

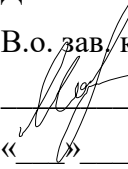
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Радіотехнічний факультет  
Кафедра прикладної радіоелектроніки**

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

До захисту допущено:

В.о. зав. кафедри

 Андрій МОВЧАНЮК

« \_\_\_\_\_ » 2023р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**за освітньо-професійною програмою «Інтелектуальні технології  
радіоелектронної техніки»**

**за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»**

**на тему: « Система моніторингу для забезпечення гарантованого  
радіозв'язку військових підрозділів різного рівня»**

Виконав:  
студент 2 курсу, групи РЕ-21мп

Кириленко О.А

Керівник: Старший викладач кафедри

К.т.н Михайленко М.В

Рецензент: старший викладач кафедри РТС,

Турєєва О.В

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент Кириленко О.А

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Радіотехнічний факультет**

**Кафедра прикладної радіоелектроніки**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 172 “ Телекомунікації та радіотехніка ”

Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології  
радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.зав. кафедри

Андрій МОВЧАНЮК

«    »      20   р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

**Кириленка Олександра Анатолійовича**

Тема дисертації: «Система моніторингу для забезпечення гарантованого  
радіозв'язку військових підрозділів різного рівня»

Науковий керівник дисертації Михайленко Максим Вікторович,  
затверджені наказом по університету від «09» листопада 2023 р. №5206-с.

2. Термін подання студентом дисертації 11 січня 2024 року

3. Вихідні дані до проекту. Розробити склад системи. Провести аналіз  
видів цифрових маніпуляцій та сигналів, виконати макет передавача,  
розрахувати фільтри, передбачити можливість роботи в умовах впливу завад,  
провести випробування.

4. Зміст пояснювальної записки: вступ, актуальність проблеми, аналіз  
видів модуляції, збиткове кодування, вибір компонентів, розробка схеми  
пристрою та макету передавача, результат випробувань

5. Перелік графічного матеріалу :

Схема електрична принципова. Структурна схема

6. Дата видачі завдання 09 листопада 2023 року

## 7. Календарний план

№з/п	Назва етапів виконання	Термін виконання етапів проекту
1	Вивчення проблематики	9.11.23 – 13.11.23
2	Аналіз існуючих видів моділяцій та маніпуляцій, спектрів сигналів. Вибір маніпуляції.	14.11.23 – 18.11.23
3	Обґрунтування вибору методу захисту від завад та можливість роботи зі спеціальним програмним забезпеченням	19.11.23 – 30.11.23
4	Вибір елементної бази та виготовлення макету передавача	31.11.23 – 6.12.23
5	Проведення випробувань	07.12.23 – 12.12.23
6	Оформлення текстової та графічної документації	13.12.23 – 31.12.23

Студент: Олександр КИРИЛЕНКО



Керівник: к.т.н Максим МИХАЙЛЕНКО





## АНОТАЦІЯ

Магістерська дисертація має розділи, присвячені аналізу видів, засобів та організації зв'язку в Збройних силах України, обрано засоби, для яких перед призначенням частот для організації каналів зв'язку необхідно проводити попередній моніторинг радіочастотного спектру. Є розділ з дослідженням переваг та недоліків різних видів модуляції радіосигналів, обрано оптимальну маніпуляцію для вирішення задачі моніторингу радіочастотного спектру та можливості призначення частот для організації каналів зв'язку військовим підрозділам. Є опис розробки структурної схеми та проектування елементів системи. Є частина, присвячена програмуванню контролерів, код підпрограми наведено в додатках. Є розрахунок блоку фільтрів для використання на різних частотах. Є фото вже виготовленого діючого макету передавача. Представлені результати випробувань передавача.

**Ключові слова:** Військовий зв'язок, FSK (frequency shift key), збиткове кодування, захищеність від завад.

## ANNOTATION

The master's thesis has sections devoted to the analysis of the types, means and organization of communication in the Armed Forces of Ukraine, means are selected for which preliminary monitoring of the radio frequency spectrum must be carried out before assigning frequencies for the organization of communication channels. There is a section with a study of the advantages and disadvantages of various types of radio signal modulation, the optimal manipulation is chosen to solve the problem of monitoring the radio frequency spectrum and the possibility of assigning frequencies for the organization of communication channels for military units.

There is a description of the development of a structural diagram and the design of system elements. There is a part devoted to the programming of the controllers, the subroutine code is given in the appendices. There is a calculation of the block of filters for use at different frequencies. There is a photo of an already made working layout of the transmitter. The results of transmitter tests are presented.

**Keywords:** Military communication, FSK (frequency shift key), lossy coding, immunity.

# РЕФЕРАТ

**на магістерську дисертацію на здобуття ступеня магістра,  
виконана на тему: «Дослідження вимог до антенної решітки акустичної  
системи виявлення дронів»  
студентом групи РЕ-21мп Кириленко Олександром Анатолійовичем**

Магістерська дисертація (МД) Кириленка Рлександра Анатолійовича присвячена дослідженню переваг та недоліків різних видів модуляції з метою обрання оптимальної маніпуляції для вирішення задачі моніторингу радіочастотного спектру для організації каналу гарантованого зв'язку для підрозділів ЗСУ, проведено розробку структурної схеми та проектування елементів системи. Описано процедуру програмування контролерів та розрахунок фільтрів передавача, випробування передавача в реальних умовах. Тема є актуальною.

Метою роботи є:

- проаналізувати організації зв'язку в ЗСУ на підставі ТТХ з метою визначити засоби, для яких при призначення частот для організації гарантованого сеансу зв'язку необхідно проводити попередній моніторинг частотного спектру;
- провести дослідження переваг та недоліків видів модуляцій та вибір оптимальної маніпуляції для передачі даних в умовах впливу завад;
- розглянути можливість кодування та захисту інформації в радіоканалі;
- розробити структурну схему системи, макет передавача, провести випробування.

Завданням дослідження є:

- обрати вид маніпуляції для роботи в умовах впливу завад;
- розглянути вид кодування з метою захисту інформації в каналі зв'язку;

Об'єктом дослідження передавач.

Предметом дослідження є умови проходження радіохвиль при можливому впливі завад та в різний час доби, пори року.

Методами дослідження є:

- дослідження переваг та недоліків видів модуляцій та маніпуляцій на підставі аналізу існуючих видів маніпуляцій, спектрів сигналів;
- розробка макету передавача, проведення випробувань

Апробація роботи. На основі даних аналізу розроблений макет передавача та проведені випробування.

МД містить розділи:

- роди військового зв'язку;
- аналіз методів модуляції;
- забезпечення стійкості системи ;
- розробка системи;
- випробування.

Ключові слова:

Військовий зв'язок, FSK, збиткове кодування, захищеність від завад.



# **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

## **до магістерської дисертації**

на тему: «Система моніторингу для забезпечення гарантованого  
радіозв'язку військових підрозділів різного рівня»

Київ – 2024 року

## ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	4
ВСТУП .....	5
1 Актуальність проблеми.....	6
1.1 Роди військового зв'язку.....	6
1.2 Засоби зв'язку.....	8
2 Аналіз методів модуляції .....	12
2.1 Призначення .....	12
2.2 Основні методи модуляції в цифрових системах зв'язку.....	12
2.3 Порівняння методів цифрової модуляції.....	16
2.4 Порівняння на стійкість до завад .....	17
2.5 Порівняння спектрів сигналів.....	20
3 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ СИСТЕМИ.....	24
3.1 Збиткове кодування .....	24
3.2 Формування та структура повідомлення.....	25
3.3 Пакування бітів .....	27
4 Розробка системи .....	32
4.1 Опис структурної схеми системи та структурної схеми передавача.....	32
4.2 Вибір елементної бази передавача .....	34
4.2.1 Контролер .....	34
4.2.2 GPS модуль .....	35
4.2.3 Генератор частоти.....	36
4.3 Розрахунок фільтрів.....	37
4.4 Конструктивне виконання передавача.....	45

					<b>РЕ21мп.354654.001ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		2

5. Випробування .....	47
Висновки .....	51
Список використаної літератури .....	52
Додаток А. Технічне завдання .....	53
Додаток Б. перелік елементів.....	55
Додаток В. Структурна схема.....	56
Додаток Г. Схема електрична принципова .....	57
Додаток Д. Код програми.....	58

					<i>PE21мп.354654.001ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		3

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

FSK — Frequency Shift Key

PSK — Phase Shift Key

OFDM — Ortogonal Frequency Division Multiplexing

TЗ — технічне завдання

GPS — Global-positioning system

BER — Bit Error Rate

					<i>РЕ21мп.354654.001ПЗ</i>	Лист
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		4

## ВСТУП

Об'єктом дослідження є організація стабільного зв'язку між військовими підрозділами з метою своєчасної передачі наказів, координації дій при їх виконанні, обмін оперативною інформацією, інше. Основна задача: забезпечити стабільний зв'язок в бойових умовах та умовах мирного часу.

З 2014 року управління військами здійснює перехід на нові засоби, протоколи обміну, впровадження нових систем спеціального призначення, що суттєво покращує обмін інформацією між органами та пунктами управління. Важливим з точки зору надійності та захисту інформації став перехід на цифрові засоби та техніку, що суттєво підвищило швидкість обміну та обсяги інформації, а також сприяє різкому скороченню часу для прийняття рішень. Перехід на використання систем супутникового зв'язку до окремих ротних опорних пунктів дали можливість обміну оперативними розвідувальними даними, а системи транкінгового зв'язку забезпечують закритий канал та обмін на рівні взводу та батальйону в реальному часі, а також суттєво збільшують зону покриття стабільним сигналом. Засоби, що знаходяться на озброєнні, дають можливість підключення до мережі загального користування стаціонарних інформаційно-телекомунікаційних мереж та вузлів ЗСУ [24].

Наявність великої кількості радіоелектронних засобів, які мають різне призначення, використовують різний радіочастотний спектр, потужності, види модуляції, потребують постійного урахування особливостей та вимог електромагнітної сумісності, т.д. Але для швидкої організації каналу зв'язку найважливішим є правильне урахування та оптимізація багатьох факторів: використання радіочастотного спектру, технічні та організаційні ресурси та заходи, особливості розповсюдження радіохвиль в залежності від діапазону та часу доби та сезону, географічні та інші умови.

В дипломному проекті проаналізовано деякі існуючі засоби організації зв'язку в Збройних силах України, умови та особливості їх застосування, запропонована система, що покращує умови та заходи для організації гарантованого каналу зв'язку між підрозділами.

					<b>РЕ21мп.354654.001ПЗ</b>	Лист
						5
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ

Військовий зв'язок - основний засіб управління військами, бойовими засобами та зброєю.

Головна вимога до керівників підрозділів зв'язку - організація та забезпечення постійного зв'язку з командирами та підлеглими для виконання задач щодо управління військами. Основні вимоги до зв'язку – своєчасність, достовірність, скритність.

В сучасних умовах високих темпів проведення бойових операцій від своєчасності залежить успіх виконання бойової задачі. Правильне рішення залежить від аналізу даних розвідки, інформації інших підрозділів, ППО, і т.п.

Своєчасність досягається за рахунок постійної готовності до виконання завдань, кваліфікацією кадрів, правильним вибором засобів та способів зв'язку [24].

Достовірність – здатність військового зв'язку забезпечувати відтворення інформації з заданою точністю при її обміні та обробці згідно показників кількісної оцінки достовірності. Достовірність досягається за рахунок контролю та підтриманням характеристик каналів та засобів зв'язку, дублюванням передачі та використанням декількох каналів одночасно, застосуванням апаратних засобів для кращої якості передачі повідомлень.

Скритність – здатність зберігати в таємниці факт передачі та її зміст. Вимоги до скритності залежать від рівня секретності повідомлень. Вона забезпечується за рахунок шифрування, кодування, засобів прийому та передавання повідомлення [24].

## 1.1 Роди військового зв'язку

За визначенням, *рід військового зв'язку* – це електрозв'язок, який визначається середовищем розповсюдження сигналів електрозв'язку і каналоутворюючими засобами зв'язку.

До родів військового зв'язку відносяться:

— радіозв'язок;

					<b>РЕ21мп.354654.001ПЗ</b>	Лист
						6
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

- прямої видимості;
- іоносферний;
- транкінговий;
- радіорелейний;
- тропосферний;
- супутниковий;
- дротовий зв'язок;
- гідроакустичний зв'язок.

*Радіозв'язок* – електрозв'язок, що здійснюється з використанням радіохвиль.

*Радіозв'язок прямої видимості* – радіозв'язок, що здійснюється в зоні прямої видимості між антенами радіостанцій.

*Іоносферний зв'язок* – радіозв'язок, що здійснюється між радіостанціями, відбиттям радіохвиль від іоносфери або їх розсіюванням на неоднорідностях іоносфери.

*Транкінговий зв'язок* – радіозв'язок мобільних абонентів, що здійснюється через базову приймально-передавальну станцію або безпосередньо між ними, і при якому застосовується автоматичний частотний, часовий, частотно-часовий або кодовий розподіл радіоканалів між абонентами в межах зони радіо-доступу.

*Радіорелейний зв'язок* – радіозв'язок прямої видимості між двома радіорелейними станціями або радіозв'язок, який здійснюється шляхом багатократної ретрансляції радіосигналів ланцюгом радіорелейних станцій.

*Тропосферний зв'язок* – радіозв'язок, що здійснюється відбиттям та розсіюванням радіохвиль на неоднорідностях тропосфери між станціями, які знаходяться поза межами прямої видимості.

*Супутниковий зв'язок* – радіозв'язок, що здійснюється між земними станціями за допомогою ретрансляції радіосигналів через супутник-ретранслятор [24].

					<b>РЕ21мп.354654.001ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		7

*Проводовий зв'язок* – електрозв'язок, що здійснюється розповсюдженням сигналами електрозв'язку вздовж проводового кабелю з металевими або волоконно-оптичними жилами.

*Гідроакустичний зв'язок* – зв'язок, що здійснюється шляхом розповсюдження звукових чи ультразвукових хвиль у водному середовищі [24].

## **1.2 Засоби зв'язку**

За визначенням, засоби військового зв'язку – це технічні пристрої, що призначені для обміну інформацією сигналами електрозв'язку та інших функцій.

Значення засобів зв'язку визначається тактико-технічними даними (ТТД), та можуть змінюватися в залежності від характеру бойових обставин. Основними є ті, що в даних умовах найбільш повно забезпечують потреби управління.

Засоби військового зв'язку поділяються на засоби електрозв'язку, рухомі та сигнальні.

Найпоширенішими є *каналоутворюючі* засоби – пристрої для утворення каналу передавання та (або) групових трактів.

За функціональним призначенням до каналоутворюючих засобів відносяться: радіостанції, радіорелейні та тропосферні станції, станції супутникового, багатоканального зв'язку, апаратура частотного та часового розподілу каналів передавання, апаратура передавання даних, кабелі зв'язку.

Комплекс засобів зв'язку – сукупність організаційно, функціонально і конструктивно взаємопов'язаних засобів електрозв'язку, що призначений для забезпечення обміну інформацією в системі військового зв'язку і автоматизації [24].

Управління військами і зброєю в бою без засобів електрозв'язку неможливе. Розмах бойових дій може бути таким, що безперервний зв'язок необхідно забезпечувати між пунктами управління, які знаходяться на відстані декількох сотень кілометрів.

					<b>РЕ21мп.354654.001ПЗ</b>	Лист
						8
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		



В цьому випадку велику роль відіграють засоби радіо- і супутникового зв'язку.

В нинішніх умовах бойові дії проводяться на лінії зіткнення більше 1000 км, тому задіяні всі наявні засоби. В підрозділах тактичної ланки найчастіше застосовуються ультракороткохвильові, транкінгові та супутникові засоби, а в оперативно-тактичних - короткохвильові.

Також використовуються радіорелейні засоби в місцях, де є можливість забезпечити пряму видимість. Таким чином, переважна більшість засобів використовуються в КХ та УКХ діапазонах. Зауважимо, що штатні радіостанції, які знаходяться на озброєнні у підрозділів сухопутних військ використовуються в діапазонах 2...12 МГц, 20...70 МГц, 120-170 МГц, 400...480 МГц. Крім того, війська протиповітряної оборони та повітряних сіл використовують діапазон 127...138 МГц [24].

Найважливішим є забезпечення стабільного зв'язку саме на частотах роботи основних засобів.

Зважаючи на те, що в бойових умовах використовується цілий комплекс заходів, включаючи як радіорозвідку, так і протидію, комплекс організаційних заходів повинен включати наявність резервних каналів (або запасних частот).

Для підрозділів рівня батальйону, які є багатофункціональним оперативним підрозділом, для управління на рівні своїх підрозділів, необхідно забезпечити координацію дій з сусідніми підрозділами та командуванням бригади. Оскільки зона відповідальності батальйону може складати десятки кілометрів, забезпечення зв'язком є дуже важливим, адже такі відстані потребують використання як КХ, так і УКХ засобів.

Основними показниками попереднього аналізу створення системи зв'язку є частотний діапазон, тип модуляції, потужність, тип антена та висота підвісу, відстань до кореспондента, умови використання радіотехнічних засобів, властивості поширення радіохвиль [24].

Особливістю для КХ діапазонів є вплив іоносфери у вигляді віддзеркалювання радіохвиль, при якому частково поглинається їх енергія,

					<b>РЕ21мп.354654.001ПЗ</b>	Лист
						9
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

створюються зони різної взаємодії навколо передаючої радіостанції. Напруженість поля і відстань, на якій можна встановити стабільний зв'язок, залежить від потужності передавача, типу антени, характеру місцевості, кліматичних умов. Важливим також є час доби, сезонність, коефіцієнт сонячної активності, інші фактори .

Особливостями УКХ з частотою більше 30 МГц є те, що вони не віддзеркалюються іоносферою та дальність розповсюдження суттєво обмежена. Теоретично зв'язок можливий тільки прямими хвилями (в межах прямої видимості). Приймаючи до уваги кривизну земної поверхні, максимальна відстань між приймачем та передавачем, коли можливий прийом прямої хвилі, обумовлений висотою підйому приймальної та передаючої антени. На УКХ можливо розрахувати максимальну дальність для зв'язку в межах прямої видимості:

$$d = 3,57 \times (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

де  $d$  – відстань прямої видимості в км, а  $h$  – висота підвісу антен в метрах.

