

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

«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Інтелектуальні технології

радіоелектронної техніки»

зі спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка

на тему: «Програмно-визначене радіо для застосування у радіорозвідці»

Виконав: студент (-ка) 2 курсу, групи РЕ-31мп

Красовський Борис Володимирович

(Прізвище ім'я по батькові)

Керівник: к.т.н. доцент Шульга А.В.

(Посада, науковий ступінь, вчене звання)

Рецензент _____

(Посада, науковий ступінь, вчене звання)

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

Студент _____

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 Електронні комунікації та радіотехніка

Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.зав.кафедри

_____ Андрій МОВЧАНЮК

« » 2024р.

ЗАВДАННЯ на магістерську дисертацію студента

Красовський Борис Володимирович

(Прізвище ім'я по батькові)

1.Тема дисертації: Програмно-визначене радіо для застосування у радіорозвідці»

науковий керівник дисертації: к.т.н. Шульга А.В.

затверджені наказом по університету від «08» листопада 2024 р. № 5024-с

2. Термін подання студентом дисертації 09 грудня 2024 року

3. Об'єкт дослідження: використання програмно-визначеного радіо для ведення радіорозвідки

4. Предмет дослідження: методи налаштування та автоматизації під час роботи з програмно-визначеним радіо

5. Перелік завдань, які потрібно виконати:

1) Аналіз основних ворожих засобів зв'язку. Їхніх характеристик, та елементної бази на якій вони побудовані;

2) Аналіз існуючих рішень програмно-визначеного радіо,

- 2) Вибір обладнання та засобів програмно-визначеного радіо для ведення радіорозвідки,
- 3) Дослідження можливостей використання програмно-визначеного радіо для ведення радіорозвідки,
- 4) Практична реалізація здійснення радіорозвідки за допомогою програмно-визначеного радіо
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Презентація у форматі PowerPoint
7. Орієнтовний перелік публікацій:
8. Дата видачі завдання 05 вересня 2024 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Отримання теми магістерської дисертації	05.09.2024	
2	Розробка плану магістерської дисертації	10.09. 2024	
3	Початок збору інформації для дослідження	20.09.2024-04.10.2024	
4	Аналіз існуючих рішень програмно-визначеного радіо	05.10.2024-09.10.2024	
5	Вибір обладнання та засобів	10.10.2024-14.10.2024	
6	Дослідження можливостей використання програмно-визначеного радіо для ведення радіорозвідки	15.10.2024-24.10.2024	
7	Практична реалізація здійснення радіорозвідки за допомогою програмно-визначеного радіо	25.10.2024-10.11.2024	
8	Оформлення магістерської дисертації	11.11.2024-13.12.2024	

Студент

Науковий керівник



Красовський Б.В.

Шульга А.В.

АНОТАЦІЯ

Робота складається зі вступу, п'ятих розділів, висновків, списку літератури з 28 позицій. Загальний обсяг роботи становить 82 сторінки, з яких основний зміст роботи викладено на 78 сторінках, робота включає 58 рисунків.

Мета дослідження: створення програмно-апаратного комплексу на основі програмно-визначеного радіо, яке застосовується для здійснення цілодобової радіорозвідки.

Для досягнення вказаної мети потрібно вирішити такі завдання:

- Визначити тип та характеристики основних засобів зв'язку, які використовує ворог в зоні ведення радіорозвідки;
- Дослідити існуючі методи та засоби для ведення радіорозвідки;
- Проаналізувати ефективність існуючих методів та апаратного забезпечення для успішного виконання поставлених завдань у радіорозвідці;
- Обрати найбільш ефективні та доступні засоби для ведення цілодобового радіомоніторингу та радіорозвідки відповідно до поставлених задач та типів засобів, що застосовує ворог в зоні відповідальності;
- Визначити перелік необхідного обладнання для ведення цілодобового радіомоніторингу та радіорозвідки;
- Виконати радіомоніторинг та радіорозвідку в зоні відповідальності;
- Виконати аналіз отриманих даних, проаналізувати ефективність та доцільність застосування обраних засобів ведення радіорозвідки.

