пропускання, адаптованою до параметрів передаваного сигналу.

У практичних реалізаціях для приймання QRSS-сигналів часто використовується ПК із ПЗ спектрального аналізу. Таке ПЗ формує вузькосмуговий цифровий фільтр на основі швидкого перетворення Фур'є. Завдяки цьому можливо одночасно контролювати відносно широку ділянку ефіру в межах вузькосмугового ДХ діапазону.

Перевагою QRSS є відсутність потреби в точному налаштуванні Прм на конкретний сигнал. На екрані ПК може одночасно відображатися декілька сигналів аматорських радіостанцій. Водночас істотним обмеженням цього режиму є складність або неможливість слухового контролю сигналу. У більшості випадків приймання здійснюється шляхом візуального аналізу спектрального зображення.

Результат роботи ПЗ аналізу вхідного сигналу подається у графічній формі. Якщо час відкладено по вертикальній осі, такий спосіб подання називається дисплеєм водоспаду (waterfall display). Якщо час відкладається по горизонтальній осі, використовується дисплей завіси (curtain display). Приклад QRSS-сигналу у вигляді дисплея завіси наведено на рисунку 1.4.

Сигнали QRSS зазвичай не приймаються на слух через високий рівень атмосферних РП, які позначаються терміном QRN. Вертикальні лінії на спектральному зображенні відповідають статичним атмосферним збуренням й можуть ускладнювати візуальне розпізнавання корисного сигналу.

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

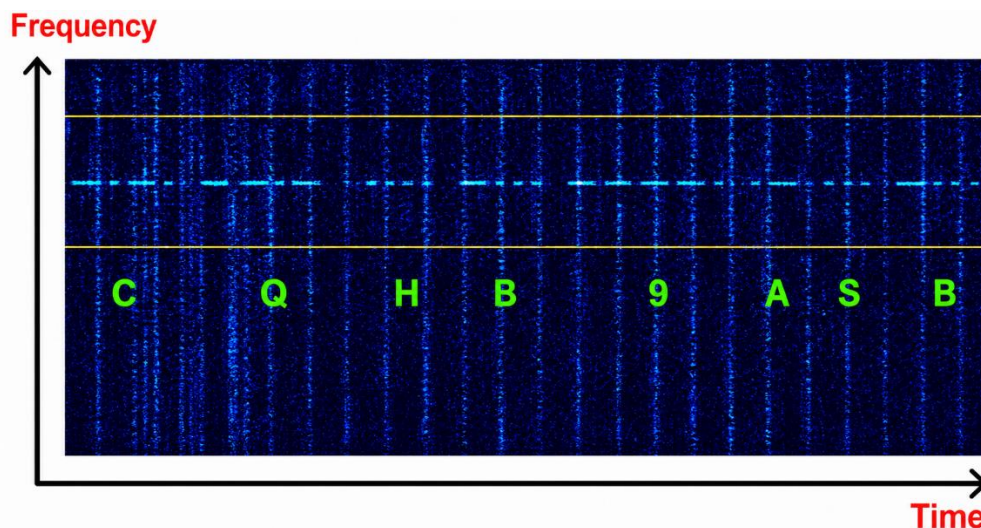


Рис. 1.4 – QRSS-сигнал у вигляді дисплея завіси (curtain display)

Двочастотна безперервна модуляція (dual-frequency continuous wave, DFCW) є різновидом телеграфного передавання, призначеним для підвищення ефективності роботи у вузькосмугових КЗ. У класичному режимі CW за тривалості точки 3 с типовий РЗ (QSO) може тривати близько 30 хв. За такий проміжок часу умови поширення РХ можуть істотно змінитися, що знижує стабільність й результативність КЗ. Тому було запропоновано режим DFCW, який забезпечує підвищення швидкості передавання приблизно у 2,5-3 рази.

Класичний CW-сигнал має ознаки ЦС, оскільки інформація передається чергуванням наявності й відсутності НК. Проте з погляду часової структури такий сигнал має не два, а кілька логічних станів. Тире відповідає тривалому ввімкненню сигналу, точка – короткому ввімкненню, а проміжки між елементами й словами формуються інтервалами відсутності сигналу.

Для класичного CW характерні такі часові структури:

- 1) Тире – сигнал присутній протягом трьох часових інтервалів, після чого формується пауза; умовно така структура може бути подана як «1110».
- 2) Точка – сигнал присутній протягом одного інтервалу, після чого формується пауза; умовне подання – «10».

3) Проміжок між елементами – відсутність сигналу протягом двох інтервалів; умовне подання – «00».

4) Проміжок між словами – триваліший інтервал відсутності сигналу, який може бути поданий як «000000».

У класичному CW визначальними параметрами є наявність або відсутність сигналу й тривалість його передавання. Різна тривалість точок й тире є важливою для слухового приймання, однак вона збільшує загальний час передавання повідомлення.

У режимі DFCW параметр тривалості частково замінюється частотним рознесенням. Точка й тире мають однакову тривалість, але передаються на різних частотах. Завдяки цьому зменшується непродуктивний часовий інтервал між елементами коду, а загальна тривалість передавання повідомлення скорочується.

Під час практичної реалізації DFCW для підвищення розбірливості між точками й тире може вводитися додатковий порожній інтервал тривалістю, що дорівнює одному елементу. Це дещо зменшує швидкість передавання, однак полегшує візуальне декодування сигналу. Крім того, такий режим знижує навантаження на підсилювач потужності й зменшує ймовірність його перегрівання.

Частотна маніпуляція (frequency-shift keying, FSK) є різновидом цифрової модуляції (ЦМ), за якої інформативним параметром сигналу є частота НК. На відміну від ФМ, у FSK передавання інформації здійснюється не зміною фази, а перемиканням між двома або більше частотними станами.

Узагальнену структурну схему FSK-модулятора наведено на рисунку 1.5.

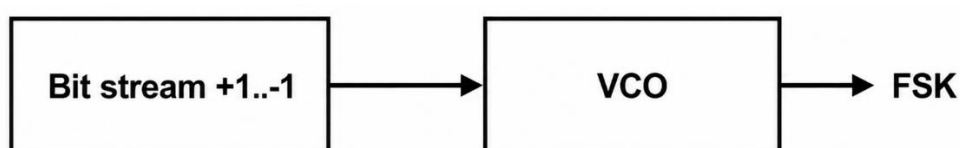


Рис. 1.5. – Структурна схема FSK-модулятора

Прямокутний бітовий потік, приведений до рівнів $+1$ та -1 , подається на керований напругою генератор (voltage-controlled oscillator, VCO). Одному логічному рівню відповідає одна частота, іншому – друга частота. У результаті на виході модулятора формується класичний FSK-сигнал.

Частотне рознесення задається параметрами модулятора. Воно повинно бути не меншим за швидкість маніпуляції Br (baud rate), оскільки за меншого рознесення коректна демодуляція сигналу стає неможливою. У класичній FSK генератор модулятора й бітовий потік не є синхронізованими між собою. Через прямокутну форму імпульсів керування й різке перемикання частоти спектр такого сигналу містить значну кількість гармонічних складових.

Основна енергія FSK-сигналу зосереджується поблизу частот маніпуляції. За частотного рознесення, що дорівнює Br , мінімальна смуга спектра становить приблизно $2Br$. У загальному випадку ширина основної смуги може бути подана як сума частотного зсуву $Shift$ й швидкості маніпуляції Br :

$$B_{FSK} \approx Shift + Br.$$

Гармонічні складові за межами основної смуги можуть бути зменшені без істотного погіршення демодуляції. Це досягається шляхом фільтрації сигналу або попереднього згладжування керуючого бітового потоку.

Спектральну структуру FSK-посилки в часі для випадку нормального захисного інтервалу й мінімально допустимого частотного рознесення наведено на рисунку 1.6.

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

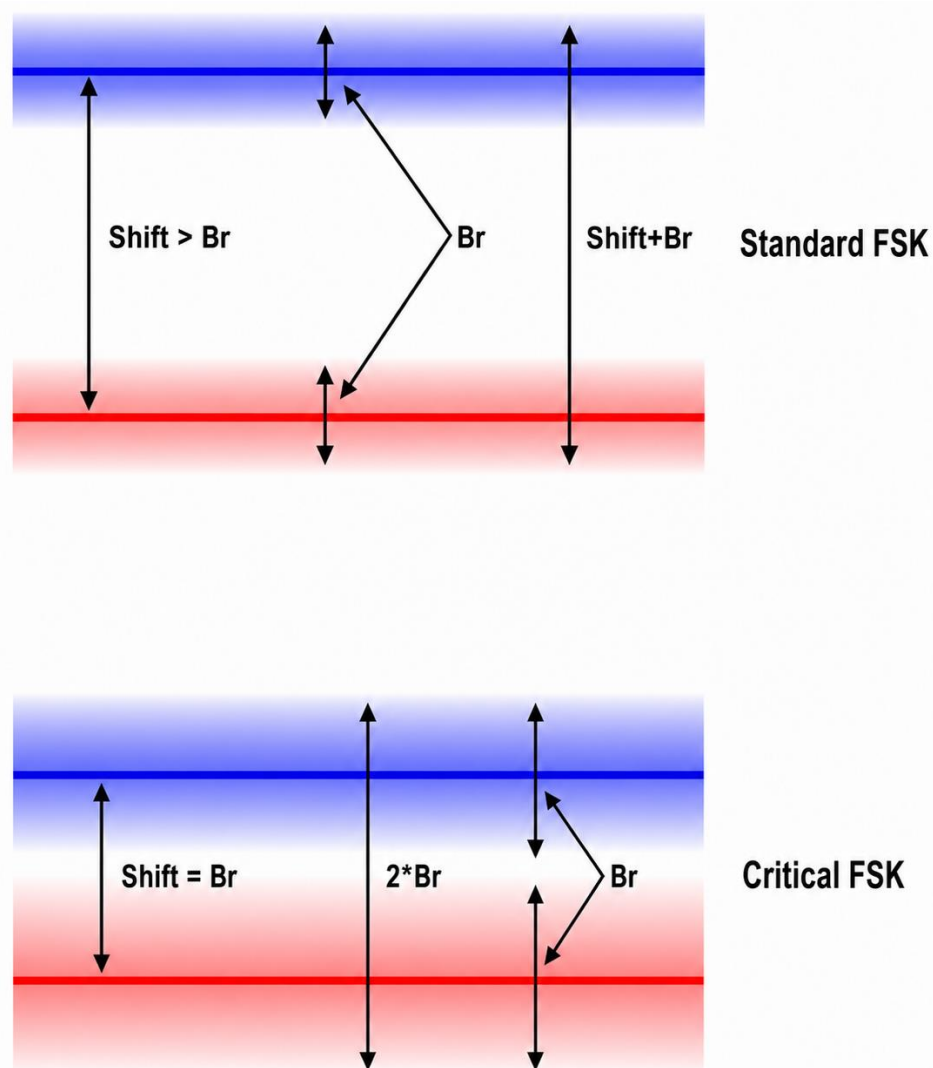


Рис. 1.6. – Спектр FSK-посилки в часі: зверху – нормальний захисний інтервал; знизу – мінімально допустимий інтервал

З рисунка 1.6 видно, що за частотного рознесення, яке дорівнює Br , спектральні області навколо частот маніпуляції розміщуються без взаємного перекриття. Подальше зближення частот призводить до накладання спектральних складових сусідніх посилок, що спричиняє взаємні завади й ускладнює ДМ.

Для підвищення спектральної ефективності FSK доцільно зменшувати ширину області, в якій зосереджена основна енергія бічних складових. Це реалізується шляхом попередньої фільтрації бітового потоку перед його поданням на модулятор. Найчастіше для цього застосовуються гаусові

фільтри, які згладжують різкі переходи напруги керування й зменшують ширину спектра.

Різновид FSK із попередньою фільтрацією бітового потоку гаусовим фільтром називається гаусовою частотною маніпуляцією (Gaussian frequency-shift keying, GFSK). Загальна структура модулятора при цьому залишається незмінною, однак бітовий потік перед поданням на VCO проходить через гаусовий фільтр. Це дає змогу зменшити частотний зсув порівняно з обмеженням класичної FSK, для якої виконується умова:

$$\text{Shift} \geq Br.$$

Отже, GFSK забезпечує вузький спектр сигналу, знижує рівень позасмугових випромінювань й підвищує ефективність використання частотного ресурсу.

Цифрове кодування та технологія SDR.

Програмно-визначене радіо (SDR) є концепцією побудови радіосистем, у яких значна частина функцій приймання, передавання, модуляції, ДМ й оброблення сигналів реалізується ПЗ. Основою SDR є використання методів ЦОС, мікропроцесорів, цифрових сигнальних процесорів й ПК.

У традиційних радіосистемах ПК часто виконував допоміжні функції: ведення журналу зв'язків, формування технічної документації (ТД), налаштування апаратури або керування окремими режимами. Із розвитком SDR роль ПК істотно змінилася, оскільки саме ПЗ почало виконувати основні операції з оброблення РС.

У SDR-системі більша частина оброблення сигналу виконується ПЗ, яке працює на ПК або керує спеціалізованими мікропроцесорними пристроями. Метою такого підходу є створення гнучкої радіосистеми, здатної приймати й передавати сигнали різних стандартів без істотної зміни апаратної частини. Завдяки цьому SDR широко застосовується у

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

військовому, професійному, стільниковому й радіоаматорському зв'язку, де необхідна підтримка різних радіопротоколів у режимі RT.