Але в діапазонах, де використовуються системи зв'язку рівня взводу (портативні радіостанції діапазонів умовно 140 МГц та 450 МГц) можуть спостерігатися такі явища, як дифракція (огинання радіохвилею перепон) та рефракція (заломлення радіохвилі), завдяки яким може збільшуватись відстань для стабільного зв'язку.

Оскільки згідно регламенту зв'язку в частотних таблицях повинні бути задані основні та запасні частоти, а також часто задаються денні та нічні частоти, врахувати всі фактори і зробити правильний розрахунок для призначення частот, достатньо важко [24].

Для вирішення таких задач пропонується радіочастотний моніторинг на діапазонах, які можуть бути використані для подальшої організації гарантованого каналу зв'язку.

Для проведення такого моніторингу достатньо за допомогою приймача отримати повідомлення від передавача, яке буде містити мінімум інформації і

					<b>РЕ21мп.354654.001ПЗ</b>	Лист
						10
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволить просто ідентифікувати передавач. Факт прийняття такого повідомлення є підтвердженням наявності умов для організації каналу зв'язку.

В умовах роботи систем радіорозвідки та протидії з боку ворога потужність передавача повинна бути мінімальною, в рази меншою за потужність основних засобів (в межах 0,2...0,5 Вт). Сигнал повинен бути стійким до завад, а інформація, що передається, бути максимально короткою.

Використання системи дозволить підвищити вірогідність організації каналу гарантованого зв'язку, зменшити час перебування в ефірі, знизити вірогідність визначення ворогом координат передавача, зменшити час на комунікацію [24].

					<i>РЕ21мп.354654.001ПЗ</i>	Лист
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		11

## 2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОДУЛЯЦІЇ

В сучасних системах зв'язку для надійної та ефективної передачі інформації використовуються цифрові методи модуляції. Проведемо аналіз існуючих методів, їх властивостей та оберемо той, який використаємо в системі згідно вимог.

### 2.1 Призначення

Цифрова модуляція - це процес зміни параметрів несучого сигналу для передачі цифрової інформації.

Основна задача цифрової модуляції - кодування інформації двійковим кодом у форматі, який відповідає вимогам передачі в каналі зв'язку. Перетворення цифрових даних в модульований сигнал надає можливість надійно та ефективно передавати інформацію в дротових та бездротових каналах.

Переваги цифрових методів модуляції в сучасних системах зв'язку:

- ефективне використання доступної пропускної спроможності, що дає можливість надати той самий канал одночасно для декількох абонентів;
- стійкість до шуму та завад ;
- надійність та якість передачі даних;
- сприяння інтеграції різних послуг (дані, відео, голос) в єдину цифрову систему передачі. [20]

### 2.2 Основні методи модуляції в цифрових системах зв'язку

В сучасних системах використовується декілька основних методів цифрової модуляції, а саме:

- Амплітудна маніпуляція (ASK) – модулює амплітуду несучого сигналу в залежності від значення символу що передається [1].

Проста та найбільш поширена маніпуляція.

					<b>РЕ21мп.354654.001ПЗ</b>	Лист
						12
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

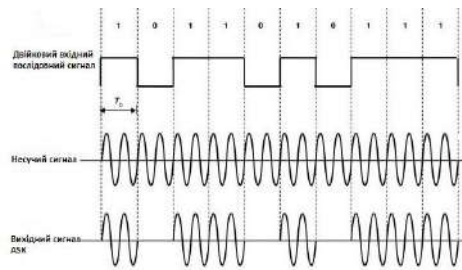


Рисунок 2.1 — Зміна амплітуди в ASK в залежності від символу, що передається

— Частотна маніпуляція (FSK) – модулює частоту несучого сигналу для представлення цифрових символів. Використовується у випадках, коли стійкість від завад має вирішальне значення [2].

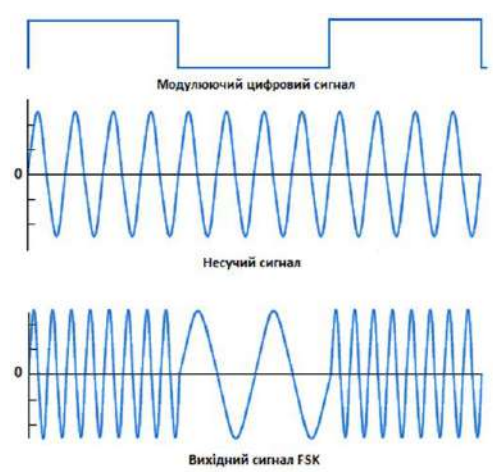


Рисунок 2.2 — Зміна частоти в FSK в залежності від символу що передається

— Фазова маніпуляція (PSK) – модулює фазу несучого сигналу для представлення цифрових символів. Забезпечується більш висока швидкість передачі даних у порівнянні з ASK та FSK. PSK також поділяється на різні види, що відрізняються кількістю переданих біт на один символ. Наприклад: BPSK (1 біти/символ), QPSK (2 біти/символ). Існує також Диференційна фазова маніпуляція (DPSK) – модулювання фази несучого сигналу на різниці фаз між послідовними символами. Забезпечує покращення завадостійкості у порівнянні з PSK [5].

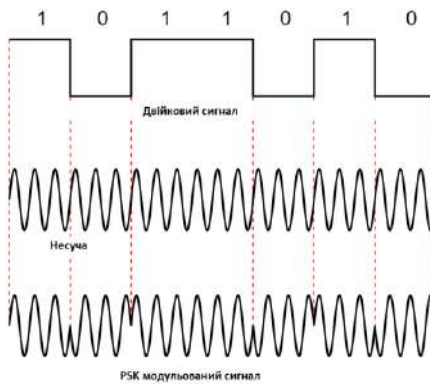


Рисунок 2.3 — Зміна фази в PSK в залежності від символу що передається

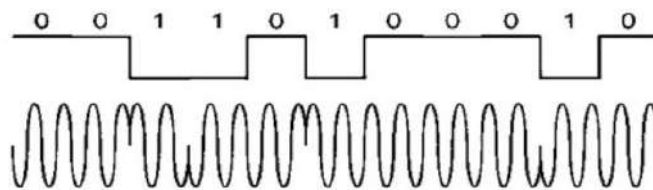


Рисунок 2.4 — Графік DPSK сигналу

— Квадратурна амплітудна модуляція (QAM) – об’єднує в собі амплітудну та фазову модуляції для передачі декількох бітів на символ та широко використовується в сучасних системах зв’язку [6].

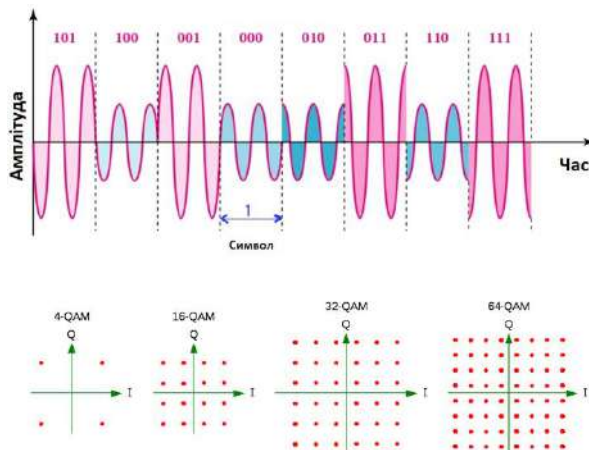


Рисунок 2.5 — Графік QAM та сигналні сузір’я

— Імпульсно-амплітудна модуляція (PAM) – модулює амплітуду серії імпульсів для представлення цифрових імпульсів. Зазвичай використовується в системах цифрової абонентської лінії (DSL) [4].

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

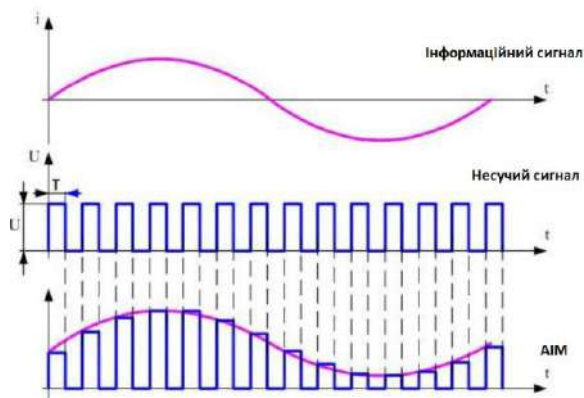


Рисунок 2.6 — Графік PAM сигналу

— Модуляція з розширеним спектром – розподілення сигналу в широкій полосі частот, забезпечуючи стійкість до завад. Використовується в супутникових системах та системах спеціального призначення [8].

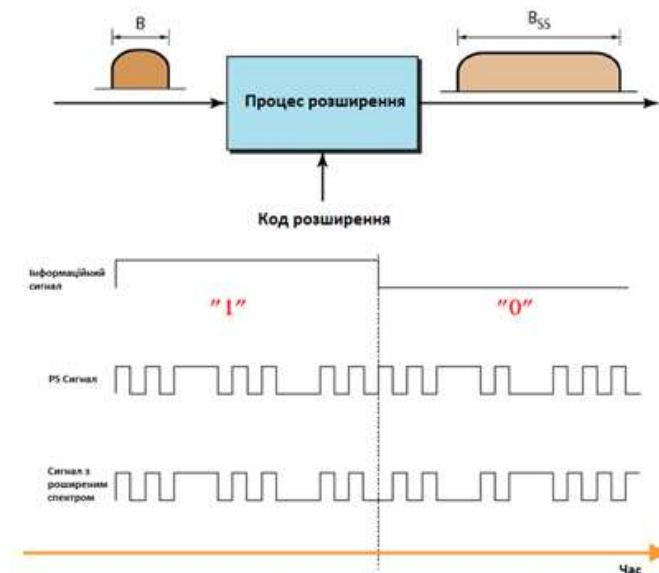


Рисунок 2.7 — Процес утворення сигналу з розширеним спектром

— Мультиплексування з ортогональним частотним розділенням каналів (OFDM) – розділяє доступну пропускну спроможність на декілька піднесучих, кожна з яких несе частину даних. Використовується в системах бездротового доступу високої швидкості.

Це не є видом цифрової модуляції а методом розподілення радіо-ресурсів в каналі. Однак у ході роботи ми теж його розглянемо [3].

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

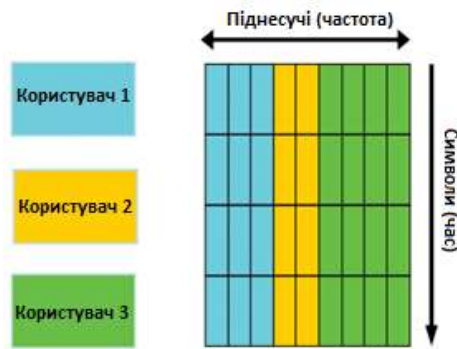


Рисунок 2.8 — OFDM розподілення радіо-ресурсів

### 2.3 Порівняння методів цифрової модуляції

Різні види модуляції були розроблені для різних каналів та умов використання. Порівняємо та проаналізуємо продуктивність різних цифрових методів модуляції.

Таблиця 2.1 — Порівняльна таблиця методів цифрової модуляції

Назва	Опис	Переваги
Амплітудна (ASK)	Модулює амплітуду несучого сигналу для представлення цифрових даних	Проста реалізація, ефективне використання полоси пропускання
Частотна (FSK)	Модулює частоту несучого сигналу для представлення цифрових даних	Стійкість до шуму, легка демодуляція
Фазова (PSK)	Модулює фазу несучого сигналу для представлення цифрових даних	Ефективне використання полоси пропускання, несприйнятлива до зміни амплітуди
Диференційна фазова (DPSK) Диференційна фазова (DPSK)	Модулює різницю фаз між послідовними символами	Стійкість до змін фази, більш проста демодуляція у порівнянні з PSK.
Квадратурна амплітудна (QAM)	Поєднання фазової та амплітудної маніпуляцій для передачі більшої кількості бітів на символ	Висока швидкість передачі даних, ефективне використання полоси пропускання

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РЕ21мп.354654.001ПЗ

Лист

16



Амплітудно-імпульсна (РАМ)	Модулює амплітуду імпульсів для представлення цифрових даних	Проста реалізація, що підходить для передачі в основній полосі частот
Модуляція з розширеним спектром	Розподіляє сигнал по широкому діапазону частот для підвищення стійкості до завад	Стійкість до вузько-смугових завад, безпечний зв'язок
Мультиплексування з ортогональним частотним розділенням каналів (OFDM)	Поділяє декілька піднесучих в частотній та часовій областях для одночасної передачі	Стійкість до частотно-селективного завмирання, висока спектральна ефективність

## 2.4 Порівняння на стійкість до завад

Проаналізуємо види модуляції на предмет стійкості до виникнення бітових помилок в залежності від співвідношення сигнал-шум.

В якості завади в каналі передачі інформації застосовуємо білий гаусовський шум (AWGN). Такий шум характеризується рівномірною спектральною щільністю потужності, нормально розподілені часові значення та адаптивний спосіб впливу на сигнал.

Коефіцієнт помилок — співвідношення кількості числа неправильно прийнятих бітів при передачі по каналу зв'язку, є найважливішою характеристикою лінійного тракту та визначається за формулою:

$k_{\text{пом}} = \frac{N_{\text{пом}}}{N}$ , де  $N_{\text{пом}}$  — кількість помилково прийнятих символів за інтервал загальної кількості переданих символів  $N$ .

Проведемо аналіз показників BER (Bit Error Rate) – середнє значення коефіцієнту помилок по бітах, в залежності від типу модуляції.

Для розрахунку будемо використовувемо додаток Matlab.

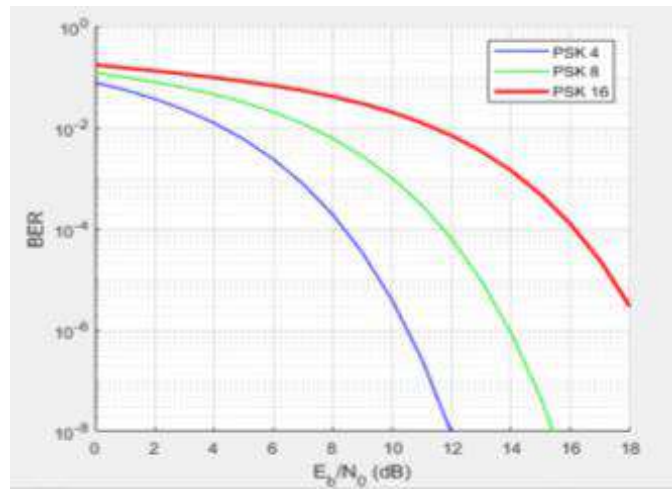


Рисунок 2.9 — Залежність BER від співвідношення сигнал/шум PSK4, PSK8, PSK16

Для PSK4 значення  $BER = 10^{-4}$  досягається при співвідношенні сигнал-шум 8,5 дБ, для PSK8 при 11,8 дБ, для PSK16 при 16 дБ.

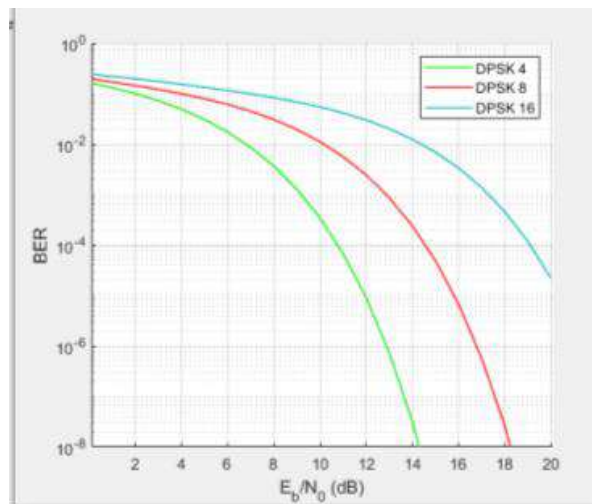


Рисунок 2.10 — Залежність BER від співвідношення сигнал/шум DPSK4, DPSK8, DPSK16

Для DPSK4 значення  $BER = 10^{-4}$  досягається при співвідношенні сигнал-шум 10,8 дБ, для DPSK8 при рівні 14,7 дБ, для DPSK16 при рівні 19 дБ.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

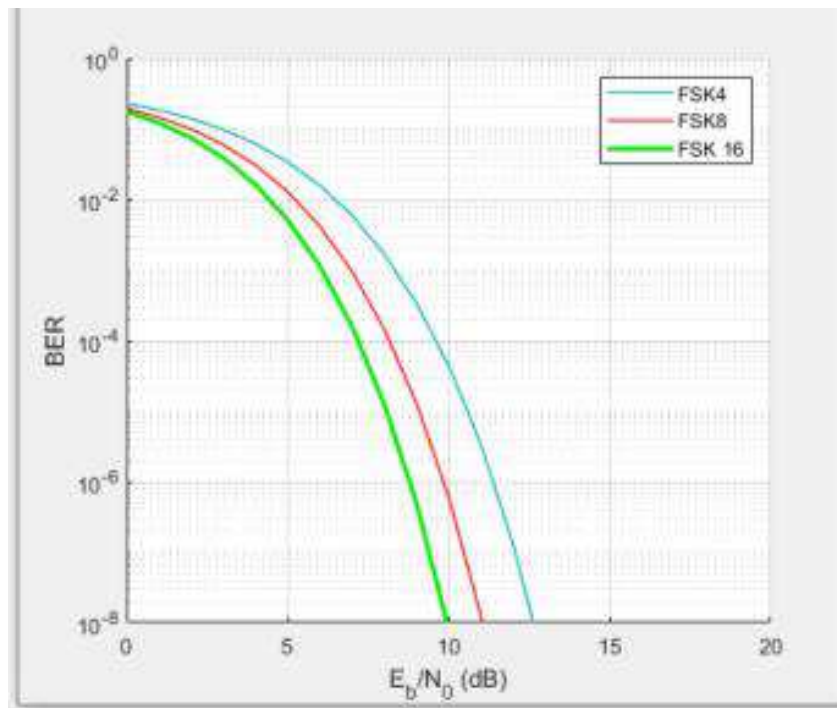


Рисунок 2.11 — Залежність BER від співвідношення сигнал/шум FSK4, FSK8, FSK16

На рівні  $BER = 10^{-4}$  для FSK4 дане значення досягається при співвідношенні сигнал-шум 9,5 дБ, для FSK8 на рівні 8 дБ, для FSK16 на рівні 7,5 дБ.