Об'єктом дослідження є використання програмно-визначеного радіо для здійснення радіорозвідки.

Предметом дослідження є методи налаштування та автоматизації під час роботи з програмно-визначеним радіо.

Методами дослідження є аналіз існуючих доступних цивільних засобів для оцінки радіо обстановки та пошук можливостей, для застосування даних засобів під час ведення радіомоніторингу поблизу та на полі бою, ведення ефективної радіорозвідки. Важливою частиною дослідження є пошук шляхів вдосконалення можливостей обраних засобів, а саме їхніх характеристик,

надійності, та ефективності. Крім того, важливим аспектом даного дослідження є можливість застосування набутих знань протягом навчання під час виконання реальних бойових завдань.

Ключові слова: *PEP, SDR, програмно-визначене радіо, приймач, антена, обробка даних, автоматизоване робоче місце, перехоплення, аналіз.*

ABSTRACT

The work consists of an introduction, five sections, conclusions, and a literature list with 28 references. The total volume of the work is 82 pages, of which the main content is presented on 78 pages, and the work includes 58 figures.

The aim of the research is to create a software-hardware complex based on software-defined radio, which will be used for conducting round-the-clock radio reconnaissance. The practical value of the work lies in significantly increasing the effectiveness of electronic intelligence units, as well as reducing the cost of monitoring the radio spectrum and conducting electronic reconnaissance activities.

To achieve this goal, the following tasks must be accomplished:

- Identify the type and characteristics of the main communication means used by the enemy in the area of radio reconnaissance operations;
- Investigate existing methods and means for conducting radio reconnaissance;
- Analyze the effectiveness of existing methods and hardware for successfully executing the set tasks in radio reconnaissance;
- Select the most effective and accessible means for conducting round-the-clock radio monitoring and reconnaissance according to the tasks and types of resources that the enemy employs in the area of responsibility;
- Determine the list of necessary equipment for conducting round-the-clock radio monitoring and reconnaissance;
- Perform radio monitoring and reconnaissance in the area of responsibility;
- Analyze the obtained data, evaluating the effectiveness and appropriateness of the selected means of conducting radio reconnaissance.

The object of the research is the use of software-defined radio for carrying out radio reconnaissance.

The subject of the research is the methods of tuning and automation during work with software-defined radio.

The research methods involve analyzing existing available civil means for assessing the radio situation and searching for opportunities to apply these means during radio monitoring near and on the battlefield, and conducting effective radio

reconnaissance. An important part of the research is finding ways to improve the capabilities of the selected means, specifically their characteristics, reliability, and effectiveness. Moreover, an important aspect of this study is the ability to apply the acquired knowledge during training while performing real combat tasks.

Keywords: *RER, SDR, software-defined radio, receiver, antenna, data processing, automated workplace, interception, analysis.*

ЗМІСТ

Анотація.....	5
Зміст	9
Вступ.....	12
1 Радіоелектронна розвідка задачі та виклики сьогодення.....	13
1.1 Загальні дані про воєнну розвідку	13
1.2 Радіорозвідка.....	13
1.3 Види електронної розвідки	14
1.4 Радіорозвідка в Силах оборони України	21
1.5 Роль іноземної допомоги.....	23
1.6 Технології ведення радіоелектронної розвідки.....	23
2 Огляд типових засобів зв'язку противника у російсько-українській війні..	26
3 Застосування цивільних SDR приймачів та вимірювального обладнання для організації радіорозвідки	40
3.1 Огляд елементної бази SDR приймачів.....	41
3.2 Огляд існуючих SDR приймачів.....	48
3.3 Огляд вимірювального обладнання.....	55
4 Вибір складових приймального тракту для виконання радіомоніторингу та радіорозвідки	59
4.1 Вибір типу антен.....	59
4.2 Вибір радіочастотного кабелю.....	62
5 Робота з програмним забезпеченням.....	66
5.1 GNU Radio.....	66
5.2 SDR#.....	69
5.3 GQRX	73

5.4 SDRangel	76
5.5 RTLSDR Scanner	77
Висновки	80

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

AI - застосування штучного інтелекту (Artificial Intelligence).