У режимі приймання SDR може забезпечувати вищу ефективність порівняно з традиційними аналоговими методами. Це пов'язано з високою вибірковістю цифрової фільтрації, стабільністю параметрів й можливістю реалізації алгоритмів, які складно або недоцільно виконувати аналоговими засобами. ЦОС дає змогу виконувати фільтрацію, демодуляцію, спектральний аналіз, придушення завад й декодування сигналів програмними методами.

Ідеальна модель SDR-Пм передбачає безпосереднє підключення антени до аналого-цифрового перетворювача (АЦП), вихід якого з'єднується з обчислювальним пристроєм. У такому випадку ПЗ обробляє потік дискретизованих даних й перетворює його у необхідну форму. Ідеальна модель SDR-Пд є аналогічною: ПЗ формує цифровий потік даних, який подається на цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), підключений до антенного тракту.

Однак сучасна ЕБ має обмеження, які ускладнюють реалізацію повністю цифрового SDR у широкому РЧ діапазоні. Зокрема, доступні АЦП не завжди забезпечують достатню швидкодію, ширину смуги та динамічний діапазон для безпосереднього оцифрування широкосмугових ВЧ сигналів. Тому в реальних SDR-пристроях ВЧ сигнал попередньо переноситься в НЧ область.

Перенесення спектра здійснюється за допомогою змішувача та опорного генератора. Після цього сигнал НЧ надходить на АЦП й обробляється методами ЦОС. Отже, навіть у SDR-системах зберігається аналогова частина, необхідна для попереднього перетворення частоти, узгодження рівнів й забезпечення належної якості оцифрування.

З огляду на гнучкість й широкі функціональні можливості SDR, ця технологія має значний потенціал для подальшого розвитку РЗ. У

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

професійних SDR-рішеннях аналогова частина часто реалізується за супергетеродинним принципом. У радіоаматорських пристроях поширення набули схеми прямого перетворення, які завдяки ЦОС можуть забезпечувати достатню якість приймання та передавання.

Отже, використання SDR дає змогу підвищити універсальність радіосистем, спростити підтримку різних режимів модуляції, забезпечити програмну адаптацію до умов КЗ й зменшити залежність від вузькоспеціалізованих аналогових вузлів. Для ДХ систем така технологія є особливо доцільною, оскільки робочі частоти є порівняно низькими, що спрощує цифрове формування та ЦОС.

1.1.2. Аналіз інформації

Низькочастотний Пд діапазону 136 кГц належить до радіотехнічної апаратури (РТА), що може застосовуватися у складі переносних й стаціонарних ТКС. РТА призначена для експлуатації як у межах нерухомих об'єктів, так й поза ними, тому його конструкція повинна відповідати вимогам електробезпеки й забезпечувати належний рівень захисту користувача під час роботи. За умовами електрозахисту прилад має відповідати класу захисту II типу.

Експлуатація РТА повинна здійснюватися відповідно до вимог ДСТУ ГОСТ 15150-82. За кліматичним виконанням РТА має відповідати виконанню УХЛ, категорія 4.2 згідно з ДСТУ ГОСТ 20790. З огляду на це встановлено такі умови експлуатації:

- температура навколишнього середовища – від +10 °С до +35 °С;
- відносна вологість повітря – до 80 % за температури +25 °С;
- атмосферний тиск – 750 ± 30 мм рт. ст.

З погляду забезпечення надійності електрорадіоелементи (ЕРЕ) повинні добиратися з урахуванням мінімальної інтенсивності відмов й достатнього ресурсу роботи. Такий підхід дає змогу підвищити надійність РТА загалом, зменшити ймовірність відмов під час експлуатації й

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечити стабільність основних електричних параметрів упродовж заданого терміну служби.

Для реалізації низькочастотного Пд діапазону 136 кГц необхідно забезпечити такі основні технічні характеристики (ТХ):

- робоча частота – 136 кГц;
- швидкість передавання даних – до 76,5 біт/с;
- напруга живлення (НЖ) – 3 В, 5 В, 12 В;
- споживана потужність – не більше 1,2 Вт;
- час установлення робочого режиму – не більше 3 с.

Конструкція РТА повинна забезпечувати доступ до ЕРЕ для проведення монтажу, контролю, налагодження, технічного обслуговування (ТО) та ремонту. Таке конструктивне рішення (КР) підвищує ремонтпридатність РТА та спрощує виконання регламентних робіт.

За показниками надійності РТА повинна відповідати вимогам ДСТУ ГОСТ 23145-82. Імовірність безвідмовної роботи має бути не меншою ніж 0,9, а напрацювання на відмову – не менше 12000 год. Нормативний термін служби РТА повинен становити не менше 6 років. Час безперервної роботи має дорівнювати 24 год, що визначає вимоги до теплового режиму, стабільності НЖ та вибору ЕБ.

З економічного погляду конструкція РТА повинна характеризуватися раціональною собівартістю, технологічністю виготовлення та доступністю комплектувальних ЕРЕ. Це є необхідною умовою забезпечення конкурентоспроможності РТА й доцільності його практичного впровадження.

Отже, аналіз вихідних вимог показав, що під час проектування РТА необхідно враховувати технічні, кліматичні, експлуатаційні, конструктивні, надійнісні й економічні показники. Дотримання наведених вимог забезпечує можливість створення РТА, придатного для стабільної роботи в заданих умовах експлуатації й використання у складі ТКС.

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Проектування схемотехнічне

1.2.1. Розроблення структурної та функціональної схем

Структурну схему РТА низькочастотного Пд діапазону 136 кГц наведено на рис. 1.7.

РТА призначена для перетворення сигналу, сформованого керуючим ПЗ методом прямого цифрового синтезу, в аналоговий сигнал із подальшим підсиленням за потужністю й передаванням на трансивер. Загальна структура РТА містить вісім основних функціональних блоків. Центральним елементом системи є МК блок, який забезпечує керування іншими вузлами пристрою відповідно до попередньо записаного ПЗ.

У режимі RT МК приймає дані від ПК та передає їх на ЦАП. Після перетворення цифрового коду в аналоговий сигнал (АС) сформована НЖ надходить на підсилювач потужності (ПП), а далі – на трансмітер. Керуюче ПЗ також формує команди ввімкнення й вимкнення трансмітера, що дає змогу зменшити енергоспоживання під час передавання даних.

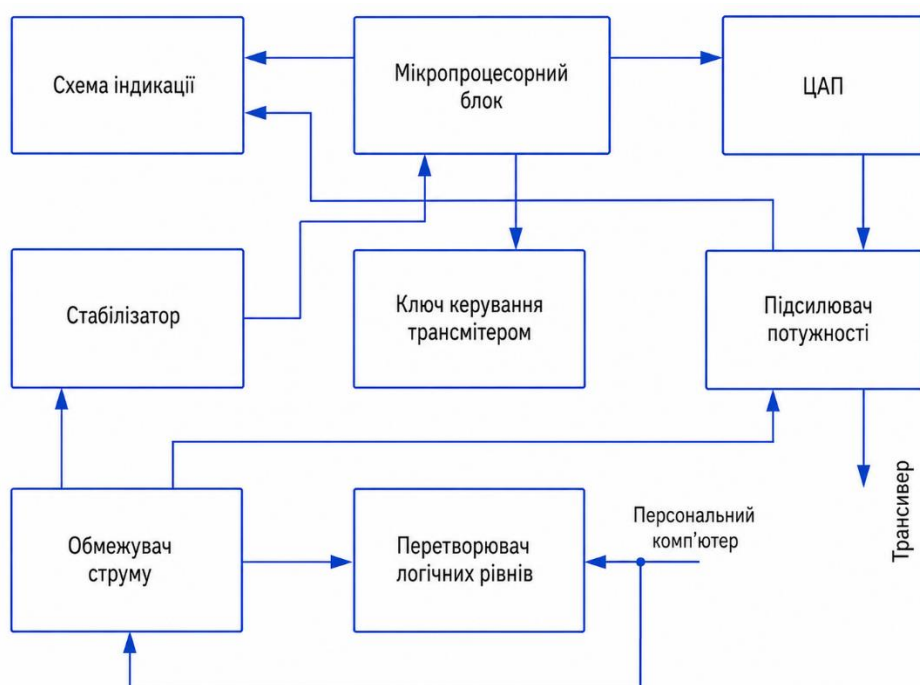


Рис. 1.7. – Структурна схема РТА НЧ Пд діапазону 136 кГц

Перетворювач логічних рівнів виконує функцію буферного приймача-передавача (ПрП) та забезпечує узгодження рівнів сигналів МК з рівнями інтерфейсу СОМ-порта ПК. Індикація поточного режиму роботи РТА реалізована за допомогою світлодіодів.

До складу пристрою також входить стабілізатор НЖ, який може забезпечувати електроживлення зовнішніх вузлів. Для запобігання пошкодженню стабілізатора передбачено обмежувач струму, що підтримує струм навантаження в допустимих межах.

Структурна схема розробляється на початкових етапах проєктування й передуює створенню схем інших типів. Вона визначає основні функціональні частини РТА, їхнє призначення й взаємозв'язки. Така схема відображає принцип дії РТА в узагальненому вигляді без деталізації реального конструктивного розміщення ЕРЕ й конкретного способу реалізації зв'язків між ними.

Побудова структурної схеми повинна забезпечувати наочне уявлення про склад РТА й послідовність взаємодії його функціональних частин. Функціональні блоки на схемі зображаються у вигляді прямокутників або умовних графічних позначень. У разі використання прямокутників усередині них зазначають найменування, типи або позначення відповідних блоків. Напрямок проходження процесів у РТА позначається стрілками, які з'єднують функціональні частини.

Для простих виробів функціональні блоки доцільно розташовувати послідовно, відповідно до ходу робочого процесу, зліва направо. Якщо схема містить кілька основних робочих каналів, їх доцільно подавати у вигляді паралельних горизонтальних ліній, що підвищує наочність структурної побудови РТА.

Функціональна схема призначена для пояснення процесів, які відбуваються в окремих функціональних колах або в РТА загалом. Для складних виробів може розроблятися кілька функціональних схем, кожна з яких відображає процеси в певному режимі роботи. Кількість таких схем,

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ступінь їх деталізації й обсяг поданої інформації визначаються з урахуванням особливостей РТА й завдань проєктування.

На функціональній схемі зображаються функціональні частини РТА, зокрема елементи, пристрої, функціональні групи, а також зв'язки між ними. Графічне подання повинно відображати послідовність функціональних процесів, що реалізуються в РТА. Фактичне просторове розміщення ЕРЕ у виробі при цьому може не враховуватися.

Функціональні частини й зв'язки між ними можуть позначатися умовними графічними символами, установленими відповідними стандартами. У цьому разі схема виконується за правилами оформлення принципів схем. Окремі функціональні частини допускається подавати у вигляді прямокутників; такі фрагменти оформлюються відповідно до правил виконання структурних схем.

На функціональній схемі зазначаються такі відомості:

- для функціональних груп – позначення, присвоєне на принциповій схемі, або найменування групи;
- для кожного пристрою чи елемента, поданого умовним графічним позначенням, – буквено-цифрове позиційне позначення й тип елемента;
- для пристроїв, зображених прямокутниками, – позиційне позначення, найменування, тип або позначення документа, на підставі якого пристрій застосовано;
- для функціональних частин – ТХ, параметри у характерних точках, пояснювальні написи й інші необхідні дані.

За потреби на функціональній схемі можуть позначатися електричні кола відповідно до вимог стандартів. Якщо до складу виробу входять елементи різних типів, доцільно розробляти кілька схем відповідних видів або одну комбіновану схему, яка містить елементи й зв'язки різної природи.

Принципова електрична схема (ЕЗ) є основним видом схеми, що використовується для вивчення принципу роботи РТА, її налагодження, регулювання, контролю й ремонту. Після визначення загальної структури

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РТА розробляється функціональна схема, яка уточнює послідовність перебігу процесів й дає змогу визначити параметри сигналів у найбільш важливих точках схеми.

Функціональну схему НЧ Пд діапазону 136 кГц наведено на рисунку 1.8.

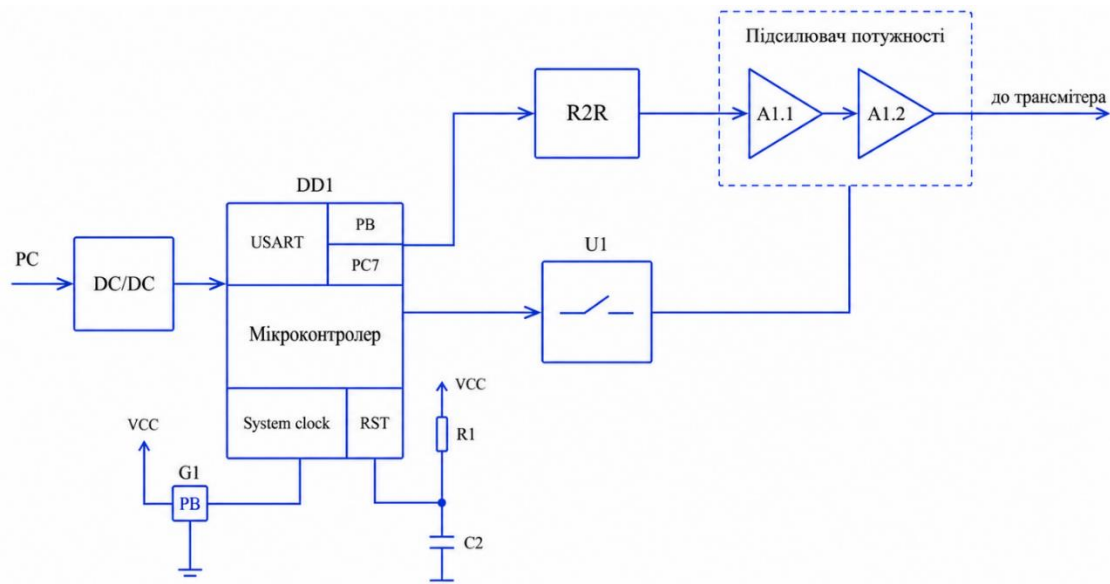


Рис. 1.8. – Функціональна схема РТА НЧ Пд діапазону 136 кГц

Основною функціональною одиницею пристрою є МК. Для забезпечення його стабільної роботи використовується мінімально необхідний набір зовнішніх ЕРЕ, зокрема схема початкового скидання й вузол тактування.