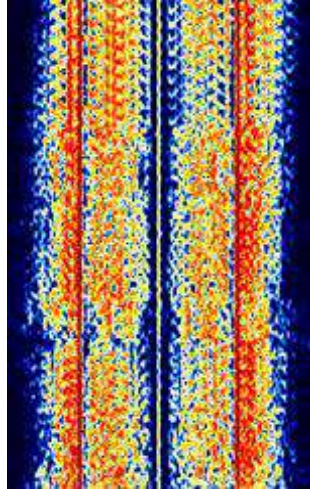
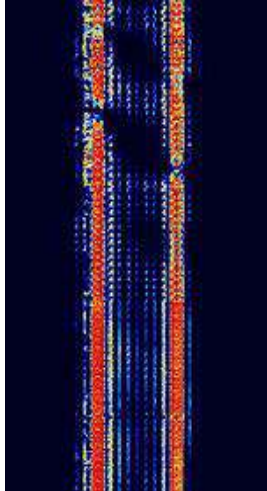
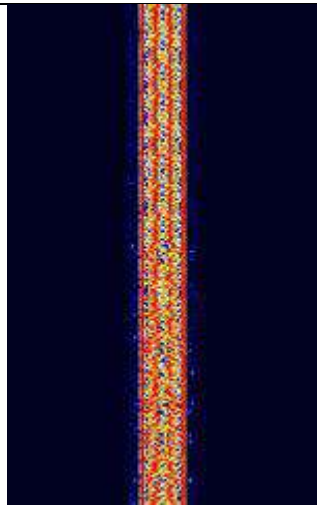
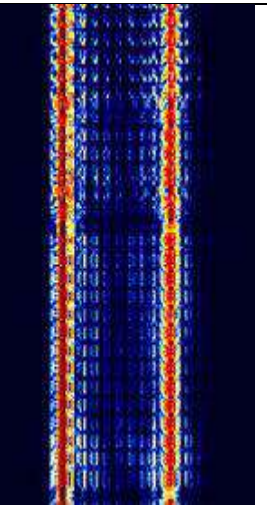
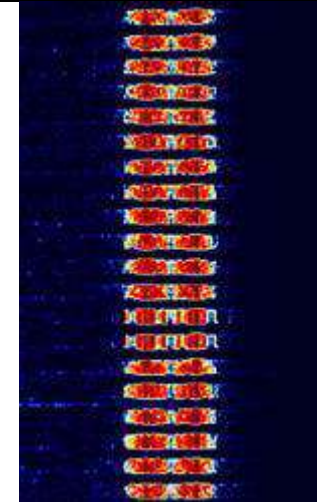
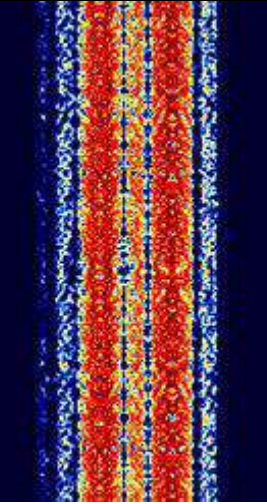
За результатами аналізу графіків робимо висновок, що для каналу з білим Гаусовським шумом модуляції PSK та FSK мають достатньо високий рівень співвідношення сигнал/шум, але значення для PSK у порівнянні з FSK дещо кращі.

З метою з'ясувати переваги та недоліки маніпуляцій, порівняємо спектри сигналів, які найчастіше використовуються, на предмет основних параметрів: вид маніпуляції, частоти використання, полоса сигналу.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

## 2.5 Порівняння спектрів сигналів

Таблиця 3.2 — Порівняльна таблиця спектрів [13]

	<p>ARQ-E (ARQ-1000 Duplex, ARQ-1000D) синхронізована повністю дуплексна система. Використовується військовими. USB FSK 3 MHz — 30 MHz 85-250 Hz</p>		<p>ARQ-M2-242 (TDM 242, TDM-2,96-TDM, ARQ-28) двоканальна мультиплексна телексна система. Стандарт CCIR 242. USB FSK 3 Mhz-30 MHz 600 Hz</p>
	<p>ARQ-M4-242 (TDM 242, TDM-4, 192-TDM, ARQ-56) чотиріканальна мультиплексна телексна система. Стандарт CCIR 242. USB FSK 3 MHz — 30 MHz 250 Hz</p>		<p>ARQ-N синхронізована двоканальна ARQ модуляція USB FSK 3 MHz — 30 MHz 85 Hz-850 Hz</p>
	<p>ARQ6-90, 6-значова блокова симплексна система, використовується для обміну телетайпними даними USB FSK 10 MHz — 23 MHz 700 Hz</p>		<p>ASCII телеграфний сигнал, використовує ІТА-5 абетку MFM,USB FSK 3 MHz-450 MHz 300 Hz</p>

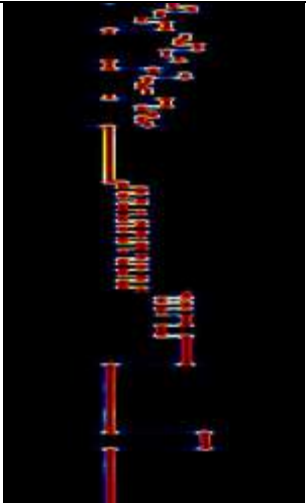
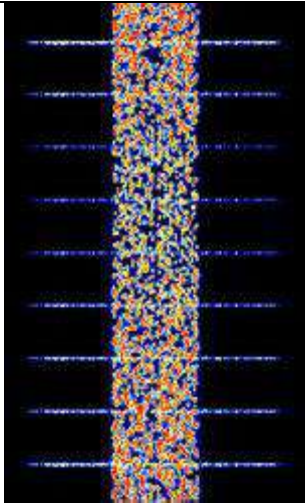
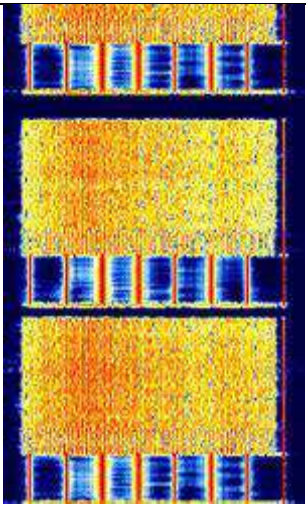
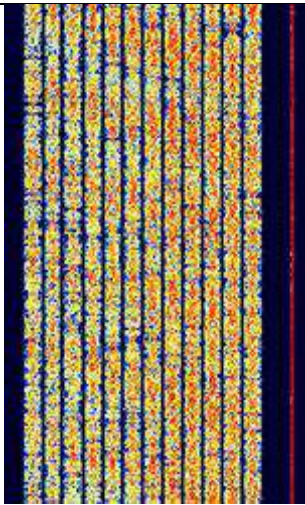
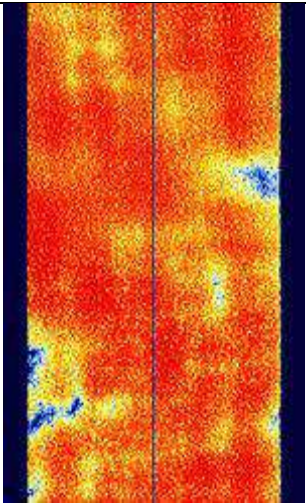
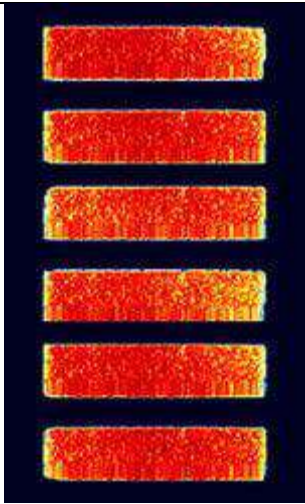
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РЕ21мп.354654.001ПЗ

Лист

20

Продовження таблиці 3.2

	<p>Enigma XPA2, також MFSK-16, CIS MFSK-14, та CIS MFSK-16, 14-ТОНОВИЙ MFSK сигнал, росія USBMFSK 3 MHz-30 MHz 250</p>		<p>Російський MFSK модем використовує 68 MFSK (5 тонів) та 9000 Bd 8-PSK в секунду в полосі 10 kHz. CIS-3000. USB MFSK, PSK 7.659 MHz — 18.28 MHz 10 KHz</p>
	<p>CIS-112 OFDM сигнал. 7 тонів (not including carrier). росія USB PSK, OFDM 3 MHz – 30 MHz 3 KHz</p>		<p>CIS-12 (MS5, FIRE, AT-3004D, or AT-3104D) 12-ТОНОВИЙ військовий модем . USB PSK 7.35 MHz-14.6 MHz 3.1 KHz</p>
	<p>CIS-128 OFDM використовує 128 каналів з розділенням всередині. USB PSK, OFDM, AM 3 MHz — 30 MHz 3.1 kHz — 6.1 kHz</p>		<p>CIS-3000 8-PSK цифровий протокол. Росія. До 9000 бітів на секунду. USB PSK 3 MHz-30 Mhz 3.4 kHz</p>

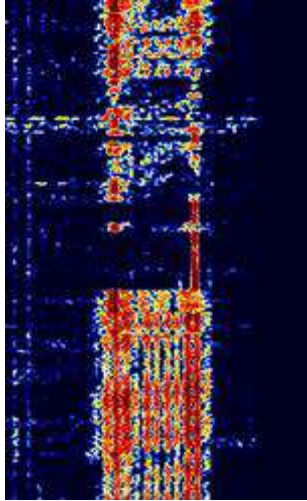
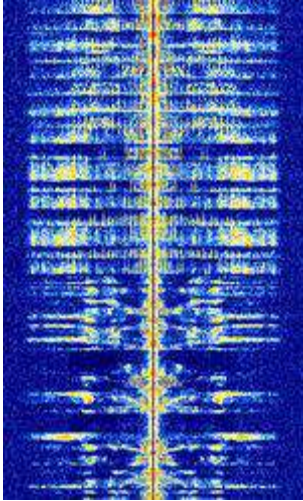
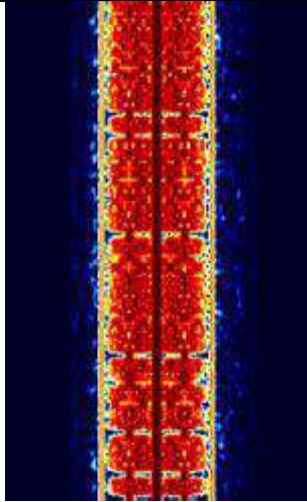
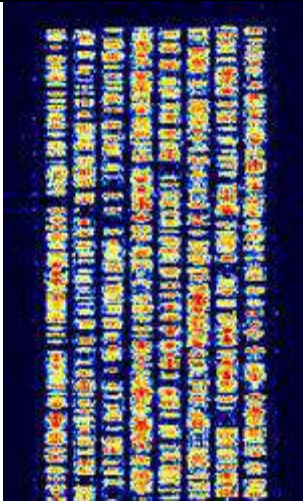
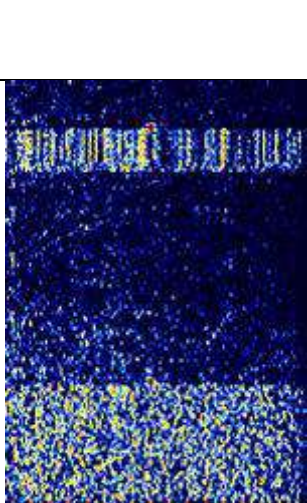
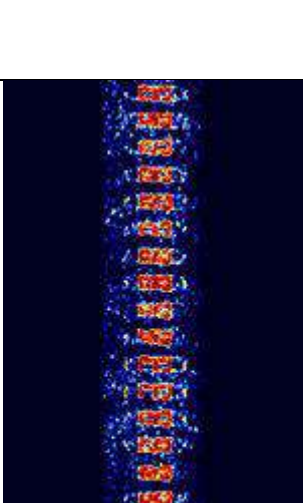
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE21мп.354654.001ПЗ

Лист

21

Продовження таблиці 3.2

	<p>AUTOSPEC синхронізована FEC телетайпна система. Використовується для зв'язку з морськими судами. USB FSK 3 MHz-30 MHz 350 Hz</p>		<p>Комерційне радіо. Також використовується для авіації. AM AM 153 KHz – 137 MHz 10 KHz</p>
	<p>Амплітудно модульована сигнальна система (AMSS) . 100 KHz-30 MHz AM, PSK USB 200 Hz</p>		<p>Автоматичний лінк 2G ALE (стандартизований метод обміну між опереторами). Також FED-STD 1045, FED-STD 1049, ата STANAG 5066. USB MFSK 3.068 MHz — 28.313 MHz 2 KHz</p>
	<p>3G ALE (ARCS) Також STANAG 4538, although MIL 188- 141 does not provide Fast LSU. USB PSK 3 KHz</p>		<p>Автоматичний лінк (ALIS) Rohde &amp; Schwarz modems. USB FSK 3 MHz — 30 MHz 270 Hz</p>

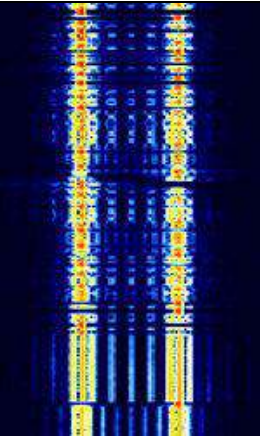
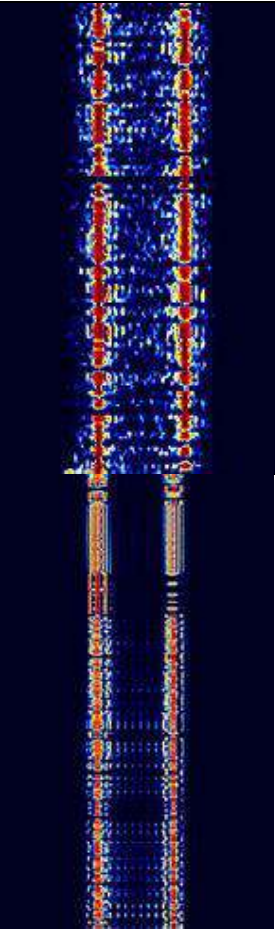
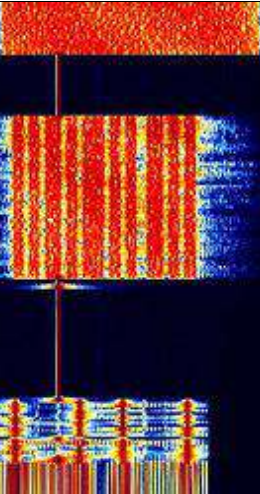
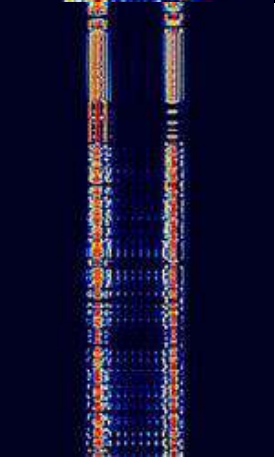
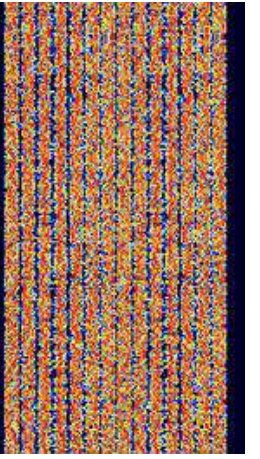
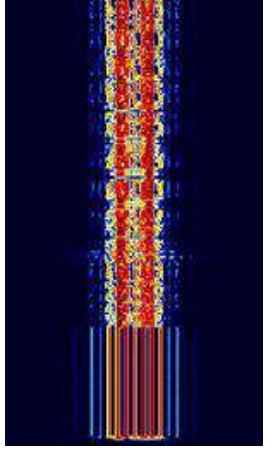
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE21мп.354654.001ПЗ

Лист

22

Продовження таблиці 3.2

	<p>CIS-36-50 (BEE-36 та T-600), FSK модем, російський МФ. USB FSK 3 MHz- 30 MHz 300-500 Hz</p>		<p>CIS-40.5 (T-206) FSK сигнал використовується російськими військовими. USB FSK 3 MHz-30 MHz 600 Hz</p>
	<p>CIS-48 формат.4 DBPSK Preamble з постійним тоном та зміною OFDM модуляції під час передачі даних. Російські військові. USB PSK 5.017 MHz — 17.289 MHz 2-3 MHz</p>		<p>CIS-50-50 схожий на CIS-36-50. Рознос частот різний. USB FSK 3 MHz – 30 MHz 150-630 Hz</p>
	<p>FreeDV Coherent PSK (FreeDV 700) цифровий голосовий протокол. USB PSK, QPSK, DQPSK 3 MHz-30 MHz 1,5 KHz</p>		<p>(GMDSS-DSC) морський протокол. Радіотелефон та MF/HF radiotelex calls. USB FSK 350 Hz 2.177-156.255 MHz</p>

Як видно з аналізу, для радіозв'язку на частотах КХ та УКХ використовуються маніпуляції PSK та FSK. Пріоритетною є маніпуляція FSK з меншою полосною пропускання, що сприяє меншому впливу завад на спектр сигналу.