ELINT - electronic intelligence (радіотехнічна розвідка).

Ethernet – протокол передачі даних у комп'ютерних мережах.

EW – electronic warfare (радіоелектронна боротьба).

LVDS - Low Voltage Differential Signaling.

PCIe – послідовний інтерфейс для підключення периферійних пристроїв (Peripheral Component Interconnect Express).

SDR - Software-defined radio (програмно-визначене радіо).

SIGINT - Signals intelligence (радіоелектронна розвідка).

UART– асинхронний приймач-передавач (Universal Asynchronous Receiver Transmitter).

USB – універсальна послідовна шина (Universal Serial Bus).

АЦП – аналого-цифровий перетворювач.

АРМ – автоматизоване робоче місце.

KCX – коефіцієнт стоячої хвилі.

ОЗП (SDRAM) – оперативний запам'ятовувальний пристрій із довільним доступом (Static Random-Access Memory).

ПЛІС - Програмована логічна інтегральна схема.

РЕБ – радіоелектронна боротьба.

РЕР – радіоелектронна розвідка.

ВСТУП

Українські фахівці радіоелектронної розвідки завжди високо цінувались за досконале знання своєї справи, інноваційні підходи та пошук нових рішень для підвищення ефективності своєї роботи

На тлі повномасштабної війни з Росією радіорозвідка вкотре стала критично важливим елементом для оборони України. Зокрема, нашими фахівцями застосовуються новітні засоби радіоелектронної розвідки (РЕР), які забезпечують цілодобовий моніторинг радіо обстановки, неспинно ведуть радіорозвідку, накопичують та аналізують зразки сигналів, як засобів зв'язку, так і сигнали різноманітних безпілотних систем.

Важливою задачею для радіо розвідників є ідентифікація позицій та техніки ворога. Ці цілі досягаються за допомогою радіопеленгації – точного визначення розташування джерел радіовипромінювання, які одразу можуть бути віднесені до ворожих, або ж потребуватимуть додаткової дорозвідки за допомогою інших засобів розвідки. Крім того, в сфері відповідальності фахівців РЕР, є робота по виявленню та відслідковуванню активності систем ворога, та його пунктів управління.

Враховуючи вище викладене, потреба пошуку нових рішень для ведення ефективної радіорозвідки, або ж пошук можливих шляхів вдосконалення існуючих систем та засобів постає особливо гостро. Саме тому, в даній магістерській роботі буде проведено аналіз існуючих рішень для ведення радіорозвідки за допомогою доступних цивільних SDR приймачів, а також здійснено пошук можливих шляхів підвищення ефективності застосування даного типу пристроїв.

1 РАДІОЕЛЕКТРОННА РОЗВІДКА ЗАДАЧІ ТА ВИКЛИКИ СЬОГОДЕННЯ

1.1 Загальні дані про воєнну розвідку

Воєнна розвідка – це безперервний контрольований процес збору, глибокого аналізу та інтерпретації інформації, що стосується противника, як ймовірного, так і фактичного, з метою підтримки воєнних операцій і ухвалення стратегічних, оперативних і тактичних рішень. Воєнна розвідка охоплює безліч аспектів.

Серед основних задач, що постають перед розвідкою, безперечно є: збір інформації, що включає в себе отримання даних про розташування, сили, слабкі та сильні сторони противника та його наміри.

Обробка зібраної інформації дозволяє виявляти загрози та тенденції, утворення нових загроз. Аналіз може включати обробку інформації з різних джерел, таких як технічні засоби, агентури або відкриті джерела.