Ланка початкового скидання реалізована на елементах R3 й C6. У початковий момент після ввімкнення НЖ конденсатор перебуває в розрядженому стані, тому вивід скидання МК підтягується до потенціалу загальної шини. Оскільки нульовий рівень на цьому вході є активним, забезпечується скидання програмного лічильника. Надалі конденсатор заряджається через резистор, унаслідок чого потенціал на його виводі поступово зростає. Після досягнення порогового значення МК переходить до виконання інструкцій ПЗ.

Тактування МК реалізовано на основі зовнішнього кварцового генератора G1. Застосування зовнішнього генератора зумовлене необхідністю забезпечення вищої стабільності й точності тактової частоти порівняно з внутрішнім тактовим джерелом. Стабільність тактування є важливою для формування точних часових інтервалів й дотримання таймінгів послідовних комунікаційних інтерфейсів.

Схема тактування дає змогу використовувати різні енергетичні режими роботи МК. Однак у розглянутому пристрої основний режим роботи відповідає режиму Active, оскільки потужність, споживана МК, є незначною порівняно зі споживанням інших вузлів, зокрема трансмітера. Після завершення початкової ініціалізації МК переходить до виконання основної програми керування.

Передавання інформації від керуючої комп'ютерної програми до МК здійснюється через перетворювач логічних рівнів. Дані надходять до внутрішнього USART-модуля МК. Використання буферного перетворювача є необхідним через відмінність логічних рівнів МК, які становлять 0/5 В, від рівнів COM-порта ПК, що можуть досягати приблизно ± 12 В.

У разі надходження команди на ввімкнення трансивера МК формує рівень логічної одиниці на відповідній лінії керування транзисторним ключем. Після відкриття ключа спрацьовує реле, контакти якого забезпечують ввімкнення трансмітера. У разі надходження команди вимкнення формується протилежний керуючий стан, що переводить трансмітер у неактивний режим.

Цифрові дані, призначені для передавання, періодично подаються побайтно на лінії порту МК, підключені до пасивного R-2R ЦАП. Такий ЦАП забезпечує формування аналогової НЖ відповідно до цифрового коду, що надходить від МК.

Після ЦАП АС подається на ПП. Перший каскад підсилювача виконує буферну функцію та працює в режимі класу А. Другий каскад працює на резонансне навантаження, налаштоване на частоту 136 кГц, й функціонує в режимі класу В. Така структура підсилювача забезпечує попереднє

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

узгодження сигналу, підсилення його потужності й передавання на трансмітер для подальшого використання в КЗ.

1.2.2. Проектування та розрахунок вузлів електричної принципової схеми пристрою

Розроблювана РТА забезпечує довготривалу стабільність частоти вихідного сигналу не гірше ніж 0,1 Гц за добу після початкового 10-хвилинного прогріву. Крок установлення частоти становить 0,07 Гц. Вихідна потужність пристрою становить близько 150 мВт на навантаженні 50 Ом у частотному діапазоні 50...300 кГц. Також передбачено можливість керування зовнішнім ПП.

Вихід збуджувача обладнано елементами захисту від зовнішніх імпульсних перенапруг й перевищення допустимого струму. Керуюче ПЗ забезпечує формування сигналів у режимах CW, QRSS, DFCW, HELL, PSK, OPERA, WOLF та MFSK-37. Керування РТА здійснюється через COM-порт ПК. Додатково передбачено можливість застосування автономного керуючого термінала. Для його живлення на контакти роз'єму COM-порта виведено НЖ 12 В із захистом від короткого замикання.

Збуджувач з'єднується з Пд за допомогою коаксіального кабелю, довжина якого може становити до 50 м. Таке рішення є доцільним у випадках, коли збуджувач потужності й котушка подовження антени розміщені на відстані від робочого місця оператора.

Формування дискретних відліків синусоїдального сигналу заданої частоти здійснюється МК DD1 програмним способом за принципом прямого цифрового синтезу DDS. Перетворення цифрових відліків в аналогову форму виконується восьмирозрядним ЦАП на основі R-2R матриці, реалізованої на резисторах R10, R13, R14, R17...R20, R23, R25...R28, R31...R34.

З виходу ЦАП сигнал через фільтр C9, L2 й розділовий конденсатор C12 надходить на попередній ПП, побудований на транзисторі VT4. Цей каскад працює в режимі класу А й забезпечує лінійне підсилення сигналу.

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Робоча точка транзистора задається резисторами R11 й R12. Підбором одного з цих резисторів встановлюється постійна НЖ на колекторі, що дорівнює 5 В. Резистор R16, зашунтований за змінним струмом конденсаторами C17 й C22, створює від'ємний зворотний зв'язок за постійним струмом, що забезпечує термостабілізацію робочої точки транзистора.

Колекторним навантаженням транзистора VT4 є резистор R15. Із цього резистора через розділовий конденсатор C16 підсилений сигнал подається на кінцевий підсилювальний каскад, виконаний на потужному транзисторі VT5. Резистори R21 й R22 формують на базі транзистора невелике зміщення, приблизно 0,4 В. Завдяки цьому за відсутності вхідного сигналу транзистор VT5 перебуває поблизу порогу відкривання. Резистор R30 забезпечує від'ємний зворотний зв'язок за постійним й змінним струмом, що стабілізує робочу точку транзистора за зміни теплового режиму.

У колекторне коло транзистора VT5 увімкнено обмотку I трансформатора T1. За допомогою конденсатора C21 ця обмотка налаштовується на частоту сигналу, що сприяє покращенню форми вихідного сигналу й зменшенню імпульсних викидів. Діод VD6 захищає транзистор VT5 від роботи в інверсному режимі. Конденсатори C4, C5, C8, C11 й дросель L1 утворюють фільтр, призначений для захисту інших вузлів пристрою від високочастотних наведень у колі живлення.

З обмотки II трансформатора T1 сигнал подається на роз'єм XW1, а також через конденсатор C23 – на амплітудний детектор, виконаний на діоді VD4 зі згладжувальним конденсатором C20. Продетектований сигнал напругою близько 6...7 В через обмежувальний резистор R24 надходить на світлодіод HL4, розміщений на лицьовій панелі пристрою. Світлодіод HL4 використовується для індикації наявності вихідного сигналу. Резистор R29 замикає коло вихідного струму детектора й одночасно виконує функцію навантаження збуджувача.

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Безпосередньо біля роз'єму XW1 встановлено газовий розрядник FV1 із напругою пробою 75 В. Він призначений для захисту збуджувача від короточасних високовольтних імпульсів, які можуть надходити на роз'єм із зовнішнього кола. Нижній за схемою відвід обмотки ІІ трансформатора через конденсатор С24 з'єднаний за високою частотою із загальним проводом.

Вузол керування зовнішнім ПП реалізовано на транзисторі VT3 й реле К1. У режимі приймання, коли ПП має бути вимкнений, контакти К1.1 реле перебувають у розімкненому стані. Для ввімкнення ПП МК за командою від ПК встановлює на виводі РС7 високий рівень напруги. Унаслідок цього вмикається світлодіод HL2 й відкривається транзистор VT3, що спричиняє спрацювання реле К1 й замикання його контактів у вихідному колі за постійним струмом. Такий режим імітує сигнал РТТ, який забезпечує ввімкнення ПП.

Для захисту виходу від надмірного струму використовується самовідновний запобіжник FU1. Діод VD3 захищає транзистор VT3 від імпульсу НЖ самоіндукції, що виникає на обмотці реле під час вимикання.

Роз'єм XS1 з'єднується кабелем із СОМ-портом ПК. Вузол узгодження рівнів сигналів СОМ-порта та МК побудовано на мікросхемі DA2. Резистор R1 й конденсатор С2 формують імпульс початкового скидання, який переводить МК у вихідний стан під час подавання НЖ.

Для живлення РТА використовуються НЖ 12 В й 5 В. Діоди VD1 й VD2 захищають збуджувач від випадкового подавання НЖ неправильної полярності. Інтегральний стабілізатор DA1 забезпечує можливість використання одного джерела живлення НЖ 12 В. Світлодіод HL1 призначений для індикації наявності НЖ 5 В, а світлодіод HL3 – для індикації наявності НЖ 12 В.

Через обмежувач струму, реалізований на транзисторах VT1, VT2 й діоді VD5, НЖ +12 В подається на контакти 8 й 9 роз'єму XS1, які не використовуються для обміну даними з ПК. Ця НЖ може бути використана

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для живлення автономного блока керування, підключеного до відповідного роз'єму. Якщо струм у цьому колі досягає значення, за якого спад НЖ на резисторі R4 стає достатнім для відкриття транзистора VT1, транзистор відкривається й шунтує емітерний перехід транзистора VT2. Унаслідок цього подальше зростання струму обмежується. При цьому напруга зменшується, а світлодіод HL3 знижує яскравість світіння або повністю вимикається. Вибрані номінали елементів задають поріг спрацювання обмежувача приблизно 200 мА.

Основним вузлом, що визначає стабільність тактової частоти РТА, є генератор G1. У схемі застосовано термокомпенсований генератор із малим відхиленням частоти, що забезпечує необхідну довготривалу стабільність роботи збуджувача.

Розрахунок ПП. Вихідними даними для попереднього розрахунку ПП є:

- вихідна потужність: $P_{\text{вих}} = 0,15 \text{ Вт}$;
- опір навантаження за змінним струмом: $R_{\text{н}} = 50 \text{ Ом}$;
- амплітудне значення вхідної НЖ: $U_{\text{вхт}} = 5 \text{ В}$;
- внутрішній опір джерела сигналу: $R_{\text{дж}} \approx 20 \text{ кОм}$;
- робочий діапазон частот: $f_{\text{н}} \dots f_{\text{в}} = 50 \dots 300 \text{ кГц}$.

Потужність сигналу на вході ПП визначається з урахуванням того, що найбільша потужність передається в навантаження за умови рівності опору навантаження й внутрішнього опору джерела. Розрахунок виконується за формулою (1.5):

$$P_{\text{вих}} = \frac{U_{\text{вх}}^2}{R_{\text{дж}}}, \quad (1.5)$$

$$P_{\text{вих}} = \frac{5^2}{20000} = 0,00125 \text{ Вт}.$$

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Коефіцієнт підсилення за потужністю всього підсилювача визначається за формулою (1.6):

$$K_P = \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{вх}}}, \quad (1.6)$$

$$K_P = \frac{0,15}{0,00125} = 120.$$

Коефіцієнт підсилення за потужністю в децибелах розраховується за формулою (1.7):

$$K_{P[\text{дБ}]} = 10 \cdot \lg(K_P) = 10 \cdot \lg(120) = 2,08 \text{ дБ}. \quad (1.7)$$

Орієнтовна кількість каскадів підсилення визначається з урахуванням того, що один каскад зі спільним емітером може забезпечувати підсилення приблизно 20 дБ. Розрахунок виконується за формулою (1.8):

$$m = \frac{K_{P[\text{дБ}]}}{20}, \quad (1.8)$$

$$m = \frac{2,08}{20} \approx 1.$$

Отже, для забезпечення заданого коефіцієнта підсилення достатнім є один підсилювальний каскад. Водночас для роботи на коливальний контур, до складу якого входить первинна обмотка узгоджувального трансформатора, доцільно додатково застосувати каскад узгодження.

Ємність конденсатора в колекторному колі транзистора VT5 визначається за формулою (1.9):

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_K = \frac{1}{4 \cdot f_r^2 \cdot L \cdot 3,14^2}, \quad (1.9)$$

$$C_K = \frac{1}{4 \cdot 136000 \cdot 150 \cdot 10^{-6} \cdot 3,14^2} \approx 8,1 \cdot 10^{-9} \text{ Ф.}$$

де f_r – робоча частота резонансного підсилювача;

L – індуктивність первинної обмотки трансформатора Т1.

За результатами розрахунку вибрано конденсатор С21 ємністю 8100 пФ із робочою НЖ 16 В й допуском $\pm 10\%$.