## 3 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ СИСТЕМИ

### 3.1 Збиткове кодування

Для забезпечення гарантованого прийому і достовірності інформації при застосуванні впливу на канал зв'язку використовують спеціальні способи. Одним із них є збиткове кодування.

Збиткове кодування – спосіб представлення інформації, при якому крім оригінальних даних зберігається більше інформації, ніж необхідно, для подальшого точного відтворення даних та який застосовується для забезпечення більш надійної передачі та збереження її цілісності.

Принцип кодування - додавання додаткових бітів або символів до інформації, що передається. Використання перевірочних сум для виявлення помилок є одним із основних способів. У цьому випадку до оригінальних даних додається додаткова інформація, за допомогою якої перевіряється цілісність даних під час передачі або при їх зберіганні. У разі виникнення розбіжностей Якщо перевірна сума не збігається з очікуваною, значить сталася помилка під час передачі.

Надмірне кодування також застосовується в алгоритмах стиснення даних. Наприклад, алгоритм Хаффмана використовується кодування зі змінною довжиною. Найпоширенішим символам присвоюються коротші коди, тоді як рідкісним символам присвоюються довші коди. Це дозволяє знизити кількість біт, необхідні подання інформації, і, таким чином, стиснути дані [21].

#### *Причини застосування збиткового кодування*

- *Помилка в передачі даних.* Збиткове кодування допомагає визначити та виправити помилки, що виникають в процесі передачі даних. Додавання додаткових символів дозволяє здійснювати контроль за цілісністю інформації та знайти можливі помилки.
- *Стійкість до завад.* Під час передачі в каналі можуть виникати завади. Використання збиткового кодування дозволяє зробити кодування

					<b>РЕ21мп.354654.001ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		24



більш стійкою до завад додаванням додаткових символів та бітів для виправлення можливих помилок.

- *Спрощення декодування.* Збиткове декодування може використовуватись для спрощення процесу декодування даних. Додавання символів та бітів спрощує алгоритм декодування та покращує ефективність.
- *Надійність.* Додавання додаткових символів або бітів дозволяє визначити та виправити помилки, що підвищує надійність системи передачі даних.

Таким чином, збиткове кодування є важливим для передачі та зберігання даних в умовах не дуже високої якості каналу зв'язку та дозволяє підняти показники надійності передачі інформації. Символам, які часто зустрічаються, присвоюються коротші коди, тоді як рідкісним символам присвоюються довші коди. Це дозволяє знизити кількість біт, необхідні подання інформації, і, таким чином, стиснути дані.

### 3.2 Формування та структура повідомлення

Як зазначалося, на підставі результатів аналізу, що наведені в попередніх розділах, пріоритет з точки зору використання в каналах радіозв'язку надано маніпуляціям PSK та FSK.

Умови замовника передбачають, що передавач повинен мати малу потужність, невеликі розміри, низьку ціну. Інформація, що передається, не є секретною. Необхідно забезпечити стійкість до впливу завад, а сигнал повинен бути максимально непомітний для засобів радіорозвідки. На підставі проведеного попередньо аналізу щодо порівняння видів маніпуляцій, приймаємо рішення про використання FSK4.

Повідомлення повинно містити мінімальну кількість символів, до яких повинні входити код підрозділу (надалі КП), дані умовного розташування (квадрат, quad), потужність.

					<b>PE21мп.354654.001ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		25

Повідомлення може містити додаткові біти для забезпечення стійкості та додаткові біти у разі необхідності передачі додаткової інформації в повідомленні.

*Структура повідомлення:*

Вхідні дані:

- код підрозділу (КП) повинен складатися з шести символів A-Z, 0-9, (пробіл);
- чотири символи квадрату (наприклад AA33);
- рівень потужності передавача в дБм від 0 до 60.

*Код підрозділу (КП)*

КП позначається шістьма символами. У разі меншої кількості символів, перед кодом ставиться пробіл. Наприклад «[пробіл]A1AAA».

Дані структури КП задають дані для подальших розрахунків:

- перший символ може приймати будь-яке з 37 значень, включаючи пробіл;
- другий символ не може бути пробілом, тому буде мати вже 36 значень
- третій символ завжди має бути числом, тобто 10 значень. Символи в кінці не можуть бути числами, тому вони мають лише 27 значень.

Знаходимо абсолютно максимальне значення для довжини коду підрозділа в бітах  $N$ :

$$N_{\text{під}} = 37 \times 36 \times 10 \times 27 \times 27 \times 27 = 262177560 \text{ що менше ніж } 2^{28} = 2684354562$$

Таким чином, КП може бути представлений 28 бітами с додатковим залишком.

*Код квадрату:*

Перші два символи можуть приймати по 18 значень від «A» до «R», їм відповідають числа від 0 до 17. Два останні символи є цифрами, можуть приймати значення від 0 до 9.

					<b>PE21мп.354654.001ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		26

Знаходимо абсолютно максимальне значення для довжини коду квадрату в бітах  $N$ :

$$N_k = 18 \times 18 \times 10 \times 10 = 32220, \text{ що менше ніж } 2^{15} = 32768$$

Таким чином код квадрату може бути представлений 15 бітами с додатковим залишком.

### *Потужність*

Потужність позначається двома символами  $[XY]$ , мається на увазі потужність в dBm. X знаходиться в діапазоні від 0 до 6 тобто 7 значень. Y в діапазоні від 0 до 9 тобто може приймати 10 значень.

Знаходимо абсолютно максимальне значення для довжини коду квадрату в бітах  $N$ :

$$N_{\Pi} = 7 \times 10 = 70 \text{ що менше ніж } 2^7 = 128; \text{ На потужність виділяємо 7 біт}$$

Всього на інформаційну частину виділяємо:

$$N_{\Pi} = N_{\text{під}} + N_k + N_{\Pi} = 28 + 15 + 7 = 50 \text{ біт}$$

### **3.3 Пакування бітів**

Обсяг вихідних даних 50 біт. Біти розташовуються послідовно впритул КП-Qua-Pwr. Вони поміщаються в масив одинадцяти 8-бітових байтів  $s(0) - s(10)$ , перший елемент  $s(0)$  містить старшу 8-бітну частину КП,  $s(1)$  наступні 8 бітів і так далі.

Приймаємо до уваги, що  $s(3)$  містить як 4 LSB КП, так і 4 MSB квадрату, а  $s(6)$  тільки два LSB М, що в старших бітових позиціях. Молодші шість бітів  $s(6)$  встановлюються на 0, тоді як залишок елементів байтового масиву  $s(7)-s(10)$  встановлюються на 0. Тільки крайні ліві 81 із цих бітів використовуються.

### *Створення паритету*

Наступний біт джерела переміщається в LSB обох (Reg 0) та Reg(1)  $j, j]$   
Переміщаємо наявні дані в кожному місці вліво.

					<b>PE21мп.354654.001ПЗ</b>	<i>Лист</i>
						27
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Переміщаємо наступний біт джерела в LSB обох [Reg 0] і [Reg 1], перемістивши наявні дані в кожному місці вліво, беремо вміст [Reg 0] і з 0xF2D05351 Обчислюємо однобітову парність (XOR) отриманої суми. Додавання до вихідного потоку даних. Взяти вміст [Reg 1] і з 0xE4613C47 Обчислюємо однобітову парність (XOR) отриманої суми. Додаємо до вихідного потоку даних (або приймаємо альтернативний вид, один за раз від лівого кінця рядка)

Біти синхронізуються одночасно в правій частині, або в молодшій значущій позиції, двох 32-розрядних регістрів зсуву [Reg 0] і [Reg 1]. Кожен регістр зсуву живить генератор паритету «виключне АБО» від відводів зворотного зв'язку, описаних відповідно 32-бітовими значеннями 0xF2D05351 і 0xE4613C47. Генерація парності починається одразу, коли в регістрах з'являється перший біт (який спочатку має бути очищений), і продовжується, доки регістри не будуть скинуті останнім 31-м нулем, який тактується в них.

Кожен із 81 зміщених бітів генерує біт парності від кожного з генераторів, загалом 162 біти. Для кожного зміщеного біта отримані два біти парності беруться по черзі в тому порядку, в якому вказані значення двох позицій зворотного зв'язку, щоб отримати потік із 162 вихідних бітів.

Розширення з 50 біт вихідних даних до 162 додало достатню надлишковість оптимізованим чином, щоб створити код, здатний виконувати дуже сильну пряму корекцію випадкових помилок.

Ініціалізуємо лічильник, P до нуля

Беремо кожну 8-бітну адресу від 0 до 255, яка називається I. Інвертуємо біта I для надання значення J. Наприклад, I = 1 дає J = 128, I = 13 J = 176 , т.д.

Якщо результуюче бітове звернення J дає значення менше 162, тоді: встановлюємо біт призначення D[J] = вихідний біт S[P] Зупиняємо, коли P = 162

					<b>PE21мп.354654.001ПЗ</b>	Лист
						28
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

### *Перемежування*

Помилки в радіоканалі зазвичай не випадкові і виникають у пакетах, але цей тип кодування проти них менш ефективний. Завершення процесу кодування – це змішування або чергування. 162 біти даних, щоб з часом віддаляти сусідні біти один від одного. В результаті біти, що близько розташовані, розподіляються по всьому кадру і виглядають як випадкові помилки. До них застосовується процес FEC.

Процес чергування здійснюється шляхом виконання інверсії бітів адреси із 162 початковими бітами, позначеними S[0] до S[161], зміни їх порядку та отримання шаблону бітів призначення, які в свою чергу позначаються D[0] до D[161]. Відбувається повне переміщення та зміна порядку 162 бітів по відношенню один до одного.

### *Об'єднання з вектором синхронізації*

Автокореляція забезпечується об'єднанням 162 бітів даних із 162 бітами слова псевдовипадкової синхронізації. Для отримання значення символу чотирьох станів, біт синхронізації, що вибирається за принципом чергової послідовності, та вихідний біт поєднуються:

$$\text{Символ}[n] = \text{Синхронізація}[n] + 2 \times \text{Дані}[n]$$

Результатом є 162 послідовних символи, кожен зі значенням від 0 до 3

### *Модуляція*

Символ представляє зсув частоти 12000/8192 та дорівнюється приблизно 1,46 Гц, на значення символу, чим забезпечується чотирьох-рівнева модуляція Multi-FSK. Величина інтервалу тонів та довжина символу є зворотніми величинами та дорівнюються приблизно 0,683 секунди. Надсилання повідомлення із 162 символів займає близько 110,6 секунд і смуга пропускання приблизно 6 Гц.

					<b>PE21мп.354654.001ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		29

## Упаковка та зберігання

Для експорту 162 двохбітові символи упаковуються по чотири байти (спочатку MSB) у 41 місце.

## Приклад генерації кодового повідомлення

Розглянемо приклад генерації кодового повідомлення за допомогою програмного забезпечення на ПК, за допомогою якого повинен програмуватися передавач.

### Приклад 1.

Назва підрозділу A1AAA, квадрат AA11, потужність 30 дБ ( 1,0 Вт).

Повідомлення: F5 2B 96 FF A5 37 80

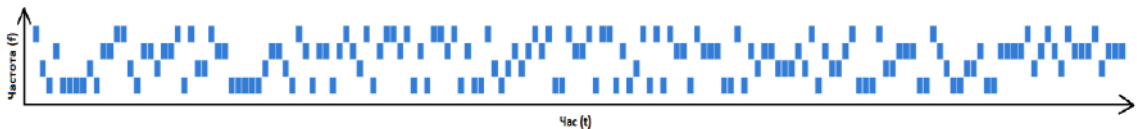


Рисунок 3.1 — Тонава послідовність першого повідомлення

### Тонава послідовність:

[ 3, 1, 0, 2, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 2, 2, 3, 3, 1, 0, 2, 2, 1, 2, 2, 3, 0, 3, 1, 1, 3, 2, 2, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 2, 2, 1, 0, 3, 2, 0, 2, 2, 0, 2, 3, 2, 1, 3, 0, 2, 3, 3, 2, 3, 0, 2, 0, 3, 3, 2, 3, 0, 2, 0, 0, 3, 1, 0, 1, 2, 1, 2, 3, 2, 3, 0, 0, 3, 2, 2, 3, 0, 3, 3, 0, 2, 0, 1, 3, 0, 3, 0, 3, 2, 2, 0, 3, 2, 2, 2, 0, 0, 3, 0, 2, 1, 2, 2, 1, 1, 1, 2, 1, 3, 0, 2, 1, 1, 2, 3, 0, 0, 0, 3, 1, 1, 2, 2, 2, 0, 0, 3, 2, 1, 0, 0, 1, 1, 2, 0, 0, 2, 2, 2, 2, 3, 1, 2, 3, 2, 1, 3, 2, 2, 2, 3, 1, 2, 2, 2 ]

### Приклад 2.

Назва підрозділу Z1ZZZ, квадрат NN99, потужність 27 дБ (500 мВт)

Повідомлення: F9 E1 90 A3 95 76 C0

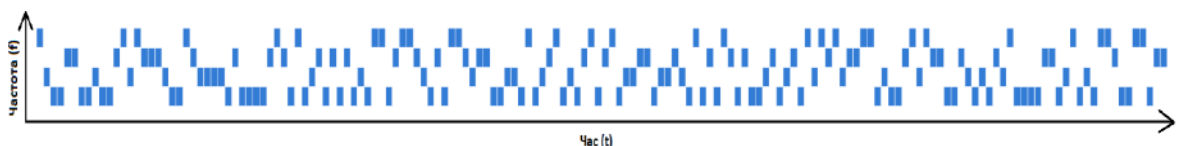


Рисунок 3.2 — Тонава послідовність другого повідомлення

Тоновна послідовність:

[ 3, 1, 0, 0, 2, 2, 0, 0, 1, 0, 0, 2, 3, 1, 3, 2, 2, 2, 1, 0, 0, 3, 2, 1, 1, 1, 1, 0, 2, 0, 0,  
0, 0, 2, 3, 2, 0, 3, 0, 1, 2, 0, 2, 0, 2, 0, 1, 0, 3, 3, 0, 2, 3, 3, 2, 1, 0, 2, 0, 3, 3, 2,  
1, 2, 2, 0, 0, 1, 1, 0, 3, 0, 1, 2, 3, 0, 1, 0, 2, 3, 0, 2, 3, 0, 1, 1, 2, 2, 0, 1, 1, 2, 1,  
0, 3, 0, 2, 0, 3, 2, 0, 2, 0, 0, 1, 2, 0, 1, 2, 0, 3, 1, 3, 2, 3, 1, 2, 2, 3, 3, 0, 1, 0, 0,  
2, 3, 1, 3, 2, 2, 0, 0, 2, 1, 0, 1, 0, 2, 1, 3, 0, 0, 0, 0, 2, 2, 0, 1, 3, 0, 1, 0, 3, 3, 2,  
0, 0, 3, 3, 0, 2, 2 ]

Підпрограма кодування контролера наведена в додатку С

					<i>РЕ21мп.354654.001ПЗ</i>	Лист
						31
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 4 РОЗРОБКА СИСТЕМИ

### 4.1 Опис структурної схеми системи та структурної схеми передавача

Передавач і приймач повинні мати можливість управління та програмування за допомогою персонального компютера, а також в автономному режимі.

Радіоканал є складовою системи.

Таким чином, складовими структурної схеми є:

- Персональний комп'ютер для роботи з передавачем
- Передавач
- Антена передавача
- Радіоканал
- Антена приймача
- Приймач
- Персональний комп'ютер для роботи з приймачем

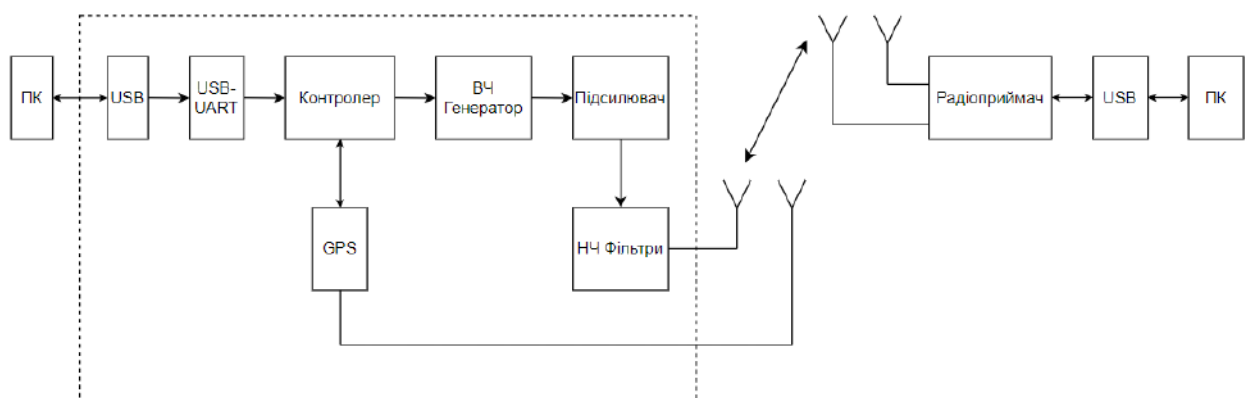


Рисунок 4.1 — Структурна схема системи

*Робота в автономному режимі:*

- Передавач;
- Антена передавача;
- Радіоканал;
- Антена приймача;
- Приймач

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE21мп.354654.001ПЗ

Лист

32



Структурна схема наведена на (рис. 4.1)

Для розробки структурної схеми передавача розглянемо його основні функції:

- передавач повинен передавати заздалегідь сформовані повідомлення на заданій частоті із заданою потужністю;
- потужність випромінювання передавача повинна бути 0,5 Вт;
- передавач повинен забезпечити роботу з маніпуляцією 4FSK;
- антена передавача повинна бути штатною.

Розглянемо основні складові структурної схеми передавача.

- При роботі з зовнішнім персональним комп'ютером необхідно забезпечити наявність USB- роз'єму.
- Для подальшої роботи з елементами системи необхідно використати USB-UART перетворювач інтерфейсів
- Для роботи з цифровим сигналом необхідно використати контролер, запрограмований на кодування пакетів та управління передавачем.
- Для синхронізації за часом при передачі цифрових пакетів необхідно забезпечити синхронізацію. Необхідно використати GSM модуль з антеною.
- Високочастотний генератор повинен забезпечити формування сигналу.
- Сигнал повинен бути підсилений за допомогою підсилювача.
- Полоса випромінювання формується за допомогою блоку фільтрів.