Заходи, що входять до комплексу заходів воєнної розвідки дозволяють виконувати оцінку поточних дій, та прогнозувати майбутні дії противника спираючись на дані, які були отримані в той, чи інший спосіб. Прогнозування дозволяє військовим планувати свої дії з урахуванням потенційних загроз.

1.2 Радіорозвідка

Радіорозвідка — це вид воєнної розвідки, що полягає у оцінці раді обстановки, перехопленні, аналізі та інтерпретації радіосигналів, які випромінюють сучасні радіоелектронні пристрої та засоби. Радіорозвідка дає можливість отримувати важливу інформацію про типи радіоелектронних засобів та пристроїв, що використовує ворог, наприклад: засобів зв'язку, а також безпілотних літальних та наземних систем, що особливо актуально на даний момент.

Крім того, професійне застосування сучасних засобів радіорозвідки дає можливість отримання точних даних щодо розташування, дій, планів та

ресурсів ворога без прямого візуального контакту, та взагалі необхідності входу в зону прямого ворожого вогневого ураження.

Основні задачі радіорозвідки включають:

1. **Перехоплення радіосигналів** – це процес отримання радіо сигналів, що випромінюються в ефір, засобами зв'язку, безпілотними літальними, та наземними системи, тощо.

2. **Аналіз сигналів** – це процес визначення характеристик сигналу, його частоти, ширини, амплітуди, типу модуляцій та інших параметрів.

3. **Ідентифікація джерела радіовипромінювання** – це процес ідентифікації сигналів, їхнього розрізнення відповідно до їхніх параметрів. Цей процес, зокрема, дозволяє виконати прив'язку перехопленого сигналу до конкретного типу пристроїв, а в подальшому до конкретного терміналу, чи іншого типу радіопередавача.

4. **Встановлення місцезнаходження** – це процес, що полягає у визначенні координат джерел радіовипромінювання на основі аналізу перехоплених сигналів. Основним принципом визначення координат джерел радіовипромінювання є принцип триангуляції.

5. **Дешифрування** – полягає у глибокому аналізі перехопленого радіосигналу, оцінці його характеристик, визначення типу шифрування даних та пошук можливостей зворотного процесу розкодування для отримання .

Радіорозвідка широко застосовується у воєнних цілях, але також може використовуватися для забезпечення безпеки національних кордонів, боротьби зі злочинністю та тероризмом.

1.3 Види електронної розвідки

На даний момент воєнна розвідка володіє широким спектром методів та засобами для збору інформації. Потужний технологічний розвиток

безпілотних систем та технологій суттєво розширив можливості воєнної розвідки. Зокрема, для вирішення задач, які стоять перед розвідкою, широко використовуються дрони та інші види безпілотних систем. Розглянемо саме ті методи, які дотичні до теми даної дисертації.

Електронна розвідка є важливою частиною сучасних воєнних та розвідувальних операцій, що включає в себе виявлення, накопичення та виконання аналізу електромагнітних сигналів, що можуть випромінюються різними електронними засобами або системами, які використовуються в комунікаційних мережах для організацій мереж зв'язку.

Радіотехнічна розвідка (ELINT) спеціалізується саме на зборі інформації про радіолокаційні системи противника, та подібних системах, які противник може використовувати, зокрема для контролю повітряного простору. Основні робочі діапазони систем РТР наведені на рисунку 1.1.