Для забезпечення нормального режиму роботи захисного діода VD6 допустима зворотна напруга вибраного діода повинна перевищувати НЖ каскаду. Ця умова подана у формулі (1.10):

$$U_{зв}(50 \text{ В}) > E_K(12 \text{ В}). \quad (1.10)$$

Допустимий прямий струм діода має перевищувати вхідний струм наступного каскаду не менше ніж у 1,5...2 рази, що відображено у формулі (1.11):

$$I_{Kmax}(500 \text{ мА}) > (1,5 \dots 2)I_H = 0,11 \text{ А.} \quad (1.11)$$

З урахуванням наведених умов вибрано діод VD6 типу 1N4007.

Для нормального режиму роботи транзистора допустима НЖ між колектором й емітером повинна перевищувати НЖ каскаду. Відповідна умова наведена у формулі (1.12):

$$U_{KEmax}(80 \text{ В}) > E_K(12 \text{ В}). \quad (1.12)$$

Допустимий струм колектора має перевищувати вхідний струм наступного каскаду не менше ніж у 1,5...2 рази, як показано у формулі (1.13):

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{K_{max}}(1,5 \text{ A}) > (1,5 \dots 2)I_H = 0,11 \text{ A.} \quad (1.13)$$

За цими параметрами вибрано транзистор VT5 типу BD139 із провідністю n-p-n.

Для режиму класу В прийнято такі параметри робочої точки транзистора:

$$I_{KP} = 330 \text{ mA}; \quad U_{KEP} = 11,9 \text{ V}; \quad U_{EP} = 0,4 \text{ V.}$$

Напруга в колі емітера визначається за формулою (1.14):

$$U_{EP} = (0,1 \dots 0,3) \cdot E_K = 1,2 \text{ V.} \quad (1.14)$$

Опір резистора R30 у колі термостабілізації, за умови $I_{KP} \approx I_{EP}$, визначається за формулою (1.15):

$$R_{30} = \frac{U_{EP}}{I_{KP}} = \frac{1,2}{0,33} = 3,6 \text{ Ом.} \quad (1.15)$$

За результатами розрахунку вибрано резистор R30 номіналом 3,6 Ом із допуском $\pm 5 \%$ й потужністю 1/20 Вт.

У сімействі вихідних статичних характеристик вибраного транзистора визначається положення робочої точки П із координатами U_{KEP} та I_{KP} . Цьому положенню відповідає струм бази I_{BP} . Отримане значення дає змогу визначити положення робочої точки на вхідній характеристиці транзистора й оцінити його вхідний опір за змінним струмом r_{BX} . Для визначення r_{BX} використовується співвідношення (1.16):

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$r_{\text{вх}} = \frac{\Delta U_{\text{БЕ}}}{\Delta I_{\text{Б}}}. \quad (1.16)$$

Елементи подільника НЖ в колі бази транзистора VT5 утворюються резисторами R21 й R22. Напряга на базі транзистора визначається за формулою (1.17):

$$U_{\text{БП}} = U_{\text{ЕП}} + U_{\text{БЕП}}, \quad (1.17)$$

$$U_{\text{БП}} = 1,2 + 0,4 = 1,6 \text{ В.}$$

Струм у колі подільника напруги визначається за формулою (1.18):

$$I_{\text{Д}} = (3 \dots 5)I_{\text{БП}}, \quad (1.18)$$

$$I_{\text{Д}} = 4 \cdot 0,006 = 0,024 \text{ А.}$$

Опір резистора R_{21} визначається за формулою (1.19):

$$R_{21} = \frac{E_{\text{К}} - U_{\text{БП}}}{I_{\text{Д}}}, \quad (1.19)$$

$$R_{21} = \frac{12 - 1,6}{0,024} = 433 \text{ Ом.}$$

Опір резистора R_{22} визначається за формулою (1.20):

$$R_{22} = \frac{U_{\text{БП}}}{I_{\text{Д}} - I_{\text{БП}}}, \quad (1.20)$$

$$R_{22} = \frac{1,6}{0,024 - 0,006} = 89 \text{ Ом.}$$

За результатами розрахунку вибрано резистори R_{21} номіналом 430 Ом $\pm 5\%$ 1/20 Вт та R_{22} номіналом 100 Ом $\pm 5\%$ 1/20 Вт.

Вхідний опір каскаду визначається за формулою (1.21):

$$R_{BX} = \frac{R_B \cdot r_{BX}}{R_B + r_{BX}}, \quad (1.21)$$

$$R_{BX} = \frac{81,13 \cdot 37,33}{81,13 + 37,33} = 25,57 \text{ Ом.}$$

де

$$R_B = \frac{R_{21} \cdot R_{22}}{R_{21} + R_{22}},$$

$$R_B = \frac{430 \cdot 100}{430 + 100} = 81,13 \text{ Ом.}$$

Коефіцієнт підсилення каскаду за струмом на середніх частотах визначається за формулою (1.22):

$$K_{I0} = \frac{R_B}{R_B + r_{BX}} \cdot h_{21e} \cdot \frac{R_H}{R_H + R_{BX}}, \quad (1.22)$$

$$K_{I0} = \frac{81,13}{81,13 + 25,57} \cdot 250 \cdot \frac{50}{50 + 25,57} = 125,77.$$

Значення струму сигналу на вході каскаду визначається за формулою (1.23):

$$I_{BX} = \frac{I_H}{K_{I0}}, \quad (1.23)$$

$$I_{BX} = \frac{0,055}{125,77} = 0,44 \text{ мА.}$$

Значення напруги сигналу на вході каскаду визначається за формулою (1.24):

$$U_{вхрmax} = I_{ВХ} \cdot R_{ВХ}, \quad (1.24)$$

$$U_{вхрmax} = 0,00044 \cdot 25,57 = 0,011 \text{ В.}$$

Потужність сигналу на вході каскаду визначається за формулою (1.25):

$$P_{вхрmax} = U_{вхрmax} \cdot I_{вхрmax}, \quad (1.25)$$

$$P_{вхрmax} = 0,011 \cdot 0,00044 = 4,84 \cdot 10^{-6} \text{ Вт.}$$

Коефіцієнт підсилення каскаду за потужністю визначається за формулою (1.26):

$$K_P = \frac{P_{вих}}{P_{вх}}, \quad (1.26)$$

$$K_P = \frac{0,15}{4,84 \cdot 10^{-6}} = 3991.$$

Отримане значення коефіцієнта підсилення за потужністю перевищує необхідне. Отже, параметри підсилювального каскаду відповідають вимогам технічного завдання.

Розрахунок транзисторного ключа. Керування реле К1 здійснюється МК. Контакти реле забезпечують підключення або відключення зовнішнього передавача. Для забезпечення надійного спрацювання реле, зменшення іскріння контактів, запобігання їх пошкодженню й підвищення стійкості роботи передавача застосовується транзисторний ключ (ТК).

Електрична міцність транзистора повинна забезпечувати його надійну роботу в широкому температурному діапазоні. Напруга пробою переходу

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

колектор-емітер має щонайменше втричі перевищувати розрахункове значення, що визначається за формулою (1.27):

$$U_{ceb.v} \geq 3 \cdot (V_{cc} - V_{key.c.a} - V_{p.mcu} - 1,5) = 0,3 \text{ В.} \quad (1.27)$$

За цим критерієм вибрано транзистори VT1 й VT2 типу BCV27, номінальна НЖ пробою переходу колектор-емітер яких становить приблизно 60 В.

Максимально допустимий струм переходу колектор-емітер транзистора BCV27 повинен перевищувати струм обмотки реле. Відповідна умова наведена у формулі (1.28):

$$I_{CE} \geq 7 \cdot I_{r.c} = 7 \cdot 0,02 = 0,14 \text{ А.} \quad (1.28)$$

де $I_{r.c}$ – струм обмотки реле.

Згідно з паспортними даними, максимально допустимий струм переходу колектор-емітер (КЕ) транзистора BCV27 становить 1,2 А, що задовольняє умову (1.28).

Номінальний коефіцієнт передачі струму для вибраного транзистора становить близько 4000 й суттєво залежить від температури. Оскільки висока швидкодія КТ в цьому вузлі не є визначальною вимогою, доцільним є вибір режиму з глибоким насиченням. Такий режим забезпечує стабільну роботу ключа в широкому температурному діапазоні.

КТ, побудований за схемою Дарлінгтона, є ефективним рішенням для цифрових схем, оскільки має великий коефіцієнт підсилення за струмом й не потребує проміжних підсилювальних каскадів для керування реле від низькострумної лінії МК. Відповідно до паспортних даних, опір обмотки реле OEG OJE-SS-112LM може перебувати в межах 13...100 Ом. Для надійного спрацювання й утримання контактів реле необхідно забезпечити

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

спад напруги на обмотці не менше ніж 3 В. Схема разом із реле живиться від джерела НЖ 12 В.

Опір базового резистора R_b ключа комутації обмотки реле ОЕГ ОЕ-SS-112LM у режимі насичення за схемою Дарлінгтона визначається за формулою (1.29):

$$R_b = \frac{U_{t.v} - V_{p.mcu}}{\left(\frac{U_{r.c}}{R_{r.c}}\right) / h_{FE}} \quad (1.29)$$

$$R_b = \frac{1,6 - 0,1}{\left(\frac{3}{13}\right) / 4000} = 26000 \text{ Ом.}$$

де $U_{t.v}$ – поріг стійкого вимкнення схеми;

$V_{p.mcu}$ – максимальний спад напруги на відкритому ключі порту МК;

$U_{r.c}$ – необхідна напруга на обмотці реле;

$R_{r.c}$ – опір обмотки реле;

h_{FE} – коефіцієнт передачі струму КТ.

Кожна лінія порту МК обладнана тригером Шмітта з порогом вимкнення приблизно 1,6 В. Мінімальна рекомендована виробником напруга на обмотці реле становить 3 В, а мінімальний опір обмотки – 13 Ом. Із ряду номіналів E12 вибрано резистор $R_b = 22 \text{ кОм}$.

Струм бази визначається за формулою (1.30):

$$I_b = \frac{V_{cc} / R_{r.c}}{h_{FE}} = \frac{12 / 13}{4000} = 0,2 \text{ мА.} \quad (1.30)$$

Отримане значення струму бази VT3 є значно меншим за максимально допустимий струм однієї лінії порту МК. Тому для керування ключем комутації обмотки реле К1 може використовуватися одна лінія порту МК. Таке рішення також сприяє раціональному розподіленню навантаження в кристалі МК та покращенню теплового режиму роботи схеми.

Захисний діод VD3 вибирається за умовою, наведеною у формулі (1.31):

$$I_{p.d} \geq 2 \cdot \frac{U_{r.c}}{R_{r.c}} = \frac{3}{13} \geq 0,46 \text{ A}, \quad (1.31)$$

де $U_{r.c}$ – необхідна НЖ на обмотці реле, мінімальне рекомендоване значення якої становить 3 В;

$R_{r.c}$ – опір обмотки реле.

Отже, за результатами розрахунків встановлено, що вибрані ЕРЕ підсилювального каскаду, вузла керування реле й захисних ланцюгів забезпечують виконання заданих електричних параметрів, стабільність режимів роботи та захист основних вузлів пристрою від перевантажень й імпульсних перенапруг.

1.2.3. Вибір та обґрунтування компонентної бази

Під час конструювання РТА необхідно враховувати вимоги до габаритних розмірів, маси, споживаної потужності, технологічності виготовлення й експлуатаційної надійності. ЕБ повинна забезпечувати мініатюризацію конструкції за умови збереження заданих електричних параметрів й достатнього рівня вихідної потужності.

У конструкції РТА передбачено використання ЕРЕ поверхневого монтажу, що дає змогу поліпшити техніко-економічні й масо-габаритні показники ДВ. Поверхневий монтаж є технологією виготовлення РТА на ДП, за якої компоненти встановлюються безпосередньо на контактні площадки поверхні ДП без використання наскрізних монтажних отворів для виводів.

Технологія поверхневого монтажу також позначається термінами SMT (Surface Mount Technology) й SMD-технологія (Surface Mounted Device). Компоненти, призначені для такого способу монтажу, називають SMD-компонентами або чип-компонентами. На сучасному етапі ця технологія є

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

одним із найпоширеніших методів проєктування й складання електронних вузлів на ДП. Її відмінність від традиційного наскрізного монтажу полягає в тому, що ЕРЕ монтуються на поверхню ДП, а не в металізовані отвори.

Переваги поверхневого монтажу ЕРЕ зумовлені сукупністю властивостей сучасної ЕБ, методів проєктування ДП й ТП виготовлення ДВ. До основних переваг цієї технології належать:

- зменшення маси й габаритних розмірів ДВ завдяки відсутності довгих виводів компонентів, підвищенню щільності компоновання, зменшенню розмірів ЕРЕ й скороченню кроку між выводами;
- підвищення щільності трасування ДП через відсутність потреби у формуванні контактних площадок навколо наскрізних отворів;
- поліпшення електричних характеристик за рахунок зменшення довжини виводів, що сприяє зниженню паразитної ємності й індуктивності;
- підвищення якості передавання слабких й височастотних сигналів;
- можливість розміщення ЕРЕ з обох боків ДП;
- зменшення кількості отворів, які необхідно виконувати в ДП;
- підвищення технологічності виробництва, оскільки процес поверхневого монтажу ЕРЕ легше автоматизується порівняно з монтажем у отвори;
- зниження собівартості РТА у серійному виробництві.