Структурна схема передавача наведена на (рис. 4.2)

					<i>РЕ21мп.354654.001ПЗ</i>	Лист
						33
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

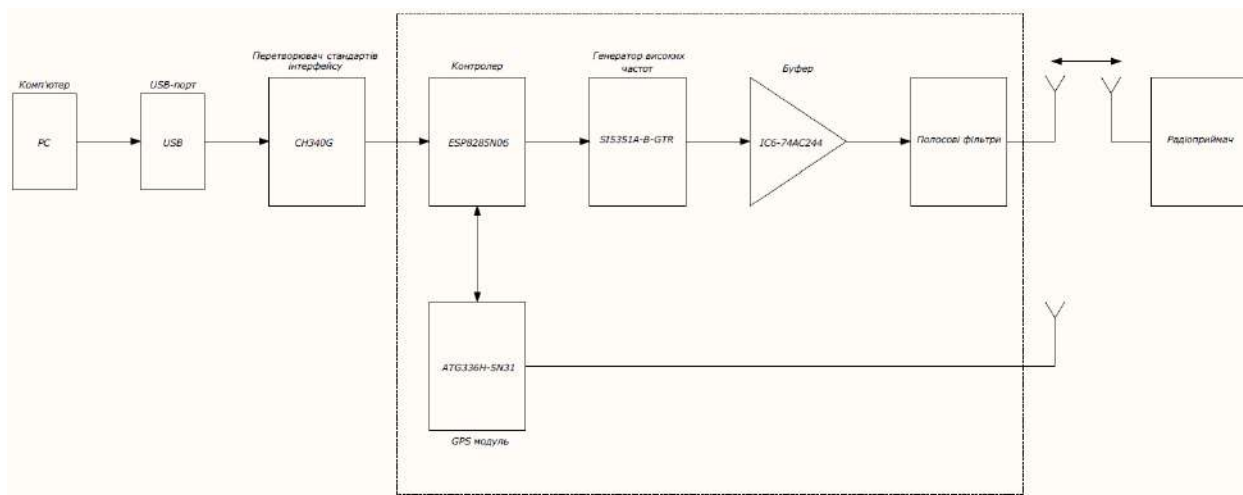


Рисунок 4.2 — Структурна схема передавача

## 4.2 Вибір елементної бази передавача

Вибір основних елементів принципової схеми обумовлено рекомендаціями замовника, можливістю уніфікації, цінovими категоріями, можливістю використання при різних погодних умовах.

### 4.2.1 Контролер

*LGT8F328P LQFP32 MiniEVB*

Таблиця 4.1 — Характеристики контролеру LGT8F328P LQFP32 MiniEVB

Характеристики	LGT8F328P LQFP32
Живлення (В)	1,8...5
Тактова частота (МГц)	16
SRAM/FLASH пам'ять (кБ)	32/2
Таймер	8/16 бітний
GPIO контакти (шт)	14
Аналогові контакти (шт)	8
Інтерфейси	UART/I2C/SPI/SWD
Наявність	В наявності в Україні
Ціна	140 грн

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE21мп.354654.001ПЗ

Лист

34

Таблиця 4.2 — Характеристики контролера STM32F103C8T6 ARM STM32

Характеристики	STM32F103C8T6
Живлення (В)	2...3,6
Тактова частота (МГц)	72
SRAM/FLASH пам'ять (кБ)	64/20
Таймер	8/16 бітний
Кварцовий резонатор (МГц)	8
Наявність	В наявності в Україні
Ціна (грн)	260 + програматор 133

*Arduino Pro Mini 8MHz*Таблиця 4.3 — Характеристики контролера *Arduino Pro Mini 8MHz* [10]

Характеристики	Arduino Pro Mini
Живлення (В)	3,35...12
Тактова частота (МГц)	8
SRAM/FLASH пам'ять (кБ)	32/2
Таймер	8/16 бітний
GPIO контакти (шт)	14 (6-ШИМ)
Аналогові контакти (шт)	8
Інтерфейси	UART/SPI
Наявність	В наявності в Україні
Ціна	115грн

**4.2.2 GPS модуль***ATGM336H-5N31 GPS*Таблиця 4.4 — Характеристики *GPS модулю ATGM336H-5N31* [19]

Характеристики	ATGM336H-5N31
Живлення (В)	3...5
Частота оновлення (Гц)	1...10
Часовий порт	Є часовий порт
Точність (м)	до 2
Наявність	В наявності в Україні
Ціна	315 грн

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

## GY-NEO-6MV2

Таблиця 4.5 — Характеристики GPS модулю GY-NEO-6MV2

Характеристики	ATGM336H-5N31
Живлення (В)	3,3...5
Частота оновлення (Гц)	5
Часовий порт	Є часовий порт
Точність (м)	до 2
Наявність	В наявності в Україні
Ціна	325н

### 4.2.3 Генератор частоти

Таблиця 4.5 — Порівняння генераторів частоти [17]

Характеристики	Si5351A	AD9833
Напруга живлення (В)	3,3...5	2,3...5,5
Діапазон генерованих частот	8кГц...160МГц	0...125МГц
Температурний діапазон (°С)	-30...110°С	-10...120°С
Наявність на ринку	Є в Україні	Є в Україні
Ціна (грн)	169	179

На основі проведених порівнянь аналогів компонентів були обрані наступні елементи нашого пристрою. У ході вибору акцент був на ціні, наявності на українському ринку та обширному діапазону робочих температур, оскільки наш пристрій планується використовувати на відкритому повітрі.

На основі проведених порівнянь аналогів компонентів були обрані наступні елементи нашого пристрою:

*Контролер Arduino Pro Mini 8MHz (Almega328 Controller) [10]*

Дозволяє працювати з зовнішніми пристроями через USB, легко програмується з допомогою програмного забезпечення Arduino, може використовуватись в різних погодних умовах.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РЕ21мп.354654.001ПЗ

Лист

36

### *GPS модуль ATGM336H-5N31 [19]*

Можливість обміну даними між модулем GPS та мікроконтролером, який відбувається за допомогою послідовного порту. Живлення модуля таке ж як і у контролера: від 3,3 В.

### *Широкодіапазонний генератор ANSTX H11 [15]*

Хороші характеристики, внутрішні компенсації зміни температур. Низька ціна та наявність в Україні.

Аналоги наступних компонентів не розглядалися, обирали моделі з найбільш оптимальним співвідношенням ціна/якість

- Перехідник інтерфейсів USB-UART CH349G
- Генератор кварцовий 10...20 MHz ASTX-H11
- Регулятор напруги SC662K
- 8-шинний інтегральний підсилювач 74AC244

## **4.3 Розрахунок фільтрів**

Розрахунок виконано для версії передавача з можливістю моніторинг частот в межах діапазонів роботи штатних засобів зв'язку.

Задані частоти, МГц: 20,929, 29,165, 38,436, 51,324

Розрахунок виконувався з використанням програмного забезпечення Marki Makrovawe [12].

Номінали елементів наведено в Таблиці 4.1

Теорія побудови еліптичних фільтрів Кауера

Еліптичний фільтр (відомий, як фільтр Кауера) - це фільтр характерною особливістю якого є пульсації амплітудно-частотної характеристики як в смузі пропускання, так і в смузі придушення. Величина пульсацій в кожній з смуг не залежить один від одного. Ще однією відмінною особливістю цього фільтра є дуже крутий перепад амплітудної характеристики, завдяки чому

					<b>PE21мп.354654.001ПЗ</b>	<i>Лист</i>
						37
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

вдається досягти більш ефективного поділу частот, ніж у інших лінійних фільтрів (Рис. 1).

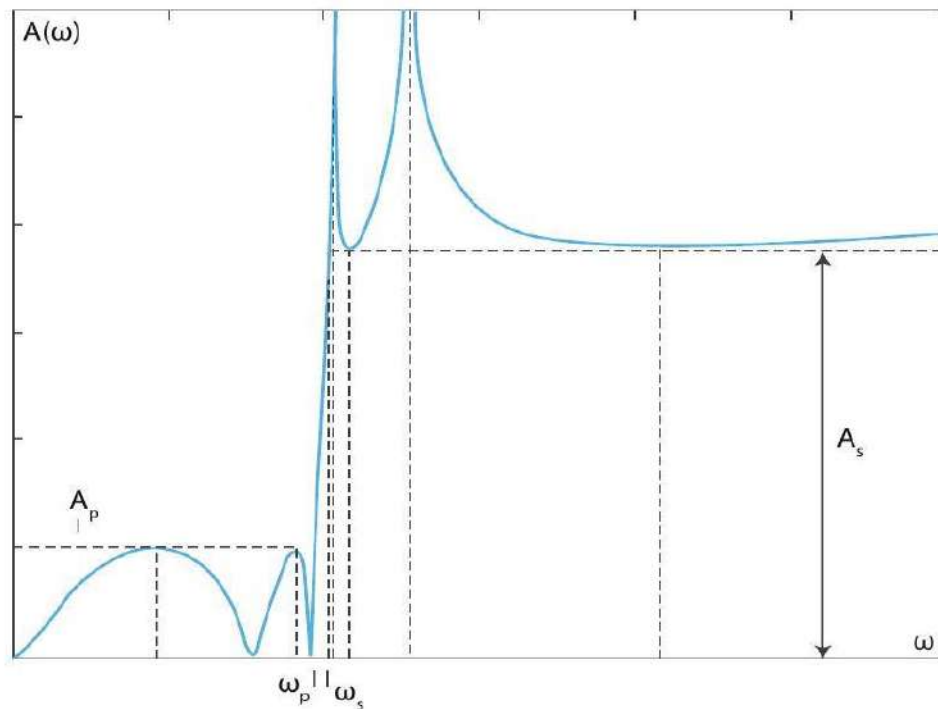


Рисунок. 4.4 — АЧХ фільтру. Частота зрізу 20,929 МГц

Якщо пульсації в смузі придушення дорівнюють нулю, то еліптичний фільтр стає фільтром Чебишева першого роду. Якщо пульсації дорівнюють нулю в смузі пропускання, то фільтр стає фільтром Чебишева другого роду. Якщо пульсацій по всій амплітуді немає, фільтр стає фільтром Баттерворта.

Щоб описати вимоги до конструкції фільтра низьких або високих частот, необхідно визначити чотири різні параметри, а саме: максимальний рівень втрат у смузі пропускання  $A_p$ , мінімальний рівень втрат у смузі загородження  $A_s$ , частотний зріз смуги пропускання  $\omega_p$  і край смуги загородження  $\omega_s$ . Параметри  $A_p$  і  $A_s$  виражені в одиницях дБ співвідносяться з амплітудою нерівномірностей  $\delta_s$  та  $\delta_p$  в смузі пропускання та загородження відповідно наступним чином:

$$A_p = -20 \log \frac{1 - \delta_p}{1 + \delta_p} \quad \text{та} \quad A_s = -20 \log \frac{\delta_s}{1 + \delta_p}$$

Співвідношення  $k = \frac{\omega_p}{\omega_s}$  відоме як коефіцієнт селективності, а два додаткові параметри, які часто використовуються в конструкції фільтра, визначаються як  $\varepsilon = \sqrt{10^{A_p/10} - 1}$  та  $A = 10^{A_s/20}$ .

Амплітудно-частотна характеристика еліптичного фільтра низьких частот є функцією кругової частоти  $\omega$  і задається наступним виразом:

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon_p^2 \mathcal{J}_N^2(\omega, \omega_s, \omega_p, \varepsilon_s, \varepsilon_p)}}$$

Де  $\mathcal{J}_N(\omega, \omega_s, \omega_p, \varepsilon_s, \varepsilon_p)$  – еліптична функція Якобі  $N$ -го порядку, яка визначається по формулі:

$$\mathcal{J}_N(\omega, \omega_s, \omega_p, \varepsilon_s, \varepsilon_p) = \text{sn} \left[ \kappa \text{sn}^{-1} \left( \frac{\omega}{\omega_p}, \frac{\omega_p}{\omega_s} \right) + q \mathbf{K}_1, \varepsilon_p \varepsilon_s \right].$$

У наведеному вище рівнянні функція  $\text{sn}(x, k)$  є еліптичною функцією синуса Якобі з еліптичним модулем  $k$ , символи  $\omega_p$  та  $\omega_s$  описують смугу

пропускання та крайові частоти стоп смуги, тоді як параметр  $\kappa$  залежить від порядку фільтра  $N$  і значення еліптичних інтегралів, пов'язаних з конструкцією фільтра. Що стосується порядку фільтра  $N$ , то він, у свою чергу, залежить від параметрів  $\omega_s$  and  $\varepsilon_s$ . З іншого боку, параметри  $\varepsilon_p$  та  $\varepsilon_s$  є амплітудами пульсацій стоп смуги та смугою пропускання,  $q$  є допоміжною константою, яка дозволяє уніфіковано описувати фільтри непарного ( $q = 0$ ) і парного ( $q = 1$ ) порядку, тоді як  $\mathbf{K}_1$  є повний еліптичний інтеграл першого роду еліптичного модуля  $\varepsilon_p \varepsilon_s$ . Зручно визначити еліптичні модулі  $k_1 = \varepsilon_p \varepsilon_s$  і  $k_2 = \omega_p / \omega_s$ , а також параметри  $\xi = \kappa \text{sn}^{-1}(\omega / \omega_p, \omega_p / \omega_s)$  і  $\zeta = \omega / \omega_p$ , оскільки таким чином ми можемо виразити еліптичну функцію Якобі в простішій формі [25]

$$R_N(\omega, \omega_s, \omega_p, \varepsilon_s, \varepsilon_p) = \text{sn}[\kappa \text{sn}^{-1}(\zeta, k_2) + q \mathbf{K}_1, k_1] = \text{sn}(\xi + q \mathbf{K}_1, k_1)$$

					<b>PE21мп.354654.001ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		39

Як і інші типи фільтрів, еліптичні фільтри можуть бути побудовані як з пасивними, так і з активними елементами схеми. На Рис. 2 наведена схема ФНЧ Кауера.

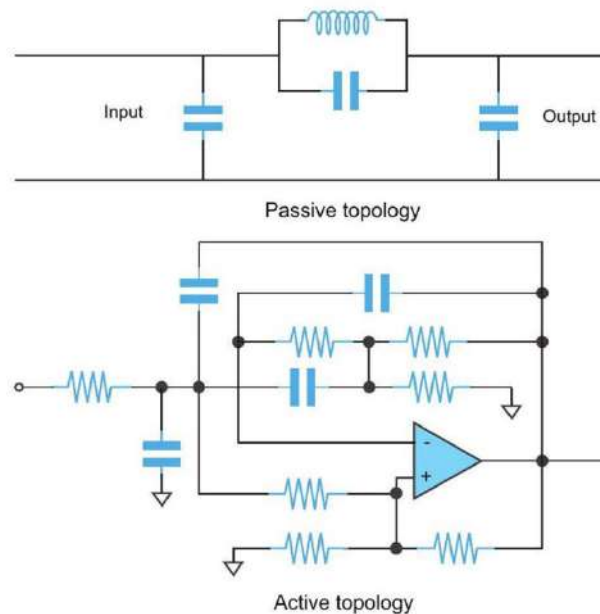


Рис. 4.5 — Пасивний (зверху) і активний (знизу) ФНЧ Кауера [2] третього порядку

З літератури [22,23] відомо, що існують дві основні категорії наближень ідеальних фільтрів, а саме поліноміальні та раціональні наближення. В обох випадках коефіцієнт передачі фільтра для наближення фільтра порядку  $N$  має вигляд:

$$G(\omega) = |\mathcal{H}(j\omega)| = \frac{H_0}{\sqrt{1 + \gamma^2 P_N^2(\omega)}}$$

Вимоги до фільтра дозволяють визначити спочатку порядок фільтру  $N$ . Після цього згідно процедури синтезу фільтру [1,2] записується функція передачі фільтру у вигляді поліномів. Після цього визначаються нулі і полюси функції передачі, що є вихідними даними для розрахунку всіх параметрів компонентів реалізації пасивного фільтру.

Результати розрахунку еліптичного ФНЧ 7-го порядку із смугою пропускання 0 – 20,929 МГц:

					<b>РЕ21мп.354654.001ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		40



Вихідні дані до розрахунку еліптичного ФНЧ:

- смуга пропускання 0 – 20,929 МГц;
- нерівномірність у смузі пропускання, не гірше 0,2 дБ;
- коефіцієнт передачі в смузі затримки, не гірше -50 дБ.

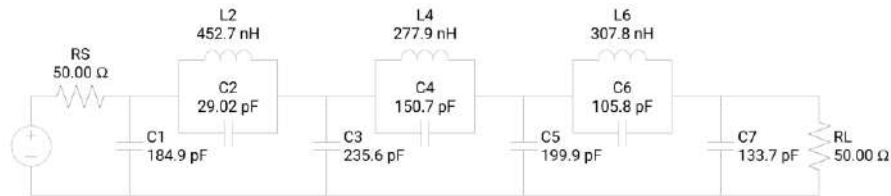


Рис. 4.5 — Схема розрахованого ФНЧ із смугою пропускання 0 – 20,929 МГц.