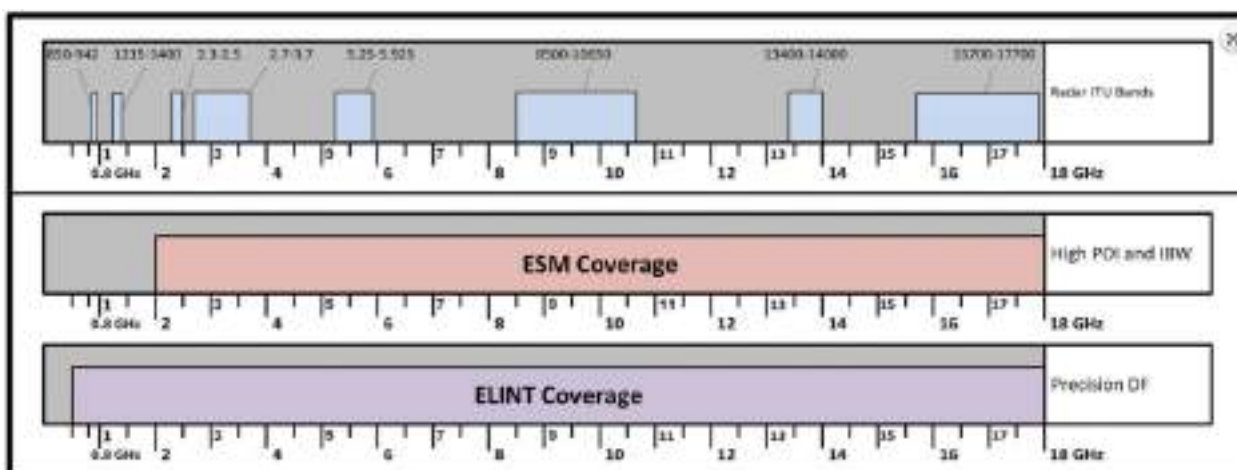


Рисунок 1.1 – Приклад робочих діапазонів різних систем радіотехнічної розвідки [2]

Основна мета даного виду розвідки полягає у виявленні, ідентифікації, класифікації і аналізі радіосигналів, що можуть випромінюватись військовими або цивільними радіолокаційними станціями. Даний метод може включати перехоплення сигналів, які найчастіше не містять інформації, але є критично важливими для розуміння роботи систем противника. Для прикладу, визначення робочих частот, потужностей та інших характеристик сигналу дає можливість створити карту електронного середовища противника.

Даний метод розвідки використовує різноманітні методи збору даних, серед яких можуть бути полігонні спостереження або застосування спеціальних повітряних кораблів, таких як дрони чи літаки, обладнані електронними системами для моніторингу та накопичення перехоплених сигналів. Вони здатні виявляти електромагнітні випромінювання, зберігати їх та передавати цю інформацію для подальшого аналізу. Важливою складовою цього процесу є аналіз перехоплених сигналів, що дозволяє отримати уявлення про сили та засоби противника.

Однією з найвідоміших РТР станцій є система вітчизняного виробництва КОЛЬЧУГА RDF-360 [3]. Ілюстративно, зовнішній вигляд даної станції наведено на рис. 1.2. «Кольчуга» — автоматизована станція радіотехнічної розвідки. Принцип роботи станції — пасивний радар. Завдяки відсутності активних випромінювань, «Кольчуга» не може бути виявлена іншими засобами радіоелектронної розвідки. Кольчуга здатна:

- Виявляти та виконувати ідентифікацію цілей
- Вести моніторинг повітряної, наземної і надводної обстановки
- Супроводжувати повітряні, наземні та надводні цілі в пасивному режимі
- Вести радіотехнічну розвідку

Дальня радіотехнічна розвідка і супровід повітряних цілей:

- Дальність виявлення цілей: до 700 км
- Діапазон частот: 0,13-12 ГГц
- Миттєва смуга огляду: 0,5 ГГц
- Сектор огляду: 360°
- Цілі: наземні, надводні, повітряні
- Прийом і обробка сигналів всіх типів РЛС, відповідачів системи «свій-чужий» (режими 1,2,3 (АС), 4, S, навігаційної системи ТАКАН)

Супровід повітряних цілей в пасивному режимі:

- Дальність виявлення і супроводу цілей: до 450 км (пряма видимість)
- Діапазон частот: 8-18 ГГц
- Діапазон частот 1.025-1.15 ГГц сигнали системи «свій-чужий»

- Сектор огляду: 360°
- Типи цілей: повітряні (включаючи малопомітні цілі «Stealth»)



Рисунок 1.2 – ілюстративне зображення зовнішнього вигляду
КОЛЬЧУГА RDF-360 [3]

Радіоелектронна розвідка (SIGINT) включає в себе моніторинг, виявлення, контроль та аналіз електронних сигналів, які випромінюються засобами зв'язку. Радіоелектронна розвідка зазвичай ділиться на два основні напрямки: збір розвідувальної інформації, яка стосується конкретних військових або комерційних комунікацій, і загальний моніторинг електромагнітного спектру для виявлення актуальних та потенційних загроз.