Водночас технологія поверхневого монтажу має певні обмеження. До її недоліків належать підвищені вимоги до якості проєктування топології ДП, точності температурного режиму паяння, умов зберігання технологічних матеріалів й наявності спеціалізованого обладнання. Під час проєктування необхідно враховувати розподіл теплових полів, відмінність теплоємності й теплопровідності окремих елементів топології, а також можливість виникнення дефектів групового паяння, зокрема ефекту «надгробного каменю».

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливої уваги потребує вплив температурних деформацій. Безвивідні ЕРЕ й матеріал ДП можуть мати різні коефіцієнти теплового розширення. За умов значних температурних перепадів це може спричиняти механічні напруження, які знижують надійність конструкції або призводять до пошкодження ЕРЕ. Тому під час проєктування ДВ необхідно дотримуватися вимог до геометрії контактних площадок, вибору матеріалів й режимів паяння.

Незважаючи на зазначені обмеження, використання поверхневого монтажу є доцільним для розроблюваного РТА, оскільки ця технологія забезпечує компактність конструкції, покращені електричні характеристики та високу технологічність виготовлення порівняно з традиційним наскрізним монтажем.

Робота схеми визначається керуючим ПЗ, яка формує сигнал у режимі RT. МК перетворює потік цифрових даних у вихідний сигнал за принципом прямого цифрового синтезу DDS. Для організації обміну даними між МК й ПК необхідне узгодження логічних рівнів сигналів. Ускладнення блока живлення для цієї мети є недоцільним, тому в схемі використовується спеціалізована ІМС перетворення рівнів.

Для узгодження рівнів інтерфейсу RS-232 й цифрових схем на базі ТТЛ або КМОП-логіки доцільно застосувати ІМС MAX232. Вона виконує функції ПрП та забезпечує перетворення сигналів RX, TX, CTS й RTS. Функціональне призначення та розташування виводів цієї ІМС стали поширеним технічним стандартом, тому її аналоги випускаються різними виробниками напівпровідникових компонентів.

ІМС MAX232 забезпечує формування вихідних рівнів напруги, характерних для інтерфейсу RS-232, приблизно $\pm 7,5$ В, із вхідної НЖ +5 В. Це реалізується за допомогою внутрішнього зарядового насоса та зовнішніх конденсаторів. Такий підхід дає змогу реалізувати інтерфейс RS-232 у

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

пристроях із НЖ 0...+5 В без введення додаткового двополярного джерела живлення.

Вхідна НЖ інтерфейсу RS-232, яка може досягати ± 25 В, знижується до стандартних рівнів, придатних для ТТЛ- й КМОП-логіки. Вхідні каскади мають середній поріг спрацювання приблизно 1,3 В й середній гістерезис близько 0,5 В. Модифікація ІМС MAX232A є сумісною з базовою MAX232, але забезпечує роботу на вищих швидкостях передавання даних й може використовувати зовнішні конденсатори меншої ємності – 0,1 мкФ замість 1,0 мкФ. Модифікація MAX3232 також є сумісною з попередніми варіантами, але працює в ширшому діапазоні НЖ – від 3 до 5,5 В.

Основним елементом схеми є МК сімейства AVR. МК широко застосовуються в промислових, побутових, ТКС й вбудованих системах керування. Вони використовуються в автоматизованому обладнанні, транспортних системах, ЗЗ, побутовій техніці, вимірювальних пристроях й системах ЦОС.

Серед виробників МК значне місце займають компанії Intel, Motorola, Hitachi, Microchip, Atmel, Philips, Texas Instruments, Infineon Technologies й інші. Для розроблюваної РТА доцільним є використання МК на базі ядра AVR, оскільки вони характеризуються достатньою продуктивністю, помірним енергоспоживанням, доступністю ЕБ й зручністю програмування.

Компанія Atmel, заснована у 1984 році, спочатку спеціалізувалася на розробленні ІМС енергонезалежної пам'яті, зокрема OTPROM, EEPROM й Flash. У подальшому значне поширення отримали її МК AVR, які поєднують RISC-архітектуру, розвинену периферію й можливість ефективного програмування мовами високого рівня.

Особливістю AVR-МК є оптимізація архітектури ядра й системи команд для програмування мовами високого рівня, зокрема мовою С. Такий підхід забезпечує незначні втрати продуктивності порівняно з програмами, написаними мовою асемблера. Це пояснюється раціональною структурою

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

регістрового файлу, короткими командами й ефективним виконанням операцій у межах RISC-архітектури.

Однокристальні МК AVR є 8-розрядними високопродуктивними RISC-контролерами загального призначення, виготовленими за КМОП-технологією. Їхніми основними перевагами є сприятливе співвідношення продуктивності, енергоспоживання та вартості. У межах базової архітектури AVR виділяють три основні підсімейства: Tiny AVR, Classic AVR й Mega AVR.

Підсімейство Tiny AVR охоплює найпростіші й найдешевші МК, які часто випускаються в малогабаритних корпусах. Вони мають обмежений обсяг пам'яті програм й скорочений набір периферійних функцій, однак придатні для малогабаритних й енергоощадних пристроїв. Такі МК застосовуються в автомобільних датчиках, побутовій техніці, зарядних пристроях, системах дистанційного керування, сигналізаційних пристроях й простих вбудованих системах.

Підсімейство Classic AVR є базовою лінійкою МК із продуктивністю до 16 MIPS. Воно характеризується наявністю Flash-пам'яті програм обсягом 2...8 кбайт, EEPROM-пам'яті 64...512 байт й SRAM-пам'яті 128...512 байт. Такі МК використовуються в модемах, зарядних пристроях, пристроях читання Smart Cards, навігаційних системах, побутовій техніці, мережевих пристроях й промислових системах керування.

Підсімейство Mega AVR призначене для складніших розробок, які потребують більшого обсягу пам'яті програм й даних, а також розширеного набору периферійних модулів. МК цього підсімейства можуть мати Flash-пам'ять програм обсягом 64...128 кбайт, EEPROM-пам'ять 64...4096 байт, SRAM-пам'ять 1...4 кбайт, вбудований 10-розрядний багатоканальний АЦП, апаратний помножувач й розвинені інтерфейси введення-виведення. Вони застосовуються у складних цифрових пристроях, ЗЗ, периферійній комп'ютерній техніці й системах керування.

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Позначення МК AVR також відображає діапазон НЖ. Наявність літери L у маркуванні вказує на можливість роботи в діапазоні 2,7...5,5 В. Літера V означає підтримку нижчого діапазону НЖ 1,8...5,5 В. За відсутності цих літер типовий робочий діапазон НЖ становить 4,5...5,5 В.

До основних характеристик ядра AVR-МК належать:

- повністю статична архітектура;
- можливість роботи за мінімальної тактової частоти, що дорівнює нулю;
- безпосереднє підключення АЛП до 32 регістрів загального призначення;
- виконання більшості команд за один такт завдяки гарвардській RISC-архітектурі;
- продуктивність до 1 MIPS на 1 МГц тактової частоти;
- підтримка багаторівневої системи переривань;
- можливість використання вкладених переривань;
- наявність програмного стеку.

Підсистема введення-виведення AVR-МК забезпечує програмне конфігурування портів. Кожен вивід може бути незалежно налаштований як вхід або вихід. Вхідні буфери оснащені тригерами Шмітта, що підвищує стійкість до завад. Для входів може бути активовано внутрішні підтягувальні резистори опором 35...120 кОм. Навантажувальна здатність виходів становить близько 20 мА, що дає змогу безпосередньо керувати окремими низькострумними елементами схеми.

До типових периферійних модулів AVR-МК належать:

- 8-розрядні й 16-розрядні таймери-лічильники;
- сторожовий таймер WDT;
- генератори широтно-імпульсної модуляції PWM;
- аналоговий компаратор;
- 10-розрядний АЦП ADC;

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

- універсальний асинхронний ПрП UART;
- послідовний периферійний інтерфейс SPI;
- інтерфейс USB у відповідних модифікаціях.

Ядро AVR реалізовано за удосконаленою RISC-архітектурою. АЛП безпосередньо підключений до 32 робочих регістрів, об'єднаних у регістровий файл. Завдяки цьому більшість арифметичних й логічних операцій виконується за один такт. Переважна частина команд AVR займає одну 16-розрядну комірку пам'яті програм, за винятком команд, у яких використовується 16-розрядна адреса.

AVR-МК побудовані за гарвардською архітектурою, яка передбачає розділення пам'яті програм й пам'яті даних. Це дає змогу реалізувати конвеєризацию: під час виконання поточної команди здійснюється вибірка й дешифрування наступної команди. Така організація підвищує швидкість МК без істотного збільшення складності апаратної частини.

Отже, з урахуванням вимог до продуктивності, стабільності роботи, доступності, енергоспоживання, вартості й підтримки необхідних інтерфейсів для розроблюваної РТА обґрунтовано вибір МК AVR сімейства Mega. Така ЕБ забезпечує реалізацію функцій прямого цифрового синтезу, обміну даними з ПК, керування зовнішніми вузлами й формування сигналів відповідно до вимог ТЗ [5].

1.3. Компонування ДВ РТА

1.3.1. Розроблення компонування й конструкції ДВ

Конструктивну реалізацію РТА передбачено виконати на односторонній друкованій платі (ОДП). Такий варіант є доцільним з огляду на порівняно невисоку складність електричної схеми, можливість спрощення ТП виготовлення, зниження вартості виробництва й забезпечення достатньої ремонтпридатності ДВ. Під час проєктування ОДП враховуються вимоги до

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електричної міцності, механічної стійкості, точності формування струмопровідного рисунка (СПР), якості металізованих отворів й надійності ЗП.

Для виготовлення ДВ доцільно застосувати комбінований позитивний метод (КПМ). Порівняно з електрохімічним методом, який забезпечує високу точність формування СПР, КПМ характеризується кращим зчепленням провідників з основою ДП. Це є важливим чинником для забезпечення експлуатаційної надійності РТА, особливо за умов механічних й температурних впливів. Крім того, використання такого методу є технологічно обґрунтованим за наявності відповідного виробничого обладнання й відпрацьованих маршрутів виготовлення.

Як матеріал основи ДП може бути використаний односторонньо фольгований склотекстоліт типу СФ-1-35Г. Цей матеріал забезпечує достатню механічну жорсткість, стабільність геометричних параметрів й необхідні електроізоляційні властивості. Перед запуском матеріалу у виробництво проводиться вхідний контроль, який охоплює перевірку розмірів листа, стану поверхні, якості фольгування, міцності зчеплення мідної фольги з діелектричною основою та стійкості матеріалу до дії розплавленого припою й технологічних розчинів.

Під час візуального контролю фольгованого діелектрика (ФД) перевіряється відсутність проколів, здуттів, розшарувань, механічних пошкоджень, сторонніх включень й інших дефектів, які можуть вплинути на якість ДВ. Окремо оцінюється здатність матеріалу до механічної обробки, зокрема свердління й штампування. Якість свердління визначається станом стінок отворів: вони повинні бути рівними, без підпалів, сколів, розшарувань, залишків стружки та виступаючих волокон діелектрика.

Після вхідного контролю здійснюється підготовка заготовок ДП. Заготовка вирізається з технологічним припуском по контуру. Технологічне поле необхідне для фіксації ДП під час подальших операцій, зокрема

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

свердління, металізації, нанесення фоторезисту, травлення й контролю. Розкрій ФД може виконуватися дисковою фрезою, роликowymi або гільйотинними ножицями. Застосування гільйотинного різання є доцільним для підвищення продуктивності, зменшення кількості відходів й зниження пилового забруднення виробничої зони.

Для забезпечення точності подальшої обробки у заготовках формуються базові й технологічні отвори. Вони використовуються для фіксації ДП в оснастці й забезпечення суміщення шарів СПР з координатами отворів. Свердління монтажних й технологічних отворів виконується твердосплавними свердлами на координатно-свердлильному обладнанні або верстатах із числовим програмним керуванням. Для забезпечення якості отворів необхідно дотримуватися режимів свердління, контролювати биття інструмента, частоту обертання шпинделя та точність координатного позиціонування.

Стінки отворів повинні бути гладкими, перпендикулярними до площини плати, без задирок, тріщин, розшарувань, вм'ятин й слідів забруднення. Наявність таких дефектів ускладнює металізацію, знижує надійність електричного контакту й може спричинити відмову ДВ під час експлуатації.

Наступним етапом є хімічна й попередня ГМ. Перед металізацією поверхня ДП й стінки отворів проходять підготовку, яка охоплює видалення залишків попередніх обробок, знежирення, мікропідтравлення ФД, промивання, сенсibilізацію й активацію. Сенсibilізація забезпечує утворення на поверхні стінок отворів шару речовини, здатної відновлювати каталізатор. Активація формує тонкодисперсний шар металевго каталізатора, необхідний для подальшого хімічного осадження міді.

ХМ полягає в осадженні тонкого електропровідного шару міді на активованих поверхнях ДП й в отворах. Товщина цього шару зазвичай становить близько 0,25...0,5 мкм. Отримане покриття створює провідну

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

основу для подальшого гальванічного нарощування міді. ГМ використовується для збільшення товщини мідного шару до значення, достатнього для забезпечення електричної провідності, механічної міцності й надійності контактних з'єднань. Для металізованих отворів товщина мідного покриття повинна забезпечувати стабільний електричний контакт між СПР й монтажними елементами.

Після металізації виконується підготовка поверхні ДП до формування СПР. Вона включає знежирення, мікропідтравлення, промивання й сушіння. Якість підготовки поверхні ДП має безпосередній вплив на адгезію фоторезисту й точність відтворення СПР друкованих провідників.