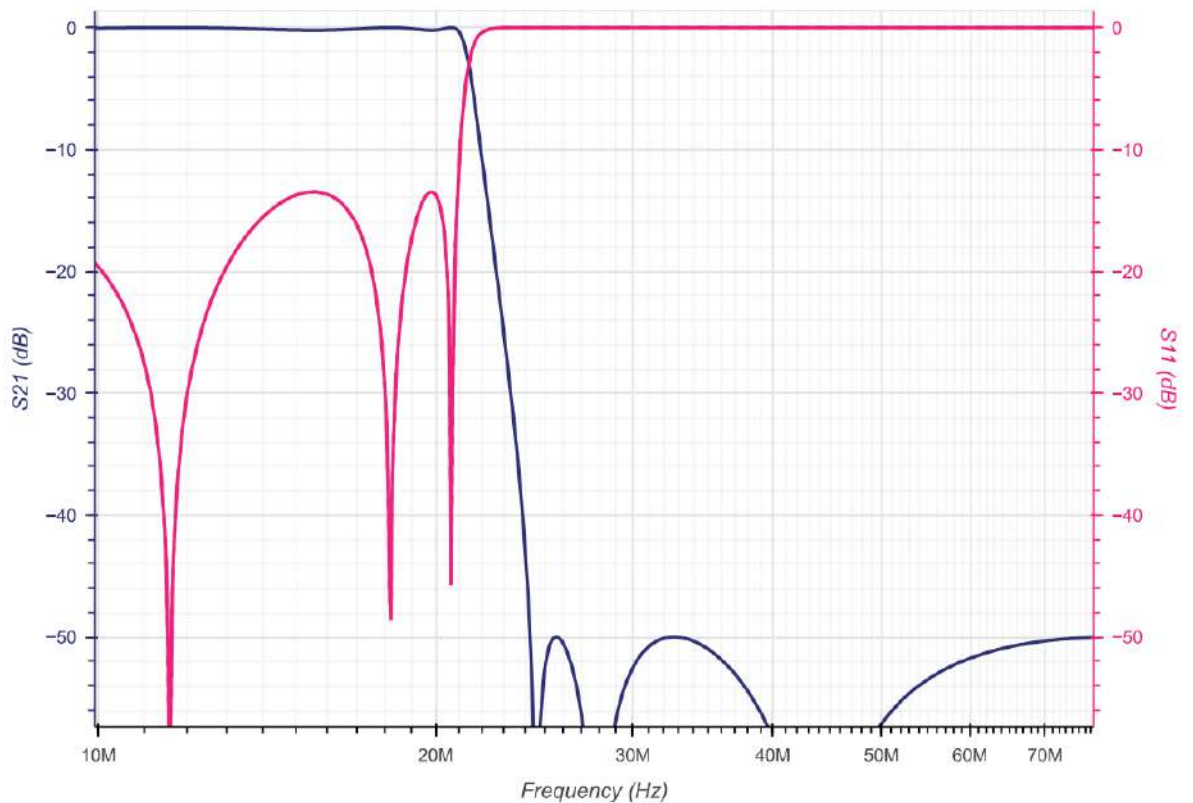


Рис. 4.6 — Частотна характеристика розрахованого ФНЧ із смугою пропускання 0 – 20,929 МГц.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РЕ21мп.354654.001ПЗ

Лист

41

Результати розрахунку еліптичного ФНЧ 7-го порядку із смугою пропускання 0 – 29,165 МГц

Вихідні дані до розрахунку еліптичного ФНЧ:

- смуга пропускання 0 – 29,165 МГц;
- нерівномірність у смузі пропускання, не гірше 0,2 дБ;
- коефіцієнт передачі в смузі затримки, не гірше -50 дБ.

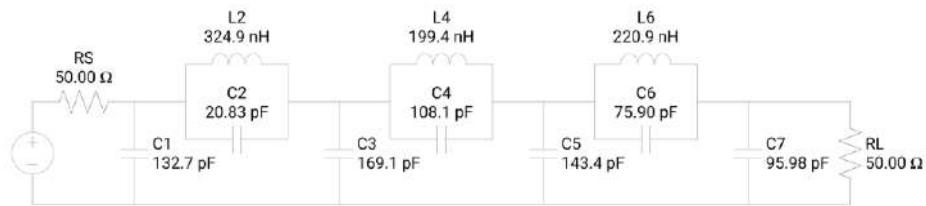


Рис. 4.5 — Схема розрахованого ФНЧ із смугою пропускання 0 – 29,165 МГц.

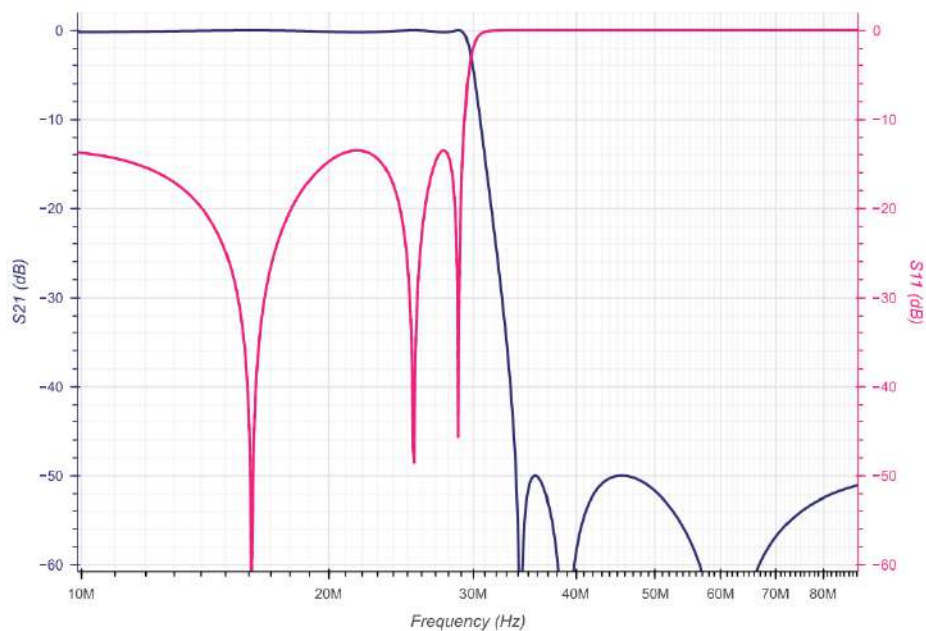


Рис. 4.6 — Частотна характеристика розрахованого ФНЧ із смугою пропускання 0 – 29,165 МГц.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РЕ21мп.354654.001ПЗ

Результати розрахунку еліптичного ФНЧ 7-го порядку із смугою пропускання 0 – 38,436 МГц

Вихідні дані до розрахунку еліптичного ФНЧ:

- смуга пропускання 0 – 38,436 МГц;
- нерівномірність у смузі пропускання, не гірше 0,2 дБ;
- коефіцієнт передачі в смузі затримки, не гірше -50 дБ.

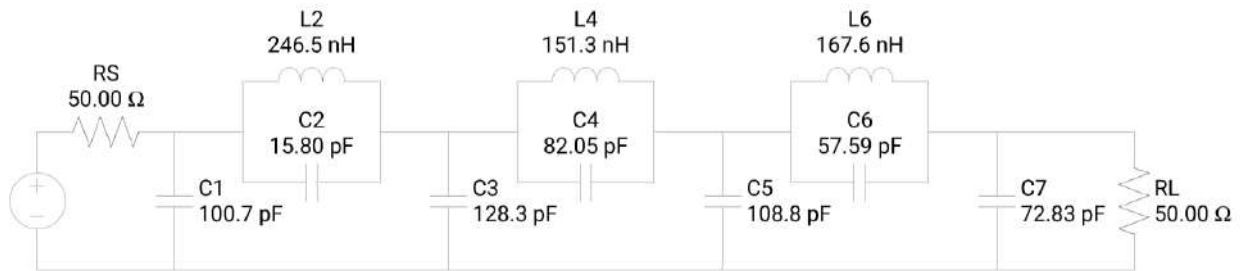


Рис. 4.7 — Схема розрахованого ФНЧ із смугою пропускання 0 – 38,436 МГц.

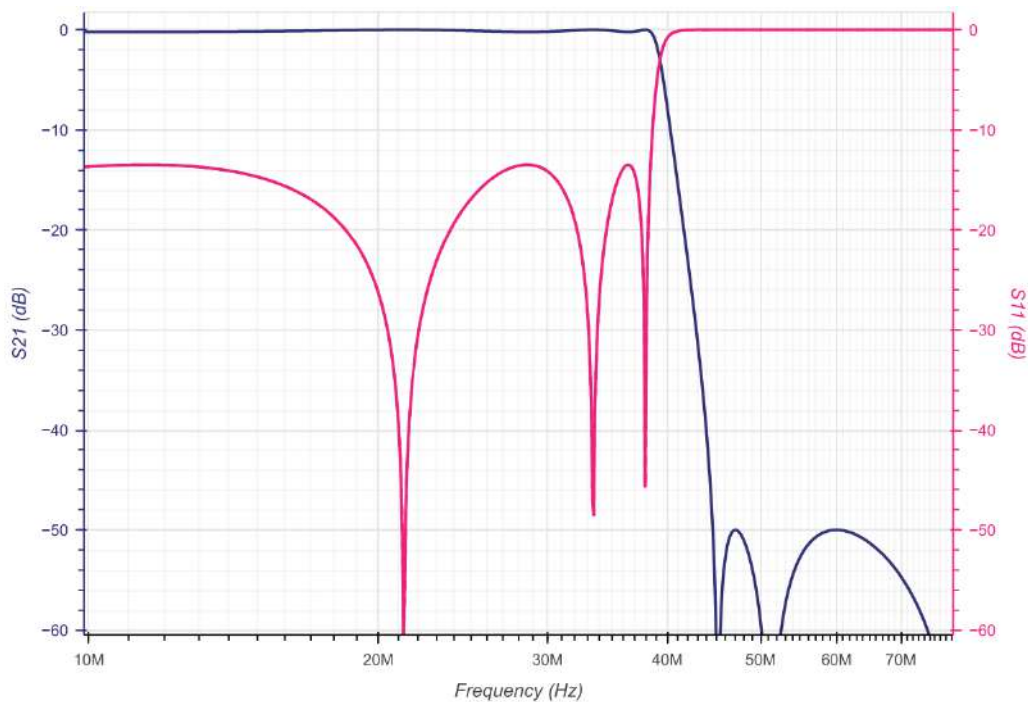


Рис. 4.8 — Частотна характеристика розрахованого ФНЧ із смугою пропускання 0 – 38,436 МГц.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РЕ21мп.354654.001ПЗ

Результати розрахунку еліптичного ФНЧ 7-го порядку із смугою пропускання 0 – 51,324 МГц

Вихідні дані до розрахунку еліптичного ФНЧ:

смуга пропускання 0 – 38,436 МГц;

нерівномірність у смузі пропускання, не гірше 0,2 дБ;

коефіцієнт передачі в смузі затримки, не гірше -50 дБ.

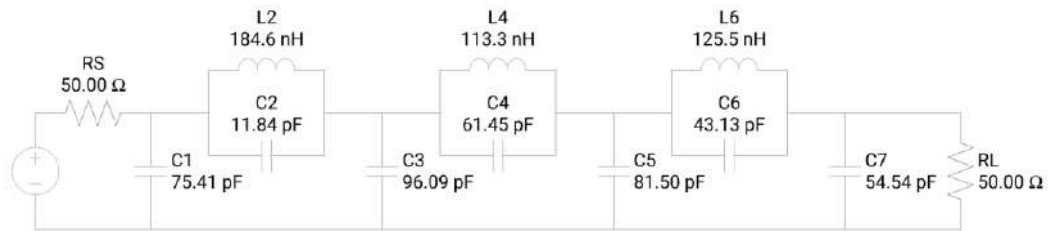


Рис. 4.9 — Схема розрахованого ФНЧ із смугою пропускання 0 – 51,324 МГц.

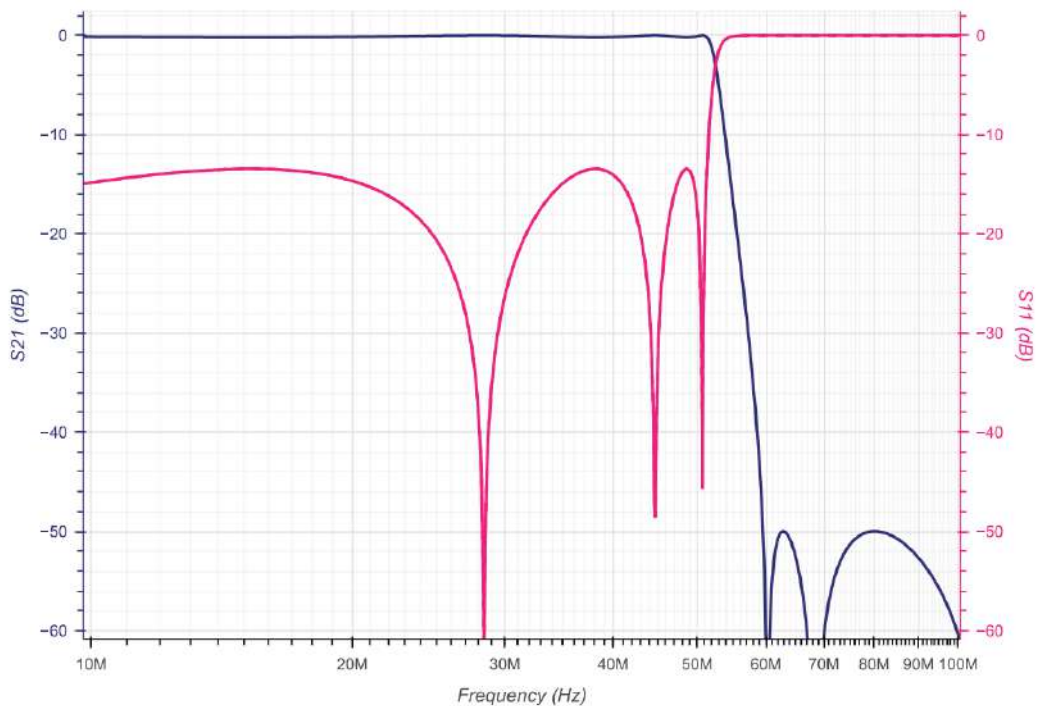


Рис. 4.10 — Частотна характеристика розрахованого ФНЧ із смугою пропускання 0 – 51,324 МГц.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РЕ21мп.354654.001ПЗ

Лист

44

В таблиці 4.1 надані номінали обраних фільтрів на основі виконаних розрахунків. Більш детальна інформація про компоненти в додатку Б

Таблиця 4.1 — Номінали обраних фільтрів

Номінал С/Л	Частота (МГц)			
	20,929	29,165	38,436	51,324
C1	180 пФ	133 пФ	100 пФ	75 пФ
C2	30 пФ	20 пФ	16 пФ	12 пФ
C3	240 пФ	170 пФ	130 пФ	96 пФ
C4	150 пФ	110 пФ	82 пФ	62 пФ
C5	200 пФ	140 пФ	110 пФ	82 пФ
C6	110 пФ	75 пФ	58 пФ	43 пФ
C7	130 пФ	96 пФ	70 пФ	56 пФ
L1	470 нГн	325 нГн	247 нГн	185 нГн
L2	200 нГн	200 нГн	151 нГн	114 нГн
L3	300 нГн	220 нГн	170 нГн	125 нГн

#### 4.4 Конструктивне виконання передавача

Передавач виконано в металевому корпусі.

На передній панелі розміщені роз'єм для підключення антени GPS та гніздо роз'єму micro USB 5 pin для підключення комп'ютеру та два світлодіоди фіксації стану передавача.

На задній панелі розміщено роз'єм SMA для підключення зовнішньої антени.

— Габаритні розміри, мм : 110x80x35

— Вага, гр.: 310

					<b>PE21мп.354654.001ПЗ</b>	Лист
						45
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.4 — Конструктивне виконання передавача

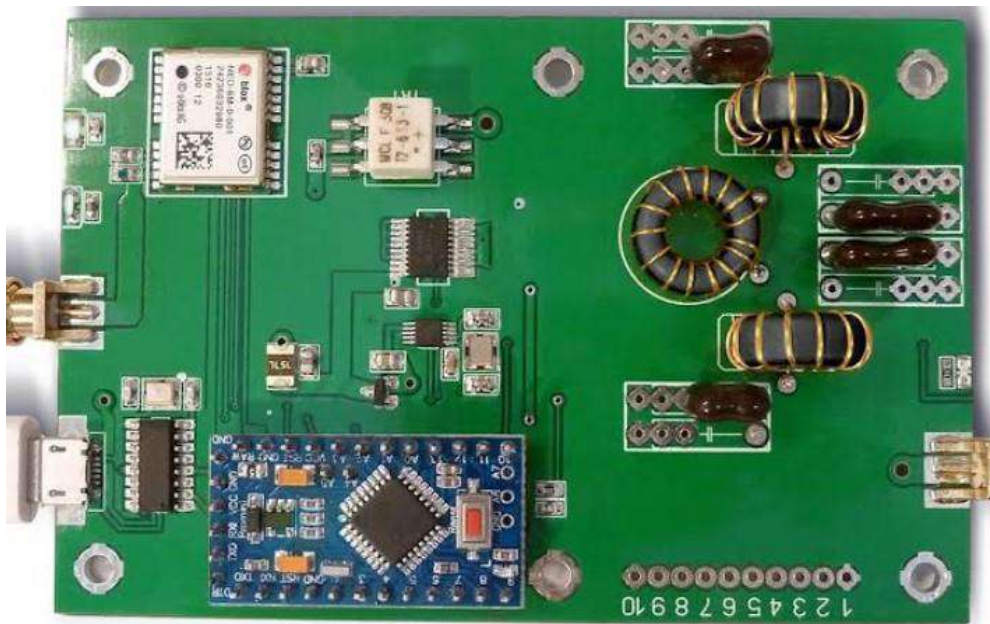


Рисунок 4.4 — Плата передавача

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE21мп.354654.001ПЗ

Лист

46

## 5. ВИПРОБУВАННЯ

### *Мета перевірки*

Оцінка можливості функціонування системи в умовах впливу активних радіоперешкод.

### *Дата та місце проведення перевірки*

26.12.2023, район н.п. Вишневий Хуторок-2, Бориспільський район.

### *Випробувальна апаратура*

Комплекс радіоелектронної боротьби «Буковель-АД» (далі-засіб РЕБ). Засіб РЕБ та Система заздалегідь були розміщені на визначених позиціях. Відстань від зразків обладнання Системи до станції РЕБ складала 6780 м (Рис.1).