Для збору даних під час ведення радіоелектронної розвідки використовуються приймачі, які дозволяють перехоплювати сигнали на великих відстанях. Першочергово, радіоелектронна розвідка включає в себе аналітичні методи, що дозволяють спеціалістам накопичувати, та аналізувати великі об'єми інформації, яка може бути пов'язаною з військовими операціями, планами противника та його діями.

Однією з найвідоміших вітчизняних систем РЕР є Хортиця-М (рис 1.3) [4]. Даний комплекс дозволяє виконувати функції радіомоніторингу та

пеленгації, з можливістю передачі даних на центральний пост радіорозвідки для подальшої обробки та систематизації.



Рисунок 1.3 – ілюстративне зображення зовнішнього виду комплексу Хортиця-М [4]

Основні характеристики комплексу Хортиця-М:

- Діапазон робочих частот: 25-6000 МГц
- Максимальна смуга аналізу: 80 МГц
- Миттєва смуга огляду: 20 МГц
- Швидкість сканування: 60 ГГц/с
- Діапазон частот пеленгації: 25-3000 МГц
- ППРЧ-сигнали: пошук, виявлення, пеленгація, рекомбінація, демодуляція
- Кількість незалежних каналів прийому: 5
- Односигнальний динамічний діапазон понад: 80 дБ
- Кількість радіомереж для обробки у режимі «Сканування» до 4096
- Швидкість сканування банку частот у режимі «Сканування», за виключенням мереж з ППРЧ: понад 1000 частот/с
- Орієнтовна дальність роботи: до 45 км

Однією з суттєвих переваг під час ведення радіоелектронної розвідки є висока мобільність систем. Оскільки зі збільшенням мобільності, існує можливість опрацювати малопотужні сигнали, для виявлення і аналізу яких необхідно знаходитись ближче до зони ведення бойових дій, чи місць розташування противника. Однією з найвідоміших мобільних вітчизняних систем радіорозвідки є Пластун РП-3000 (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – ілюстративне зображення системи Пластун РП-3000 [5]

Пластун РП-3000 — це сучасний пеленгатор тактичного рівня, призначений для аналізу радіо обстановки та визначення напрямків на джерела радіовипромінювання. Система має можливість інтеграції із різноманітними засобами зв'язку і моніторингу, що дозволяє отримувати та обробляти дані в реальному часі. Система також забезпечує аналітичні можливості для оцінки ситуації на полі бою, що сприяє ефективному плануванню та виконанню бойових завдань. Пластун РП-3000 є важливим елементом модернізації військових технологій в Україні.

Основні характеристики комплексу Пластун РП-3000 :

- Діапазон робочих частот: 25-3000 МГц
- Інструментальна похибка відхилення пеленгу менше: $0,5^\circ$
- Чутливість за електромагнітним полем в діапазоні робочих частот(мкВ/м)
- в діапазоні 25 – 110 МГц: 30
- в діапазоні 110 – 525 МГц: 3
- в діапазоні 525-3000 МГц: 2
- Швидкість сканування понад: 2 ГГц/с
- Динамічний діапазон: 70 дБ
- Смуга миттєвого огляду: 21 МГц
- Роздільна здатність по частоті при панорамному пеленгуванні: 12,5 кГц
- Мінімальний час пеленгування менше: 15 мс
- Режим пеленгації ППРЧ-сигналів: так
- Час розгортання системи: до 20 хв
- Час автономної роботи: до 8 годин

Приклад користувацького інтерфейсу комплексу Пластун РП-3000 зображений на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Приклад користувацького інтерфейсу Пластун РП-3000

Поєднання РТР і РЕР забезпечує комплексний підхід до електронної розвідки, що дозволяє отримувати детальну інформацію про заявлену та фактичну діяльність противника. Це відіграє важливу роль у плануванні військових операцій, ухваленні рішень на стратегічному рівні, а також у зменшенні ризику для власних сил.