Формування СПР схеми здійснюється із застосуванням сухого плівкового фоторезисту. Фоторезист наноситься на поверхню ДП, після чого проводиться експонування через фотошаблон. Під дією УФВ експоновані ділянки переходять у нерозчинний стан. Після проявлення неекспоновані ділянки видаляються, внаслідок чого на ДП формується захисна маска, яка визначає конфігурацію майбутніх провідників й контактних площадок.

Після проявлення фоторезисту виконується електролітичне міднення (ЕЛМ) відкритих ділянок поверхні. На провідникових ділянках нарощується шар міді необхідної товщини, після чого наноситься захисне покриття сплавом олово-свинець (Сп.о-с). Це покриття виконує дві функції: захищає СПР під час травлення незахищеної міді та покращує паяність контактних площадок під час монтажу ЕРЕ.

Після нанесення металевого покриття фоторезист видаляється. Далі проводиться травлення міді з ділянок, які не входять до складу СПР. Травлення є хімічним процесом видалення незахищеного шару міді з поверхні діелектрика. Для забезпечення високої роздільної здатності й рівномірності процесу доцільно застосовувати струминне травлення, за якого до поверхні ДП безперервно подається свіжий травильний розчин.

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після завершення травлення на провідниках може утворюватися нависання захисного покриття. Для усунення цього дефекту проводиться оплавлення Сп.о-с. Під час короткочасного нагрівання покриття переходить у розплавлений стан, а під дією сил поверхневого натягу набуває більш рівномірної форми в межах провідника. Це підвищує якість СПР й покращує умови подальшого паяння.

Обрізання ДП по контуру виконується після формування СПР. Така послідовність є технологічно обґрунтованою, оскільки передчасне формування остаточного контуру може сприяти проникненню травильних розчинів у структуру діелектрика, що призводить до зниження опору ізоляції або виникнення паразитних провідних шляхів. Остаточний контур ДП формується фрезеруванням.

Після механічної обробки виконується маркування ДП. На поверхню наносяться позиційні позначення ЕРЕ, шифр плати, заводський номер, дата виготовлення й інша ідентифікаційна інформація. Маркування забезпечує зручність монтажу, контролю, ремонту й простежуваність виробу у виробничому циклі.

Завершальним етапом виготовлення ДП є консервація поверхні ДП. Для тимчасового захисту контактних площадок від окиснення може застосовуватися флюс або інше захисне технологічне покриття. Консерваційний матеріал наноситься рівномірно на поверхню ДП й в отвори з використанням розпилювального обладнання.

1.3.2. Оптимізація компоновання друкованого вузла

Оптимізація компоновання ДВ спрямована на забезпечення мінімальних габаритів, технологічності складання, електричної сумісності вузлів, ремонтпридатності й стабільності роботи пристрою. Під час розміщення ЕРЕ необхідно враховувати функціональну структуру схеми, напрямок проходження сигналу, рівні струмів й напруг, тепловиділення

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

компонентів, вимоги до мінімізації паразитних зв'язків й зручність контролю параметрів.

ЕРЕ доцільно групувати відповідно до їх функціонального призначення. Вхідні й цифрові кола розміщуються поблизу МК та вузла узгодження логічних рівнів. Елементи ЦАП повинні розташовуватися компактно, з мінімальною довжиною з'єднань, оскільки симетрія й однаковість паразитних параметрів у цьому вузлі впливають на точність формування АС. Фільтрувальні елементи доцільно розміщувати безпосередньо після виходу ЦАП, щоб зменшити проникнення високочастотних складових у підсилювальні каскади.

Підсилювальний тракт необхідно компонувати з урахуванням послідовності проходження сигналу: від попереднього підсилювача до кінцевого каскаду й вихідного трансформатора. Провідники, якими передається підсилений сигнал, повинні мати достатню ширину й мінімальну довжину. Вихідні кола, що працюють із підвищеним рівнем потужності, потрібно відокремлювати від малосигнальних цифрових й керуючих ланцюгів для зменшення паразитного зворотного зв'язку й наведень.

ЕРЕ, які виділяють значну кількість тепла, зокрема силові транзистори й стабілізатори напруги, розміщуються з урахуванням умов тепловідведення. Для транзисторів, що працюють у підсилювальних або комутаційних режимах, передбачається застосування радіаторів. Навколо тепловиділяючих ЕРЕ необхідно залишати достатній простір для циркуляції повітря й запобігання локальному перегріванню діелектричної основи ДП.

Кола живлення мають виконуватися з урахуванням струмового навантаження. Провідники живлення й загальної шини повинні мати збільшену ширину порівняно з малосигнальними провідниками. Блокувальні й фільтрувальні конденсатори необхідно розміщувати максимально близько до виводів живлення ІМС й активних ЕРЕ. Це зменшує імпеданс живлення

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для високочастотних складових й підвищує стійкість пристрою до імпульсних завад.

Під час трасування ДП потрібно уникати довгих паралельних ділянок провідників у колах із різними рівнями сигналів. Перетин або зближення сигнальних ліній із силовими й високочастотними ділянками може призводити до паразитних наведень. Для зменшення впливу завад доцільно застосовувати раціональне розведення загальної шини, мінімізацію петель струму та локальне фільтрування живлення.

З'єднувачі необхідно розташовувати на краях ДП для забезпечення зручності підключення зовнішніх кабелів й зменшення механічного навантаження на ДП. Роз'єм для підключення до ПК доцільно відокремлювати від вихідного радіочастотного роз'єму, оскільки ці вузли мають різний рівень сигналів й різну завадову чутливість. Вихідний роз'єм слід розміщувати поблизу узгоджувального трансформатора й захисних ЕРЕ, щоб зменшити довжину високочастотного тракту.

ТП складання ДВ має забезпечувати послідовне перетворення ДП й комплектувальних елементів у готовий виріб. Під час розроблення технологічного маршруту доцільно використовувати типові операції, стандартний інструмент й перевірені методи контролю. Використання унікального або надмірно складного обладнання є виправданим лише у випадках, коли це необхідно для забезпечення якості або економічної ефективності виробництва.

Типовий технологічний маршрут складання ДВ включає такі основні етапи: комплектування ЕРЕ, вхідний контроль ЕРЕ й ДП, підготовку поверхонь, установлення ЕРЕ, паяння, очищення, контроль якості монтажу, перевірку працездатності, усунення виявлених дефектів, захисне покриття й пакування.

На етапі комплектування за технологічною картою формується набір необхідних ЕРЕ: ДП, ІМС, транзистори, резистори, конденсатори, роз'єми,

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

трансформатори, кріпильні ЕРЕ й інші деталі. Комплектувальні вироби розміщуються у відповідній тарі з урахуванням вимог до зберігання, захисту від електростатичних розрядів й механічного пошкодження.

Вхідний контроль ЕРЕ передбачає перевірку зовнішнього вигляду, маркування, цілісності корпусів, стану виводів й відповідності номіналів. На поверхні ЕРЕ не допускаються тріщини, вм'ятини, відколи, сліди корозії й інші пошкодження. Для ІМС додатково перевіряється наявність ключа першого виводу, маркування виробника й відповідність типу ЕРЕ КД. ДП перевіряється на відсутність дефектів діелектрика, пошкоджень провідників, забруднень, замикань й розривів.

Перед монтажем ДП очищається від захисних й технологічних залишків. Промивання може виконуватися у спиртобензиновій суміші з подальшим сушінням. Металізовані отвори перевіряються на чистоту й прохідність. Діелектрична основа ДП повинна бути монолітною, без здуттів й розшарувань, а шар металізації – рівномірним, щільним й без наскрізних протравлень.

Якість ЗП значною мірою залежить від підготовки поверхонь ДП. Для забезпечення змочування припоєм необхідно видалити оксидні плівки, органічні забруднення, залишки мастил й пил. Підготовка може виконуватися ХМ із застосуванням спиртових або спиртобензинових розчинів. Після очищення поверхні ДП мають бути висушені й захищені від повторного забруднення.

Лудіння застосовується для нанесення тонкого шару припою на поверхні, що підлягають з'єднанню. Шар припою повинен бути суцільним, рівномірним, без тріщин, пор й сторонніх включень. Для лудіння може використовуватися флюс ФКС й припій ПОС61. Час контакту з розплавленим припоєм повинен бути обмежений, щоб уникнути перегрівання ЕРЕ й пошкодження покриттів.

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Установлення ЕРЕ на ДП виконується відповідно до складального креслення (СК). Послідовність монтажу доцільно визначати з урахуванням висоти, теплової чутливості й механічних особливостей ЕРЕ. Спочатку встановлюються низькопрофільні ЕРЕ, зокрема резистори й малогабаритні конденсатори, після чого монтуються ІМС, роз'єми, транзистори, трансформатори й ЕРЕ з радіаторами.

Під час монтажу ІМС необхідно забезпечити захист від електростатичних розрядів. Для цього застосовується заземлений браслет, антистатичне робоче місце й відповідна технологічна тара. У разі потреби окремі виводи ІМС можуть підгинатися для тимчасової фіксації елемента на платі до паяння. Транзистори, що працюють із підвищеним тепловиділенням, монтуються з радіаторами. Трансформатори й масивні ЕРЕ повинні мати механічне кріплення за допомогою гвинтів, гайок й шайб.

Перед паянням виконується обрізання надлишкової довжини виводів. Після цього на ділянки паяння наноситься флюс. Флюс забезпечує видалення оксидних плівок, зменшення поверхневого натягу розплавленого припою й покращення змочування металевих поверхонь. Для монтажної пайки доцільно застосовувати безкислотні флюси на основі каніфолі, оскільки їх залишки мають низьку корозійну активність й достатні діелектричні властивості.

Паяння контактних з'єднань передбачає фіксацію ЕРЕ, нагрівання зони з'єднання до заданої температури, введення припою й флюсу, змочування поверхонь ДП припоєм й подальше охолодження без механічного зміщення деталей. Для забезпечення якісного ЗП припій повинен мати відповідні електричні, механічні й антикорозійні властивості. Припій ПОС61 є доцільним для монтажу електронних вузлів, оскільки має порівняно низьку температуру плавлення, добру змочувальну здатність й достатню корозійну стійкість. Орієнтовна температура ЗП становить близько 240 °С, а тривалість теплового впливу повинна бути обмежена кількома секундами.

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після паяння виконується видалення залишків флюсу й технологічних забруднень. Очищення необхідне для запобігання корозії, зниженню опору ізоляції й погіршенню електричних параметрів ДП. Для цього може застосовуватися послідовне промивання у спиртобензиновій суміші, гарячій й холодній воді із подальшим сушінням.

Контроль якості ЗП проводиться візуально із застосуванням збільшувального скла або оптичних засобів контролю. ЗП повинні мати рівну блискучу поверхню, без пор, раковин, здуттів, тріщин, перемичок й гострих виступів припою. Виявлені дефекти усуваються локальним перепаюванням із застосуванням флюсу й видаленням надлишку припою.

Після первинного контролю здійснюється маркування зібраного ДВ. На ДП або супровідну документацію наносяться номер виробу, дата виготовлення, код підрозділу або виробника, а також інші дані, необхідні для ідентифікації й обліку. Маркування підвищує простежуваність виробу в процесі виробництва, контролю й експлуатації.

Перевірка працездатності РТА виконується на спеціалізованому стенді. Під час перевірки контролюються основні електричні параметри, наявність вихідного сигналу, стабільність режимів живлення, правильність роботи керуючих ліній й відповідність часових діаграм еталонним значенням. У разі виявлення несправностей застосовується діагностичне обладнання, зокрема осцилограф, що дає змогу локалізувати дефект за формою сигналів у контрольних точках.

Якщо під час контролю виявлено відмову, у супровідній документації фіксуються дата виявлення, характер несправності, імовірна причина, перелік ЕРЕ, які підлягають заміні, й вплив дефекту на роботу інших вузлів. Повторне ввімкнення РТА допускається лише після усунення несправності та повторної перевірки.

Вторинний монтаж передбачає демонтаж й заміну несправних ЕРЕ, виявлених під час контролю. Повторне паяння виконується вручну з

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

обмеженням тривалості теплового впливу на виводи ЕРЕ. Для запобігання перегріванню повторне торкання паяльником одного й того самого виводу допускається лише після охолодження зони ЗП. Після ремонту місця повторного паяння очищуються від залишків флюсу й забруднень.

Вихідний контроль призначений для підтвердження відповідності ДВ КД й ТД. Перевіряються правильність установлення ЕРЕ, якість ЗП, відсутність перекосів, механічних пошкоджень, замикань, розривів провідників й дефектів діелектрика. Усі ЕРЕ повинні бути надійно закріплені й припаяні відповідно до вимог СК.

Для підвищення стійкості ДВ до кліматичних впливів, вологи, пилу й корозії виконується лакування. Захисне покриття наноситься на очищену й висушену ДП рівномірним шаром. Для цієї мети може застосовуватися лак УР-231. Сушіння проводиться гарячим повітрям за температури приблизно 40...60 °С. Після висушування ДВ розміщується у відповідній тарі й упаковується.

Усі ЕРЕ РТА монтуються на ОДП зі склотекстоліту. Виводи ІМС установлюються у відповідні отвори, фіксуються й припаюються з боку друкованих провідників. Для транзисторів, які працюють у тепловонавантажених режимах, передбачено встановлення ребристих радіаторів. Така конструкція забезпечує необхідний тепловий режим, підвищує надійність РТА й створює умови для стабільної роботи ДВ [2].