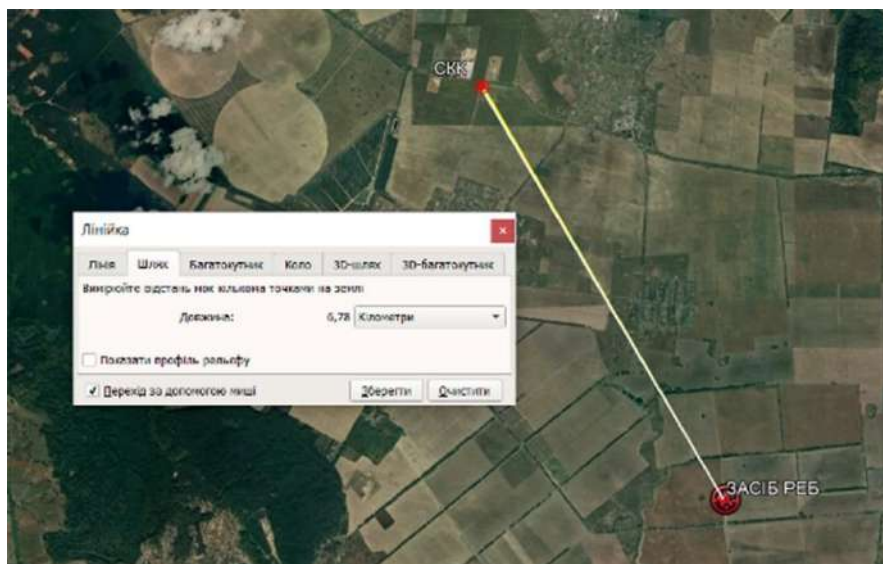


Рисунок 5.1 — Взаємне розташування засобу РЕБ та Системи на місцевості

Постановка активних радіоперешкод засобом РЕБ та їх припинення виконувалось за командами керівника перевірки.

За командою керівника перевірки оператором засобу РЕБ о 14 год. 03 хв. було створено активні радіоперешкоди у діапазоні частот GNSS у напрямку розташування зразків Системи.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РЕ21мп.354654.001ПЗ

Лист

47

Після постановки активної радіоперешкоди у діапазоні частот GNSS відбулось “просідання” кількості супутників, яке зберігалось протягом часу застосування радіоперешкод.

Подавлення призвело до зменшення сигналів GNSS, що не призвело до зриву синхронізації.

#### *Перевірка роботи передавача*

— Дата проведення: 27.12.2023 р.

— Відстань між передавачем та приймачем: 7650 м.

— Місце розташування передавача: р-н н.п. Софіївська Борщагівка.

— Тип антени: АШ-4 з комплекту радіостанції Р-134, висота підвісу антени 2 м., потужність передавача – 0,5 Вт.

— Місце розташування обладнання перевірки: м. Київ, р-н Севастопольської площі. Приймальна антена: диполь. Висота підвісу антени 52 метри.



Рисунок 5.1 — Взаємне розташування передавача та приймального обладнання

Прийом здійснювався з використанням радіостанції YAESU FT-897D, комп’ютер з програмним забезпеченням.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РЕ21мп.354654.001ПЗ

Лист  
48



Частота передачі, МГц - 20.929. Час початку перевірки 07.08. Час закінчення перевірки 07.40.

Перевірялась можливість прийому сигналу з передавача, його рівень в дБ.

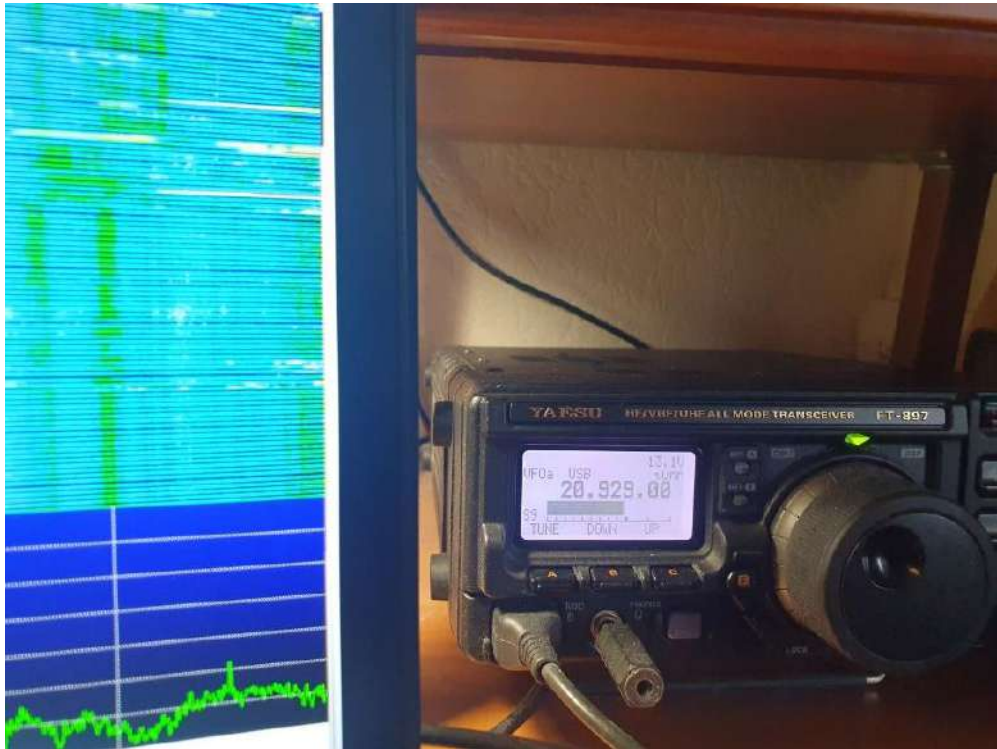


Рисунок 5.3 — Взаємне розташування передавача та приймального обладнання

Перевірки проводилась в умовах сильного впливу індустриальних завод. Рівень сигналу від передавача змінювався від -8 до -13 дБ.

Під час проведення перевірки спостерігався вплив завод високого рівня невідомого походження. Рівень сигналу від передавача знижувався до рівня – 27 дБ. Спостерігалась відсутність декодування при сильному впливі завод та рівні сигналу нижче -27дБ.

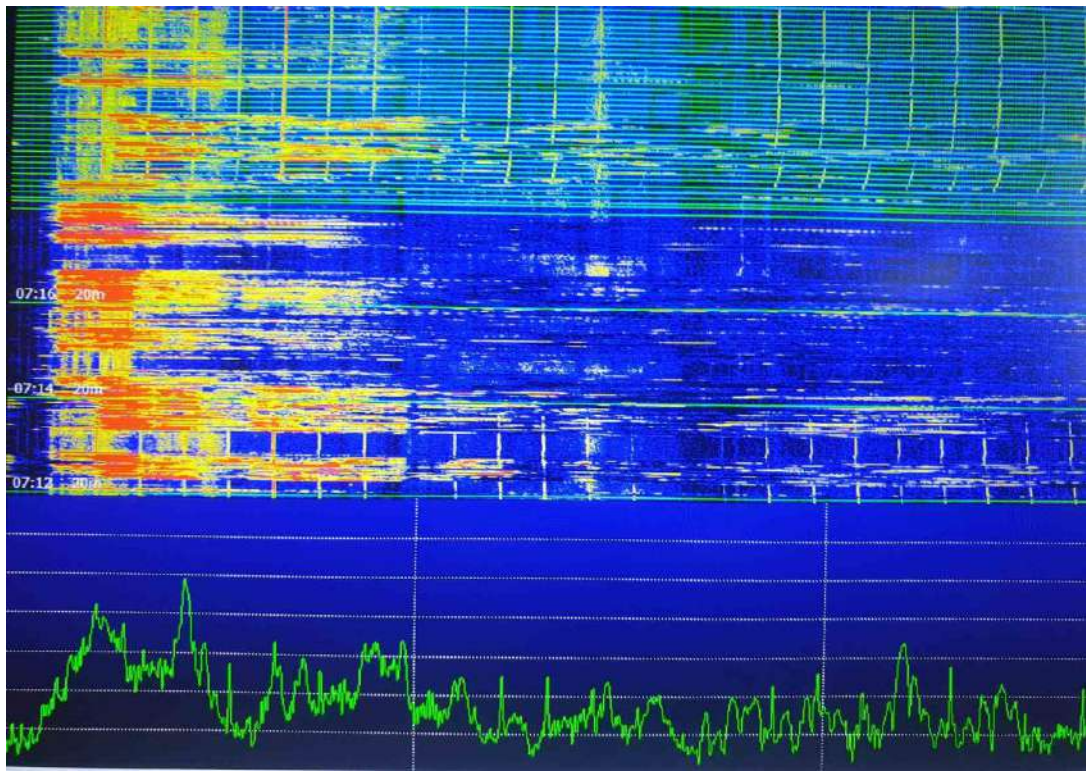


Рисунок 5.4 — Спектри сигналів під час перевірки

*Висновок:* Результати випробувань підтверджують роботу передавача. У зв'язку із особливостями радіочастотного спектру в діапазоні 20-70 МГц з метою підвищення ефективності необхідно забезпечити можливість моніторингу декількох частот.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РЕ21мп.354654.001ПЗ

Лист  
50

## ВИСНОВКИ

Мета роботи - з'ясування можливості проведення заходів з моніторингу радіочастотного спектру для подальшого використання даних при призначенні частот при проведенні сеансів зв'язку між підрозділами.

Попередньо проведено вивчення теми на підставі даних про засоби зв'язку ЗСУ з відкритих джерел, опрацьовано тактико-технічні характеристики, отримана інформація щодо особливостей застосування в залежності від географічних особливостей місцевості, наявності засобів протидії, інша інформації.

Проведено аналіз модуляцій, маніпуляцій та їх спектрів для визначення характеристик, які дозволяють використовувати передачу даних з малими сигналами у вузькій полосі частот.

Використано дані для формування інформаційних повідомлень, доопрацювання підпрограми спеціального програмного забезпечення. Розроблено схему та макет передавача, розраховано фільтри для можливості подальшого використання під час проведення розширених випробувань.

Розроблено макет передавача і проведено випробування системи та передавача окремо в умовах впливу завад. .

На підставі отриманого позитивного результату роботи щодо подальших випробувань будуть продовжені.

					<i>РЕ21мп.354654.001ПЗ</i>	Лист
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		51

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Everything About 4G Modulation Techniques [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://netizzan.com/4g-modulation-technique/>
2. A Method of Reducing Disturbances in Radio Signaling by a System of Frequency Modulation. Proceedings of the IRE / Armstrong, E. H. (May 1936) — 689-700 с.
3. Concepts of Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) and 802.11 WLAN [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/89600b/webhelp/subsystems/wlan-ofdm/content/ofdm\\_basicprinciplesoverview.htm](https://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/89600b/webhelp/subsystems/wlan-ofdm/content/ofdm_basicprinciplesoverview.htm)
4. Радіотехнічні кола та сигнали / Баскаков С. І, (1983) — 77-88 с.
5. Phase Shift Keying Modulation [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Electrical\\_Engineering/Electronics/Microwave\\_and\\_RF\\_Design\\_I\\_-\\_Radio\\_Systems\\_\(Steer\)/02%3A\\_Modulation/2.13%3A\\_Phase\\_Shift\\_Keying\\_Modulation](https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Electrical_Engineering/Electronics/Microwave_and_RF_Design_I_-_Radio_Systems_(Steer)/02%3A_Modulation/2.13%3A_Phase_Shift_Keying_Modulation)
6. QAM [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/QAM>
7. Understanding Quadrature Phase Shift Key modulation [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/quadrature-phase-shift-keying-qpsk-modulation/>
8. Principles of Spread-Spectrum Communication Systems, 4th ed. / Torrieri, Don (2018) — 120-151 с.
9. Frequency Shift Keying – FSK [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://electronicscoach.com/frequency-shift-keying.html#google\\_vignette](https://electronicscoach.com/frequency-shift-keying.html#google_vignette)
10. Arduino Pro Mini [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.arduino.cc/>
11. Згортковий код [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Convolutional\\_code](https://en.wikipedia.org/wiki/Convolutional_code)

					<b>PE21мп.354654.001ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		52

12. Marki microwave [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://markimicrowave.com/technical-resources/tools/lc-filter-design-tool/>
13. Sigidwiki [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.sigidwiki.com/wiki/Database>
14. CH349G [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.mini-tech.com.ua/ch340-usb-uart-preobrazovatel-smd>
15. ASTX-H11 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://filur.net/ru/generator-astx-h11-20-000mhz-t->
16. SC662K datasheet [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1144653/FUMAN/SC662K.html>
17. Si5351A [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://voron.ua/uk/catalog/033757--mikroschema\\_si5351a-b-gtr\\_silabs\\_10-msop\\_10msop](https://voron.ua/uk/catalog/033757--mikroschema_si5351a-b-gtr_silabs_10-msop_10msop)
18. 74AC244 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.alldatasheetru.com/datasheet-pdf/pdf/21728/STMICROELECTRONICS/74AC244.html>
19. ATGM336H-5N31 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://1gurtivnya-elektryky.prom.ua/ua/p1609997746-gps-modul-atgm336h.html>
20. Цифрова модуляція [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://stud.com.ua/171324/tehnika/tsifrova\\_modulyatsiya#google\\_vignette](https://stud.com.ua/171324/tehnika/tsifrova_modulyatsiya#google_vignette)
21. Huffman Coding [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://medium.com/@VigerGames/huffman-coding-made-simple-f32ad42aec42>
22. Hercules G. Dimopoulos Analog Electronic Filters, Springer, 2012.

23. Athanasios I Margaris. A Survey on the Design of Lowpass Elliptic Filters  
 //Article in British Journal of Applied Science & Technology, January 2014  
 DOI: 10.9734/VJAST/2014/10680
24. Організація військового зв'язку / В.Г Шолудько (2017) — 15-60 с.
25. Фільтр Кауера [Електронний ресурс]. — Режим  
 доступу: [https://studopedia.com.ua/1\\_276098\\_filtr-kauera.html](https://studopedia.com.ua/1_276098_filtr-kauera.html)

					<i>PE21мп.354654.001ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		54

## ДОДАТОК А. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

ПОГОДЖЕНО

ЗАТВЕРДЖЕНО

Ст.викладач Михайленко М.В

к.т.н.,доцент Мовчанюк А.В.

(керівник)

(В.о. зав. кафедри ПРЕ)



ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ

«Система моніторингу для забезпечення гарантованого радіозв'язку  
військових підрозділів різного рівня»

Київ – 2024 року

## **1. НАЗВА І ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ**

Назва дипломного проєкту «Система моніторингу для забезпечення гарантованого радіозв'язку військових підрозділів різного рівня»

Підставою для виконання є завдання, видане кафедрою прикладної радіоелектроніки від «01» травня 2023 року

## **2 ВИКОНАВЕЦЬ**

Виконавець — студент групи РЕ-21мп Кириленко Олександр Анатолійович.

## **3 МЕТА ВИКОНАННЯ ДР І ПРИЗНАЧЕННЯ СИСТЕМИ**

Метою дипломної роботи є з'ясування можливості забезпечення моніторингу частот для організації каналів гарантованого сеансу радіозв'язку. Аналіз модуляцій та маніпуляцій з подальшим вибором стійких до завад. Методи захисту від завад при роботі з малими сигналами. Виконання макету передавача та проведення випробувань в умовах впливу завад. Робота виконується в інтересах ЗСУ.

## **4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ**

Система повинна :

Забезпечити роботу з малими сигналами.

Забезпечити можливість програмування даних.

Напруга живлення 5 В.

Можливість роботи із спеціальним програмним забезпеченням.

Забезпечити роботу в умовах впливу завад.

Можливість роботи в автономному режимі.

Використати існуючу елементну базу.

## **5 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ**

Документація оформлюється згідно ДСТУ 3008:2005.



Документація має містити: технічне завдання, Пояснювальну записку, структурну схему, схему електричну принципову

## **6 ОРІЄНТОВНИЙ ЗМІСТ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ**

- Титульний лист
- Завдання на дипломну роботу
- Зміст
- Актуальність проблеми
- 1. Вступ
- 2. Аналіз видів модуляції
- 3. Збиткове кодування
- 4. Розробка системи
- 5. Випробування системи
- Висновки
- Перелік посилань
- Додаток А Технічне завдання
- Додаток Б Перелік елементів
- Додаток В структурна схема
- Додаток Г схема електрична принципова
- Додаток Д код програми

№	Назві етапу	Термін виконання	Форма звітності
1	Огляд існуючих рішень	9.11.23 – 13.11.23	Розділ 1
2	Розробка та аналіз ТЗ	14.11.23 – 18.11.23	Розділ 1
3	Вибір та обґрунтування типу модуляції	19.11.23 – 30.11.23	Розділ 2
4	Збиткове кодування	31.11.23 – 6.12.23	Розділ 3
5	Розробка системи	7.12.23 – 12.12.23	Розділ 4
7	Оформлення документації	12.12.23 – 25.12.23	Креслення і додатки

## **10 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ І МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬСЯ ПІД ЧАС ЗАКІНЧЕННЯ ЕТАПІВ І МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ В ЦІЛОМУ**

Матеріали, які являються проміжними, подаються в вигляді розділів магістерської дисертації на перевірку в зазначені терміни. Після закінчення виконання магістерської дисертації, він надається і захищається комісією.

Виконавець

Кириленко О.А.



Керівник

ст.викл.. Михайленко М.В.

  
Михайленко М.В.