Сучасні технології суттєво підвищили ефективність як РТР, так і РЕР, забезпечуючи високоякісний збір даних, обробку в реальному часі та аналітику. Ці системи використовуються не лише в військових цілях, але і для забезпечення безпеки в цивільних сферах, таких як правоохоронні органи, розкриття злочинів та запобігання тероризму.

У зв'язку з цим радіоелектронна розвідка є ключовим елементом національної безпеки, що дозволяє державам своєчасно реагувати на потенційні загрози та приймати обґрунтовані рішення в умовах сучасних викликів.

1.4 Радіорозвідка в Силах оборони України

Радіорозвідка в Силах оборони України є однією з ключових складових розвідувальних спроможностей, які спрямовані на виявлення та нейтралізацію загроз з боку противника. Особливо гостро питання ведення ефективної радіоелектронної розвідки постало в умовах війни з Росією починаючи з анексії півострова Крим та частини Донецької та Луганської областей, з ескалацією військового конфлікту та переходом до відкритої військової агресії.

Це важлива частина воєнної розвідки, що дозволяє отримувати інформацію про сили та засоби ворога, переміщення, плани та розташування ворожих підрозділів без необхідності перебувати в зоні можливого ураження ворогом.

Серед основних завдань частин та з'єднань, що спеціалізуються на веденні РЕР, можна декілька задач. Найпершим завданням, що стоїть перед фахівцями РЕР є перехоплення ворожих комунікацій, що включає в себе безперервний моніторинг поточної радіо обстановки поблизу та на полі бою, постійний

пошук нових каналів та частот мереж комунікації противника для збору інформації про плани, дії, та переміщення сил та засобів ворога.

Важливою задачею для радіо розвідників є ідентифікація позицій та техніки ворога. Ці цілі досягаються за допомогою радіопеленгації – точного визначення розташування джерел радіовипромінювання, які одразу можуть бути віднесені до ворожих, або ж потребуватимуть додаткової дорозвідки за допомогою інших засобів розвідки. Крім того, в сфері відповідальності фахівців РЕР, є робота по виявленню та відслідковуванню активності систем ворога, та його пунктів управління.

Окремою гілкою в сфері РЕР є аналіз та дешифрування перехоплених сигналів. Дана діяльність потребує високої навченості персоналу, та значно складнішого апаратного та програмного забезпечення.

Крім того, на фахівців РЕР покладаються задачі, які не втрачають актуальності і в мирний час, зокрема – це моніторинг радіоелектронної обстановки в умовах населених пунктів, та постійний контроль ефіру для відстеження та виявлення використання незаконного використання радіочастотного спектру.

На тлі повномасштабної війни з Росією радіорозвідка стала критично важливим елементом для оборони України. Зокрема, застосовуються новітні засоби радіоелектронної розвідки. Українські підрозділи співпрацюють з західними країнами-партнерами, які діляться передовими технологіями і даними для підтримки української радіорозвідки.

Серед основних технологій та засобів радіорозвідки, виділяють: системи радіопеленгації - для визначення джерел сигналів і визначення точного розташування ворожих об'єктів, комплекси радіоелектронної боротьби - для створення перешкод ворожим засобам зв'язку та каналам керування безпілотних систем.

Важливим викликом сьогодення став аналіз сигналів з безпілотних ворожих систем.