1.3.3. Розрахунок й забезпечення вимог щодо надійності

Для оцінювання надійності розробленої РТА виконано розрахунок сумарної інтенсивності відмов його основних конструктивних й ЕРЕ. Розрахунок проводився за групами однотипних ЕРЕ із урахуванням їх кількості, довідкових значень інтенсивності відмов й поправочних коефіцієнтів, що враховують умови експлуатації.

Інтенсивність відмов для кожної групи компонентів визначалася за формулою:

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\lambda_i = \lambda \cdot m \cdot \alpha_i, \quad (1.32)$$

де λ_i – інтенсивність відмов i -ї групи ЕРЕ;
 λ – довідкове значення інтенсивності відмов одного ЕРЕ;
 m – кількість ЕРЕ у відповідній групі;
 α_i – поправочний коефіцієнт для відповідної групи ЕРЕ.
Вихідні дані для розрахунку надійності наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Вихідні дані для розрахунку надійності

Назва групи ЕРЕ	Кількість	$\lambda \cdot 10^6$	α_i	$\lambda_i = \lambda \cdot m \cdot \alpha_i$
Штекерні з'єднання	1	1,5	–	1,5
МК	1	0,07	–	0,07
Транзистори КТ315	3	1,2	1,07	3,852
Стабілізатор КР142	1	6,2	1,07	6,63
Резистори МЛТ	14	1,2	–	16,81
Реле	1	2,5	–	2,5
Електролітичні конденсатори	2	2,3	–	4,6
Керамічні конденсатори	3	1,3	–	3,9
Друковані ЗП	98	0,01	–	0,98
Провідники	17	0,03	–	0,51
Елементи індикації	4	1,6	–	6,4
Діоди	8	1,5	–	12
Разом	–	–	–	$58,5 \cdot 10^{-6}$

Для урахування умов експлуатації застосовується узагальнений поправочний коефіцієнт K_λ , який визначається за формулою:

$$K_\lambda = K_B \cdot K_M \cdot K_a, \quad (1.33)$$

де K_B – коефіцієнт, що враховує вплив вологості;
 K_M – коефіцієнт, що враховує механічні впливи;

K_a – коефіцієнт, що враховує атмосферні чи кліматичні умови експлуатації.

Для заданих умов експлуатації прийнято:

$$K_\lambda = 1.$$

Сумарна інтенсивність відмов пристрою становить:

$$\lambda = 58,5 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Середній наробіток до відмови визначається як величина, обернена до сумарної інтенсивності відмов:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda},$$

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{58,5 \cdot 10^{-6}} = 17094 \text{ год.} \quad (1.34)$$

Отримане значення середнього наробітку до відмови свідчить про те, що розроблений РТА має достатній рівень експлуатаційної надійності для заданих умов роботи.

Імовірність безвідмовної роботи РТА для заданого часу t_p визначалася за експоненціальним законом розподілу:

$$P(t_p) = e^{-\lambda t_p}. \quad (1.35)$$

Результати розрахунку імовірності безвідмовної роботи наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Результати розрахунку імовірності безвідмовної роботи

t_p , год	$-\lambda \cdot t_p$	$P(t_p)$
0	0	1
5000	0,0530	0,946
10000	0,106	0,895
50000	0,530	0,586
100000	1,06	0,346
500000	5,30	0,00499

За результатами розрахунків побудовано залежність імовірності безвідмовної роботи РТА від часу:

$$P(t_p) = \varphi(t_p). \quad (1.36)$$

Графік цієї залежності наведено на рисунку 1.9. Він демонструє закономірне зменшення імовірності безвідмовної роботи зі збільшенням тривалості експлуатації. На початковому інтервалі часу зниження є відносно повільним, однак за тривалого напрацювання вплив сумарної інтенсивності відмов стає істотнішим.



Рисунок 1.9 – Графік залежності імовірності безвідмовної роботи перетворювача напруги для побутової апаратури від часу [1]

Аналіз результатів, поданих у таблиці 1.3 та на рисунку 1.9, показує, що для часу роботи 5000 год імовірність безвідмовної роботи РТА становить 0,946, а для 10000 год – 0,895. Це свідчить про достатню надійність РТА в межах типового експлуатаційного інтервалу. За значного збільшення часу роботи, зокрема до 100000 год, імовірність безвідмовної роботи знижується до 0,346, що відповідає експоненційному характеру накопичення відмов.

Отже, розрахунок надійності підтверджує відповідність РТА заданим експлуатаційним вимогам. Основний внесок у сумарну інтенсивність відмов формують резистори, діоди, стабілізатор напруги та елементи індикації. Для підвищення надійності доцільно застосовувати компоненти з нижчою інтенсивністю відмов, забезпечувати якісне ЗП, дотримуватися допустимих теплових режимів й виконувати захист РТА від перенапруг й струмових перевантажень.

1.4. Висновки до розділу 1

У першому розділі розглянуто основні етапи проектування РТА НЧ передавача діапазону 136 кГц для ТКС. На підставі аналізу ТЗ визначено функціональне призначення РТА, обґрунтовано її структурну побудову й розроблено структурну схему РТА. На її основі сформовано функціональну й ЕЗ, які відображають послідовність перетворення сигналу, взаємодію основних вузлів й принцип роботи РТА.

Виконано вибір ЕБ із урахуванням вимог до стабільності роботи, енергоспоживання, габаритних розмірів, технологічності виготовлення та експлуатаційної надійності. Для основних вузлів ЕЗ проведено необхідні розрахунки, зокрема розрахунок підсилювального каскаду, елементів узгодження, захисних ланцюгів й вузла керування зовнішнім ПП.

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

У конструкторській частині підрозділу обґрунтовано вибір ДВ, описано ТП виготовлення ДП, послідовність монтажу ЕРЕ, контроль якості ПЗ й перевірку працездатності РТА. Також виконано розрахунок показників надійності, за результатами якого середній наробіток до відмови становить $T_{cp} = 17094$ год. Отримані результати підтверджують можливість практичної реалізації РТА й його відповідність основним технічним й експлуатаційним вимогам.

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Охорона праці та безпека життєдіяльності

2.1. Питання щодо безпеки життєдіяльності

Розроблення програмного забезпечення для дослідження каналів зв'язку в телекомунікаційних системах виконувалося з використанням персонального комп'ютера. У зв'язку з цим робота здійснювалася з обов'язковим дотриманням вимог Державних санітарних правил і норм роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин (ДСанПіН 3.3.2.007-98), затверджених постановою Головного державного санітарного лікаря України від 10.12.1998 № 7, а також Вимог щодо безпеки та охорони здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями, затверджених наказом Міністерства соціальної політики України від 14.02.2018 № 207 (НПАОП 0.00-7.15-18), які ґрунтуються на положеннях Директиви 90/270/ЄЕС від 29 травня 1990 року щодо мінімальних вимог безпеки та захисту здоров'я під час роботи з екранними пристроями.

У процесі експлуатації програмної системи умови праці повинні забезпечувати зниження впливу шкідливих факторів екранних пристроїв до гранично допустимих значень, зокрема рівнів випромінювання, шуму, вібрації та температури. Такі умови не мають призводити до виникнення соматичних порушень або інших патологічних змін стану здоров'я та зниження працездатності працівника, що відповідає чинним вимогам з охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Під час організації робочого місця необхідно використовувати таке обладнання, яке не створює надмірного акустичного навантаження та не спричиняє перевищення допустимих теплових виділень. Рівні шуму на робочому місці мають відповідати вимогам Санітарних норм виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку (ДСН 3.3.6.037-99), затверджених

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 № 37.

Параметри мікроклімату у виробничому приміщенні повинні підтримуватися у стабільних межах та відповідати вимогам Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень (ДСН 3.3.6.042-99), затверджених постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 № 42

Робоче місце користувача під час роботи із системою має бути організоване з урахуванням ергономічних та антропометричних показників, а також психофізіологічних особливостей людини і специфіки виконуваних завдань у процесі розроблення програмного забезпечення. Розміщення елементів робочого місця повинно забезпечувати зручність та безпеку роботи.

Освітлення робочої зони має забезпечувати достатній контраст між екраном і навколишнім середовищем та відповідати вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98.

Відповідно до Технічного регламенту щодо медичних виробів, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 2 жовтня 2013 року № 753, телекомунікаційна система належить до категорії медичних виробів і може розглядатися як інструмент, апарат або пристрій, що використовується з метою проведення діагностики, здійснення моніторингу стану пацієнта, а також для підтримки та полегшення перебігу захворювання і процесу лікування.

Програмне забезпечення цієї системи було розроблене з урахуванням вимог безпеки таким чином, щоб його використання не призводило до виникнення загроз для клінічного стану пацієнтів, безпеки споживачів, а також здоров'я і безпеки користувачів чи інших осіб.

Згідно з вимогами, телекомунікаційна система разом з електронною програмною складовою спроектована таким чином, щоб забезпечувати

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

необхідний рівень надійності, стабільність результатів та ефективність функціонування відповідно до свого призначення. Конструкцією системи передбачено механізми, спрямовані на усунення або зменшення можливих ризиків у разі виникнення одиничних відмов.

Розроблення програмного забезпечення здійснювалося відповідно до сучасного рівня науково-технічних знань із дотриманням принципів життєвого циклу програмного забезпечення, процедур управління ризиками, а також процесів верифікації та валідації.

У конструкції системи реалізовано заходи, спрямовані на зниження ризиків утворення електромагнітних полів, які за нормальних умов експлуатації можуть негативно впливати на роботу іншого обладнання або технічних засобів. Крім того, передбачено технічні рішення, що забезпечують захист від випадкового ураження електричним струмом за умови правильного монтажу та експлуатації. Зокрема, система має робочу ізоляцію і виконана таким чином, що її підключення до електричної мережі можливе лише після приєднання корпусу до заземлювального пристрою, тоді як під час відключення від мережі роз'єднання корпусу із заземленням (нульовим захисним провідником) здійснюється в останню чергу. Рівень і стан ізоляції струмопровідних елементів відповідають встановленим правилам експлуатації системи.

Отже, розглянута телекомунікаційна система відповідає вимогам охорони праці та техніки безпеки і є безпечною для користувачів.

2.2. Питання з основ охорони праці

У разі виникнення загрози або настання надзвичайних ситуацій важливим завданням є забезпечення безперервного та надійного функціонування об'єктів, оснащених телекомунікаційними системами.

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Відповідно до вимог Державних будівельних норм ДБН В.1.2-4-2006 «Інженерно-технічні заходи цивільного захисту (цивільної оборони)», до основних напрямів підвищення стійкості функціонування таких об'єктів належать:

- забезпечення захисту працівників та службовців;
- підвищення надійності інженерно-технічного комплексу;
- запобігання або обмеження негативного впливу вторинних уражаючих факторів;
- організація стійкого матеріально-технічного забезпечення та виробничих зв'язків;
- реалізація заходів зі зменшення можливих втрат і підтримання стабільності виробничих процесів;
- забезпечення безперебійного управління виробничою діяльністю;
- завчасна підготовка до відновлення роботи у разі її порушення.

Захист працівників і службовців забезпечується шляхом:

- розміщення у захисних спорудах;
- проведення евакуаційних заходів у заміську зону;
- забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту та організації своєчасного і надійного оповіщення про небезпеку;
- розроблення і впровадження режимів захисту;
- герметизації виробничих і службових приміщень;
- проведення профілактичних медичних заходів.

Підвищення стійкості інженерно-технічного комплексу досягається завдяки:

- розміщенню обладнання та комунікацій у заглиблених або незавалюваних приміщеннях;
- посиленню конструктивної міцності будівель і споруд;
- забезпеченню підприємства кількома незалежними джерелами електропостачання;

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- впровадженню на мережах газо- та теплопостачання заходів щодо запобігання витокам газу, пари й води, а також передбаченню резервних ліній для переключення енергопостачання з альтернативних магістралей або об'єктів.

Імовірність виникнення пожеж на підприємстві переважно визначається рівнем вогнестійкості будівель і споруд, ступенем їх пожежної та вибухової небезпеки, щільністю забудови, а також характером і масштабами можливих руйнувань.

Під час розроблення заходів, спрямованих на запобігання або зменшення впливу вторинних уражаючих факторів на об'єкт і його складові, необхідно враховувати особливості конкретного виробництва. Зокрема, на підприємствах нафтопереробної та нафтохімічної галузей унаслідок пошкодження або руйнування резервуарів, трубопроводів і запірної арматури може відбуватися утворення вибухонебезпечних газоповітряних сумішей, здатних до займання або вибуху, що, у свою чергу, призводить до пошкодження обладнання, будівельних конструкцій, будинків і споруд.

Умови виникнення та особливості поширення пожеж визначаються не лише категорією виробництва за пожежною небезпекою, а й рівнем вогнестійкості будівель і споруд. За цим показником усі будинки та споруди класифікуються на п'ять ступенів вогнестійкості: I, II, III, IV та V.

Лікувальні корпуси психіатричних лікарень і диспансерів повинні відповідати вимогам не нижче III ступеня вогнестійкості.