## **ДОДАТОК Б. ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ**

Позн.	Найменування	Кіл.	Примітки
	<u>Мікросхема</u>		
DD1	CH340G	1	
DD2	Arduino Pro Mini 8MHz	1	
DD3	ASTX-H11	1	
DD4	SI5351A	1	
DD5	74AC244	1	
DD6	ATGM336H-5N31	1	
	<u>Конденсатори</u>		
C1	KGM03BR50J105KH – Kyocera AVX 1 мкФ 6,3 В ±10%	1	
C2-C3, C13	ECA1HHG220 – Panasonic 22 мкФ 25 В ± 20%	3	
C4-C6, C9	CL31B104KB8NUNC –Samsung 100 нФ 25 В ± 10%	3	
C7-C8	06036A180JAT2A – Kyocera AVX 18 нФ 6,3 В ±5%	2	
C10	C315C300F3G5TA – Kemet 30 нФ 25В ±1%	1	
C11	C322C151K3G5TA – Kemet 150 нФ 25В ±1%	1	
C12	C320C111F3G5TA – Kemet 110 нФ 25 В ±1%	1	
C14	C324C181G3G5TA – Kemet 180 нФ 25 В ±2%	1	
C15	C318C241K3G5TA – Kemet 240 нФ 25 В ±1%	1	
C16	C315C201F3G5TA – Kemet 200 нФ 25 В ±1%	1	
C17	C328C131F3G5TA – Kemet 130 нФ 25 В ±1%	1	
C18	C0805C200F8HACTU – Kemet 20 нФ 10 В ±1%	1	
C19, C30	0402N171J500NT – Kemet 110 нФ 50 В ±1%	2	
C20, C35	GRM0225C0J750GA02L – Novacap 75 нФ 6,3 В ±2%	2	
C21	08051UVKBJAT2A – Kyocera AVX 133 нФ 10 В ±5%	1	
C22	C0603C131K8RACTU – Novacap 170 нФ 10 В ±10%	1	
C23	08055U141FAT2A – Kyocera AVX 140 нФ 50 В ±1%	1	
C24, C36	08055A960FAT2A – Kyocera AVX 96 нФ 50 В ±1%	2	

<b>PE21MP.354654.001 ПЕ</b>				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Кириленко ОА		
Перевір.		Михайленко МВ		
Реценз.		Турєєва		
Н.Контр				
Затверд.				
<b>Передавач Перелік елементів</b>				
		Лім.	Арк.	Аркушів
			1	3
<b>КПІ ім. Ігоря Сікорського, РТФ</b>				



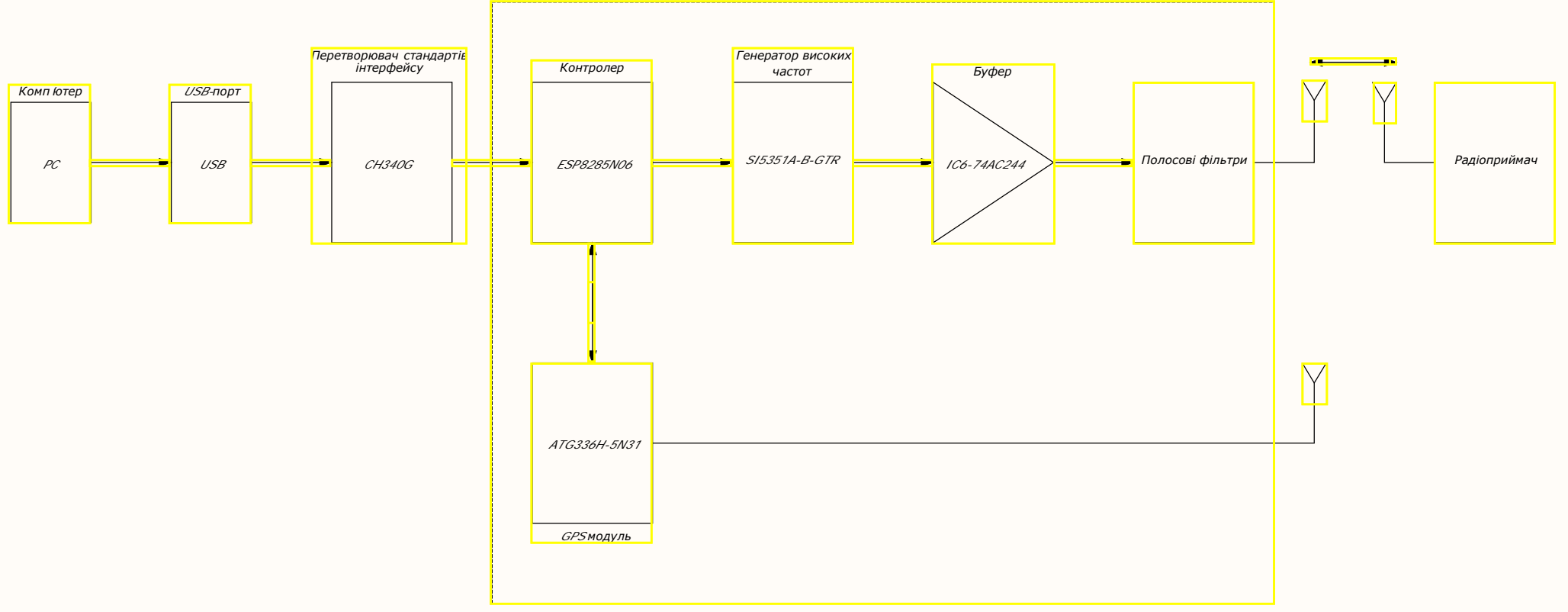


## **ДОДАТОК В. СТРУКТУРНА СХЕМА**

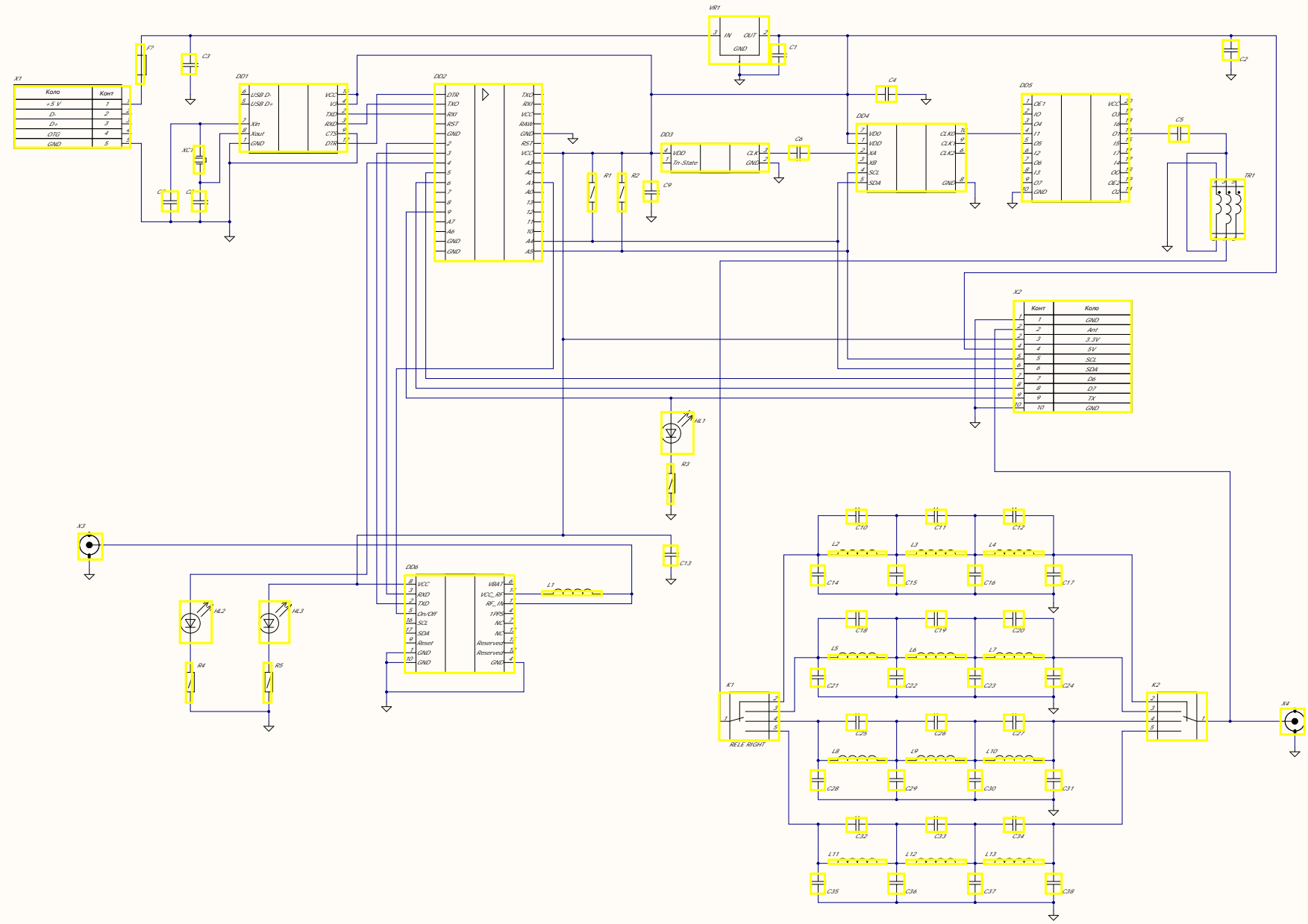
## **ДОДАТОК Г. СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА**



## **ДОДАТОК Г. КОД ПРОГРАМИ**



					<b>PE2MP.354654.001 E1</b>					
					<b>Система моніторингу</b>			Літ.	Маса	Масштаб
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.	Кириленко				Структурна схема					
Перев.	Михайленко									
Т. контр.								Лист *	Листів *	
Н. контр.								НТУУ КПІ РТФ		
Затв.	Михайленко									



Конт	Конт
1	+5 V
2	D-
3	D+
4	DTE
5	GND

Конт	Конт
1	GND
2	AV
3	3.3V
4	5V
5	SC2
6	SCM
7	DN
8	D2
9	TX
10	GND

PE 21.425723.001E 1				Лит.	Маса	Масштаб
Вн. лист	№ докум.	Підпис	Дата	Передавач		
Розроб.	Кириленко			Лист - Листів -		
Перев.	Михайленко			НТУУ КПІ РТФ		
І. контр.				Коплювач		
Дата	Михайленко			Формат А 1		

```

// RTFA Transmitter from AD9851
//
// AD9851 Code
//
// GPS provided by TinyGPS
// here: http://arduiniana.org/libraries/tinygps/
//

// DDS Reference Oscilliator Frequency, in Hz. (Remember, the PLL).
#define DDS_REF 180000000

// DDS Offset in Hz
#define DDS_OSET 164 //DDS #2

// RTFR Output Frequency
#define RTFA_TX_A 20.929000e6 // this is the bottom of the band. The
station moves about.
#define RTFA_TX_B 29.165000e6 // this is the bottom of the band. The
station moves about.

#define RTFA_DUTY 3 // transmit every N slices.

// BUNKER: A1AAA 30dbm (1000mw)
// RTFA Tone Data - line breaks in no parciular place, just to look
pretty. (0-161).
static byte RTFR_DATA_BUNKER[] =
{3,1,0,2,0,0,0,0,1,0,2,2,3,3,1,0,2,2,1,2,2,3,0,3,1,1,3,2,2,0,0,0,0,0,
1,2,2,1,0,3,3,0,2,2,0,2,3,2,1,3,0,2,3,3,2,3,0,2,0,3,3,2,3,0,2,0,0,3,1
,0,1,2,1,2,3,2,3,0,0,3,2,2,3,0,3,3,0,2,0,1,3,0,3,0,3,2,2,0,3,2,2,2,0,
0,3,0,2,1,2,2,1,1,1,2,1,3,0,2,1,1,2,3,0,0,0,3,1,1,2,2,2,2,0,0,3,2,1,0
,0,1,1,2,0,0,2,2,2,2,3,1,2,3,2,1,3,2,2,2,2,3,1,2,2,}; // 162 bits

//HOME: A1AAA 23dbm (200mw)
static byte RTFA_DATA_HOME[] =
{3,3,0,0,2,0,2,0,1,0,2,0,1,3,1,2,2,2,3,0,2,1,2,3,1,1,1,2,0,0,0,2,0,

2,3,0,0,1,2,1,2,2,0,0,2,2,3,0,1,1,2,2,3,3,2,1,2,2,0,1,3,0,3,2,2,0,2,3,3,0
,3,0,3,0,3,0,

1,0,2,3,2,2,3,2,3,1,0,2,2,1,1,2,1,0,3,0,2,2,1,2,0,0,0,0,1,2,2,1,0,2,3,3,1
,0,3,3,0,2,1,

1,0,3,0,0,2,3,3,3,2,0,0,0,0,3,0,3,2,2,3,1,0,2,0,0,2,2,2,3,3,2,3,2,3,3,2,0
,0,3,1,0,2,2}; // 162 bits

#define RTFA_DATA RTFA_DATA_HOME

// DDS/Arduino Connections
#define DDS_LOAD 8
#define DDS_CLOCK 9
#define DDS_DATA 10
#define LED 13
#define GPS_LED 12

// Libraries
#include <stdint.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <TinyGPS.h>

// GPS Stuff

```

```

TinyGPS gps;
SoftwareSerial nss(3, 4); //GPS RX 3, TX 4

// Variables
unsigned long RTFA_TXF = 0;
unsigned long startT = 0, stopT = 0;
int year;
byte month, day, hour, minute, second, hundredths, Nsatellites, ret,
duty, band;
unsigned long fix_age, fail;
char sz[32];

void setup()
{
  // Set all pins to output states
  pinMode (DDS_DATA, OUTPUT);
  pinMode (DDS_CLOCK, OUTPUT);
  pinMode (DDS_LOAD, OUTPUT);
  pinMode (LED, OUTPUT);
  pinMode (GPS_LED, OUTPUT);

  // Setup RS232
  Serial.begin(4800);
  //nss.begin(4800);

  sprintf(sz, "\nA1AAA Compiled %s %s", __TIME__, __DATE__);
  Serial.println(sz);

  Serial.print("\n\nDDS Reset ");
  delay(900);
  frequency(0);
  delay(100);
  Serial.println("OK");

  duty = 0;
}

void loop()
{
  fail++;
  ret = feedgps();

  if (fail == 60000) {
    digitalWrite (GPS_LED, LOW);
    Serial.println("GPS: No Data.");
  }

  if (ret>0) {
    Nsatellites = gps.satellites();
    gps.crack_datetime(&year, &month, &day, &hour, &minute, &second,
&hundredths, &fix_age);
    if (fix_age == TinyGPS::GPS_INVALID_AGE) {
      Serial.println("GPS: No Fix.");
      digitalWrite (GPS_LED, LOW);
    } else {
      digitalWrite (GPS_LED, HIGH);
      sprintf(sz, "Date %02d/%02d/%02d, Time %02d:%02d:%02d (Sats: %02d,
WSPR Duty: %d, GPS Age: %lu ms, GPS Feed: %lu).", day, month, year, hour,
minute, second, Nsatellites, (duty % WSPR_DUTY), fix_age, fail);

```

```

Serial.println(sz);

if(band % 2 == 0) {
    RTFA_TXF = (RTFA_TX_A+DDS_OSET) + random(10, 190); // always
choose a frequency, it mixes it all up a little with the PRNG.
} else {
    RTFA_TXF = (RTFA_TX_B+DDS_OSET) + random(10, 190); // always
choose a frequency, it mixes it all up a little with the PRNG.
}

if ( (minute % 2 == 0) && (second >= 1) && (second <= 4) ) { //
start transmission between 1 and 4 seconds, on every even minute
    if (duty % WSPR_DUTY == 0) {
        Serial.print("Beginning RTFA Transmission on ");
        Serial.print(RTFA_TXF-DDS_OSET);
        Serial.println(" Hz.");
        rtfatX();
        duty++;
        band++;
        Serial.println(" Transmission Finished.");
    } else {
        duty++;
        digitalWrite (LED, LOW);
        digitalWrite (GPS_LED, LOW);
        delay(5000); // so we miss the window to start TX.
        flash_led(Nsatellites, GPS_LED); // flash the number of GPSes
we have.
        flash_led(RTFA_DUTY, LED); // flash the RTFR duty.
    }
}
digitalWrite (LED, HIGH);
delay(250);
digitalWrite (LED, LOW);
delay(250);
}
fail = 0;
}
}

void frequency(unsigned long frequency) {
    unsigned long tuning_word = (frequency * pow(2, 32)) / DDS_REF;
    digitalWrite (DDS_LOAD, LOW); // take load pin low

    for(int i = 0; i < 32; i++) {
        if ((tuning_word & 1) == 1)
            outOne();
        else
            outZero();
        tuning_word = tuning_word >> 1;
    }
    byte_out(0x09);
    digitalWrite (DDS_LOAD, HIGH); // Take load pin high again
}

void byte_out(unsigned char byte) {
    int i;

    for (i = 0; i < 8; i++) {
        if ((byte & 1) == 1)
            outOne();
        else

```

```

        outZero();
        byte = byte >> 1;
    }
}

void outOne() {
    digitalWrite(DDS_CLOCK, LOW);
    digitalWrite(DDS_DATA, HIGH);
    digitalWrite(DDS_CLOCK, HIGH);
    digitalWrite(DDS_DATA, LOW);
}

void outZero() {
    digitalWrite(DDS_CLOCK, LOW);
    digitalWrite(DDS_DATA, LOW);
    digitalWrite(DDS_CLOCK, HIGH);
}

void flash_led(unsigned int t, int l) {
    unsigned int i = 0;
    if (t > 25) {
        digitalWrite(l, HIGH);
        delay(2000);
        digitalWrite(l, LOW);
    } else {
        for (i=0;i<t;i++) {
            digitalWrite(l, HIGH);
            delay(250);
            digitalWrite(l, LOW);
            delay(250);
        }
    }
}

void rtfaTXtone(int t) {
    if ((t >= 0) && (t <= 3) ) {
        frequency((RTFA_TXF + (t * 2))); // should really be 1.4648 Hz not 2.
    } else {
        Serial.print("Tone #");
        Serial.print(t);
        Serial.println(" is not valid. (0 <= t <= 3).");
    }
}

void rtfaTX() {
    int i = 0;

    digitalWrite(LED, HIGH);
    for (i=0;i<162;i++) {
        rtfrTXtone( RTFAPR_DATA[i] );
        delay(682);
    }
    frequency(0);
    digitalWrite(LED, LOW);
}

static bool feedgps()
{
    while (Serial.available()) {
        if (gps.encode(Serial.read())) {
            return true;
        }
    }
}

```

```
    }  
  }  
  return false;  
}
```