Водночас будівлі лікувальних закладів місткістю до 60 ліжок, а також амбулаторно-поліклінічні установи, розраховані на обслуговування до 90 відвідувачів за зміну, допускається проєктувати з IV або V ступенем вогнестійкості за умови використання рублених чи брущатих стінових конструкцій.

У разі розміщення лікувальних, амбулаторно-поліклінічних закладів або аптек у будівлях іншого функціонального призначення такі приміщення,

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

за винятком службових приміщень медичного персоналу в громадських спорудах та аптечних кіосків, повинні бути конструктивно відокремлені від інших зон протипожежними стінами першого типу та обладнані окремими самостійними виходами безпосередньо назовні.

Рівень вогнестійкості будинків і споруд встановлюється на підставі мінімально допустимих меж вогнестійкості основних будівельних конструкцій, а також характеристик горючості матеріалів, з яких вони виготовлені. Вогнестійкість конструктивних елементів визначається часом їх опору дії вогню до моменту займання або втрати несучої здатності та вимірюється в годинах. Будівельні матеріали за здатністю до горіння поділяються на три основні групи: горючі, важкогорючі та негорючі.

З метою запобігання виникненню або обмеження поширення пожеж, отруєнь та інших вторинних уражаючих факторів на підприємствах реалізуються заходи протипожежної й інженерно-технічної профілактики. До них належать дії, спрямовані на локалізацію пожеж і зменшення їх наслідків, зокрема облаштування протипожежних розривів поблизу нагрівальних печей і технологічних установок, формування та підготовка сил і засобів пожежогасіння, винесення складів паливно-мастильних матеріалів і вибухонебезпечних речовин за межі території об'єкта із одночасним скороченням їх запасів, обвалування резервуарів і складів сильнодіючих отруйних речовин, оснащення системами їх нейтралізації, створення запасів води в резервуарах, а також впровадження інших необхідних заходів захисту.

Під час оцінювання стійкості функціонування об'єкта в умовах надзвичайних ситуацій додатково слід враховувати його розташування щодо меж зон можливого катастрофічного затоплення у разі руйнування гребель гідротехнічних споруд, а також потенційні наслідки такого впливу.

На стійкість функціонування об'єктів істотно може впливати радіоактивне забруднення території, у зв'язку з чим для забезпечення

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безпеки персоналу розробляються та впроваджуються відповідні режими радіаційного захисту.

До таких заходів належать скорочення обсягів матеріально-технічних ресурсів, що зберігаються безпосередньо на території підприємства, формування необхідних запасів і резервів у заміській зоні, зокрема сировини, палива, обладнання, комплектуючих виробів, запасних частин, будівельних матеріалів, а також пересувних електричних і компресорних установок для виконання аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт. Крім того, передбачається завчасна підготовка підприємства до переходу на резервні або автономні джерела електро-, паро- та водопостачання, а також попереднє вивчення можливостей залучення місцевих джерел сировини, палива, комплектуючих і інших матеріалів, необхідних для забезпечення виробничого процесу.

Важливим заходом є завчасна підготовка до відновлення порушеного виробництва, для чого на об'єкті розробляється план відновлювальних робіт, що дозволить значно скоротити час на проведення робіт у випадку часткового зруйнування об'єкта.

2.3. Висновок до розділу 2

У підрозділі з охорони праці здійснено обґрунтування безпечності експлуатації телекомунікаційної системи з точки зору дотримання вимог охорони праці.

У підрозділі, присвяченому безпеці в надзвичайних ситуаціях, виконано аналіз заходів щодо підвищення стійкості функціонування об'єктів, які використовують електроенцефалографічну систему, а також розглянуто основні способи захисту персоналу зазначених об'єктів в умовах надзвичайних ситуацій.

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано комплекс робіт, пов'язаних із проєктуванням та конструюванням електронавощувача з мікроконтролерним керуванням, призначеного для підвищення ефективності процесу навощування рамок у бджільництві.

На початковому етапі проведено аналіз сучасних електронавощувачів та технічних рішень, що використовуються для виконання аналогічних функцій. У результаті порівняльного аналізу визначено переваги та недоліки існуючих конструкцій, сформульовано основні технічні вимоги до розроблюваного виробу та обґрунтовано актуальність його створення.

У процесі схемотехнічного проєктування розроблено структурну схему електронавощувача, визначено склад та взаємодію функціональних вузлів пристрою. На основі прийнятих технічних рішень розроблено принципову електричну схему, виконано розрахунок основних електричних параметрів та здійснено вибір компонентів, що забезпечують необхідні технічні характеристики виробу.

На етапі конструкторського проєктування проведено обґрунтований вибір елементної бази з урахуванням експлуатаційних, технологічних та економічних вимог. Виконано розрахунок показників надійності, проаналізовано теплові режими роботи елементів та забезпечено відповідність конструкції вимогам електробезпеки й довговічності.

Також розроблено конструкцію друкованої плати, виконано компонування елементів та трасування електричних з'єднань з урахуванням вимог електромагнітної сумісності та технологічності виготовлення. Розроблені технічні рішення забезпечують стабільну роботу електронавощувача, підвищення точності керування технологічним процесом та покращення експлуатаційних характеристик пристрою.

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отримані результати підтверджують можливість практичного впровадження розробленого електронавощувача та його використання в умовах індивідуальних і промислових пасічних господарств.

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Методичні рекомендації з оформлення кваліфікаційних робіт бакалавра за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» уклад.: Дунець В.Л., Хвостівський М.О. Дедів І.Ю. Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021 р. – 72с
2. Основи технології радіоелектронних апаратів : навчальний посібник / Р. А. Ткачук, В. Г. Дозорський, Л. Є. Дедів, І. Ю. Дедів. - Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. - 336 с
3. ДСТУ ГОСТ 2.702:2013. Єдина система конструкторської документації. Правила виконання електричних схем (ГОСТ 2.702-2011, IDT) [Електронний ресурс]. – Режим https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60892.
4. Офіційний сайт Altium Designer [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.altium.com>.
5. Атаманчук П.С. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник. - К.: Основа, 2017, с. 437.
6. Запорожець О.І. Основи охорони праці. – К.: ВД Центр навчальної літератури (ЦНЛ), 2019, с. 4
7. Khvostivska L., Khvostivskyi M., Dediv I., Yatskiv V., Palaniza Y. Method, Algorithm and Computer Tool for Synphase Detection of Radio Signals in Telecommunication Networks with Noises. Proceedings of the 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. P.173-180. ISSN 1613-0073.
8. Khvostivska L., Khvostivskyi M., Dunets V., Dediv I. Mathematical, algorithmic and software support of synphase detection of radio signals in

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

electronic communication networks with noises. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 111, no 3, 2023. pp. 48–57

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

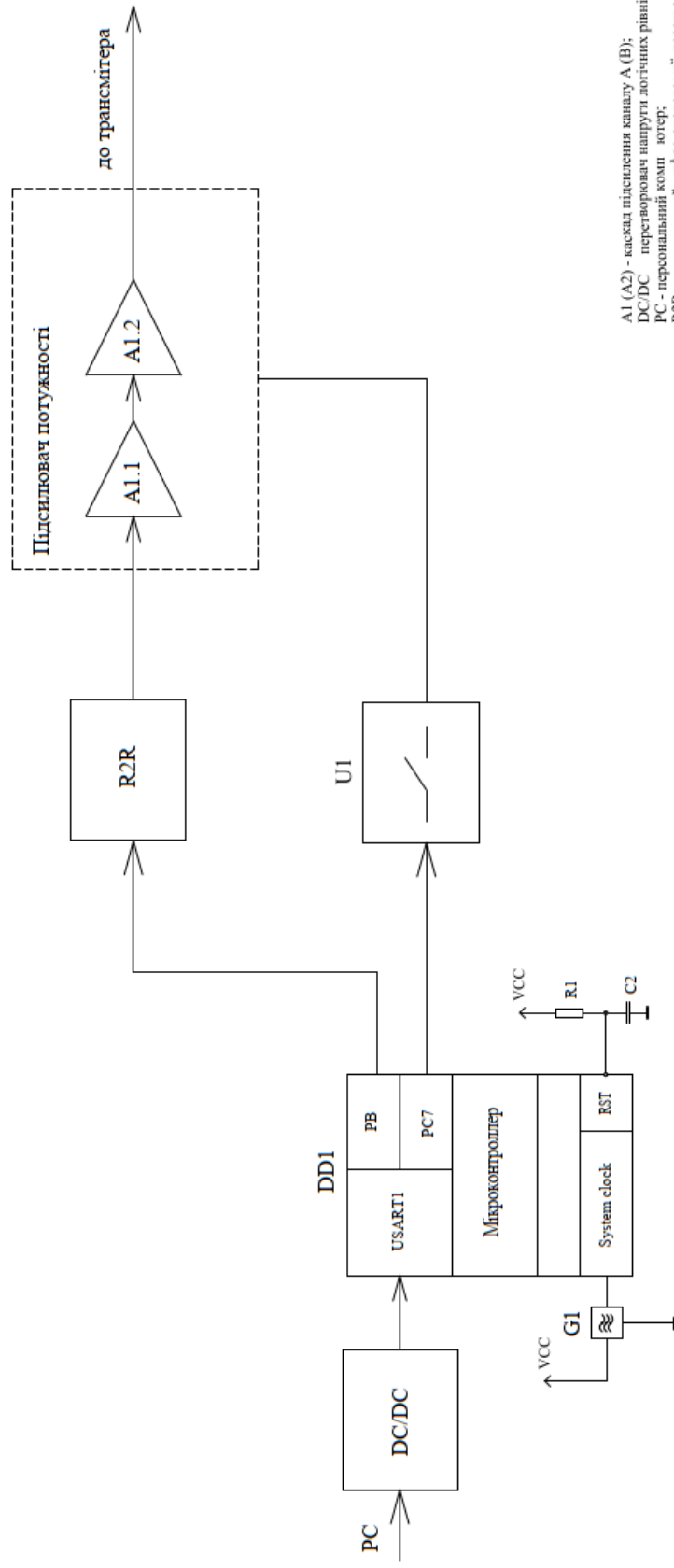
10. Yurii Palianytsia, Vasyl Dunets, Liliia Khvostivska. Modeling of Phased Array Antenna for Data Transmission in Urban Environment. CEUR Workshop Proceedings. 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, ITTAP 2023. Ternopil 22 November 2023 до 24 November 2023. Том 3628, с. 208-220.

11. Dual-Polarization Yagi Antenna for Meter Wavelength Range. Khymych H., Dunets V., Duda S., Palaniza Y., Kornieiev K. Radioelectronics and Communications Systems. Allerton Press Inc. United States. 2023. Volume 66. Issue 11, pp. 609–615.

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					БВІ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



A1 (A2) – каска підсилення каналу А (В);
DC/DC – перетворювач напруги логічних рівнів;
PC – персональний комп'ютер;
R2R – резистивний цифро-аналоговий перетворювач;
U1 – триггерний ключ;
USART1 – модуль універсального синхронного прийомопередавача 1;
VCC – напруга живлення.

АІ (А2) - каскад підсилення каналу А(В);
DC/DC - перетворювач напруги логічних рівнів;

PC - персональный компьютер;

R2R резистивный цифро-аналоговый перетворювач;

UI транзисторный ключ; USART1 - модуль универсального асинхронного передатчика/приемника;

приёмопередатчика I;

Намного грей

English No.

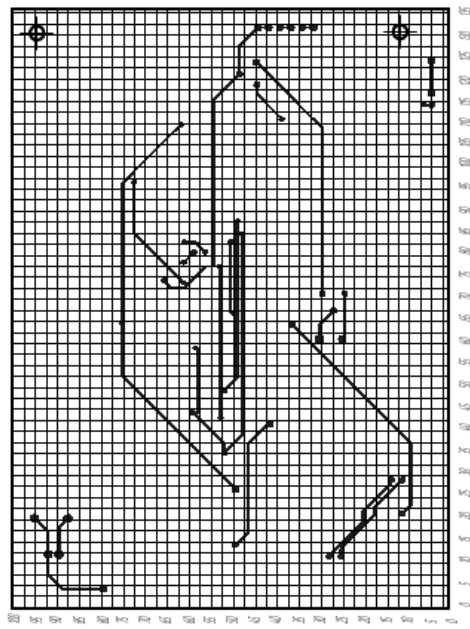
התאריך: 10.10.2018

	M.D. No. 0197
--	---------------

БЭГМ УНД №	
------------	--

התקן ח קטן

2024 N 044



1. Плата повинна відповідати ДСТУ ІЕС 61189-5-501
2. Крок координатної сітки 2,5мм
3. Плату виготовити комбінованим методом
4. Параметри отворів див. в таблицю
5. Клас точності 3 згідно ДСТУ ІЕС 61188-5-1
7. Мінімальна ширина провідників не менше 0,2мм
8. Відстань між провідниками не менше 0,02мм

Конуробан	Формат А3
-----------	-----------

[illegible]

Page No.

М-6 № дѣла	
Подп. у діана	

	ה'תשס"ח

3



1. Розміри для даних
2. Установку ЕРЕ провідити відповідно до вимог ІРС-А-610
кріп. координатної сітки 1,25 мм.
3. Виводі загинати під кутом 30° і обрізати в межах контактних
плоскощадок.
4. Паяти ПОС-61 ДСТУ 2784.
5. Лакуювати методом занурення лаком АК-113 ТУ29-02-1126-86.
6. Позначення елементів показані умовно.

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]