1.5 Роль іноземної допомоги

Західні країни активно підтримують українські сили оборони, в тому числі сили РЕР, надаючи обладнання та проводячи навчання для фахівців РЕР. Крім того Україна отримує розвідувальні дані від партнерів, що значно підсилює можливості радіорозвідки і дозволяє більш оперативно реагувати на загрози та оновлення ворожої техніки.

Таким чином, радіорозвідка є одним із ключових інструментів української оборони, що допомагає швидко адаптуватися до нових умов і ефективно протидіяти ворогу на сучасному полі бою.

1.6 Технології ведення радіоелектронної розвідки

Технології радіоелектронної розвідки (РЕР) є складними інструментами, що дозволяють збирати та аналізувати сигнали, які випромінюються різними джерелами: від радіостанцій та мобільних телефонів до радарів та величезної кількості безпілотних систем. РЕР охоплює кілька рівнів технічного забезпечення, від простих приймачів (а саме програмно визначені, які ми і використовуватимемо в даному дослідженні) до сучасних систем з штучним інтелектом. Сучасні системи РЕР поєднують в собі пеленгацію, обробку, аналіз і захист від ворожих сигналів.

1.7 Системи радіочастотного моніторингу

Радіочастотний моніторинг полягає в постійному контролі та відстеженні радіо електромагнітного спектру для виявлення нових джерел радіовипромінювання, їхніх частот, потужності та інших параметрів. Використання широкосмугових приймачів дозволяє одночасно контролювати великий діапазон частот, що підвищує ефективність моніторингу, та спрощує пошук нових джерел радіовипромінювання.

1.8 Системи пеленгації

Системи пеленгації на базі SDR дозволяють здійснювати швидке визначення напрямку на джерело радіовипромінювання за різних умов ефірної обстановки. Визначення напрямку на джерело сигналу здійснюється шляхом порівняння фаз сигналів, що приймаються з різних антен. SDR приймачі дозволяють одночасно приймати сигнали з декількох антен, обробляти їх та визначати фазові зміщення.

Більшість таких систем використовують методи інтерферометрії або методи фазової пеленгації, де напрямок на джерело сигналу визначається аналізом фазових зміщень.

Висновки до першого розділу

В даному розділі було розглянуто значення розвідки та тенденції щодо розвитку тих, чи інших методів ведення розвідки. Проаналізовано основні методи та засоби ведення розвідки. Розглянуто зміни в основних напрямках ведення розвідки.

Виконано огляд найпоширеніших засобів РТР та РЕР. Проаналізовано їхні основні технічні характеристики, та напрямки їх застосування. Також розглянуто питання допомоги в сфері розвідки від західних партнерів.

Враховуючи гостру необхідність та актуальність ведення радіоелектронної розвідки на всіх напрямках фронту, доцільним є пошук та за потреби розробка більш економічних рішень, які відповідали запитам сучасної розвідки.

2 ОГЛЯД ТИПОВИХ ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ ПРОТИВНИКА У РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКІЙ ВІЙНІ

Baofeng UV-5R

Baofeng UV-5R — це цивільна портативна двохдіапазонна аналогова радіостанція. Ілюстративне зображення зовнішнього вигляду радіостанції наведено на рисунку 2.1. Дана радіостанція відзначається своєю доступністю, простотою у використанні та багатофункціональністю. Ця радіостанція китайського виробництва широко застосовується російськими окупаційними військами через свою доступність та надійність. V-5R працює в частотних діапазонах від 136 до 174 МГц (VHF) та від 400 до 520 МГц (UHF), що дозволяє їй охоплювати значний спектр прийомних і передавальних частот. З вихідною потужністю, яка може регулюватися на рівні 1 Вт, 4 Вт і 5 Вт, користувач має можливість вибрати оптимальний режим для конкретних умов. Це дозволяє не лише суттєво зекономити заряд акумулятора, а й забезпечує необхідну потужність для комфортного зв'язку на різних відстанях.



Рисунок 2.1 – Ілюстративне зображення зовнішнього вигляду
радіостанції

Baofeng UV-5R

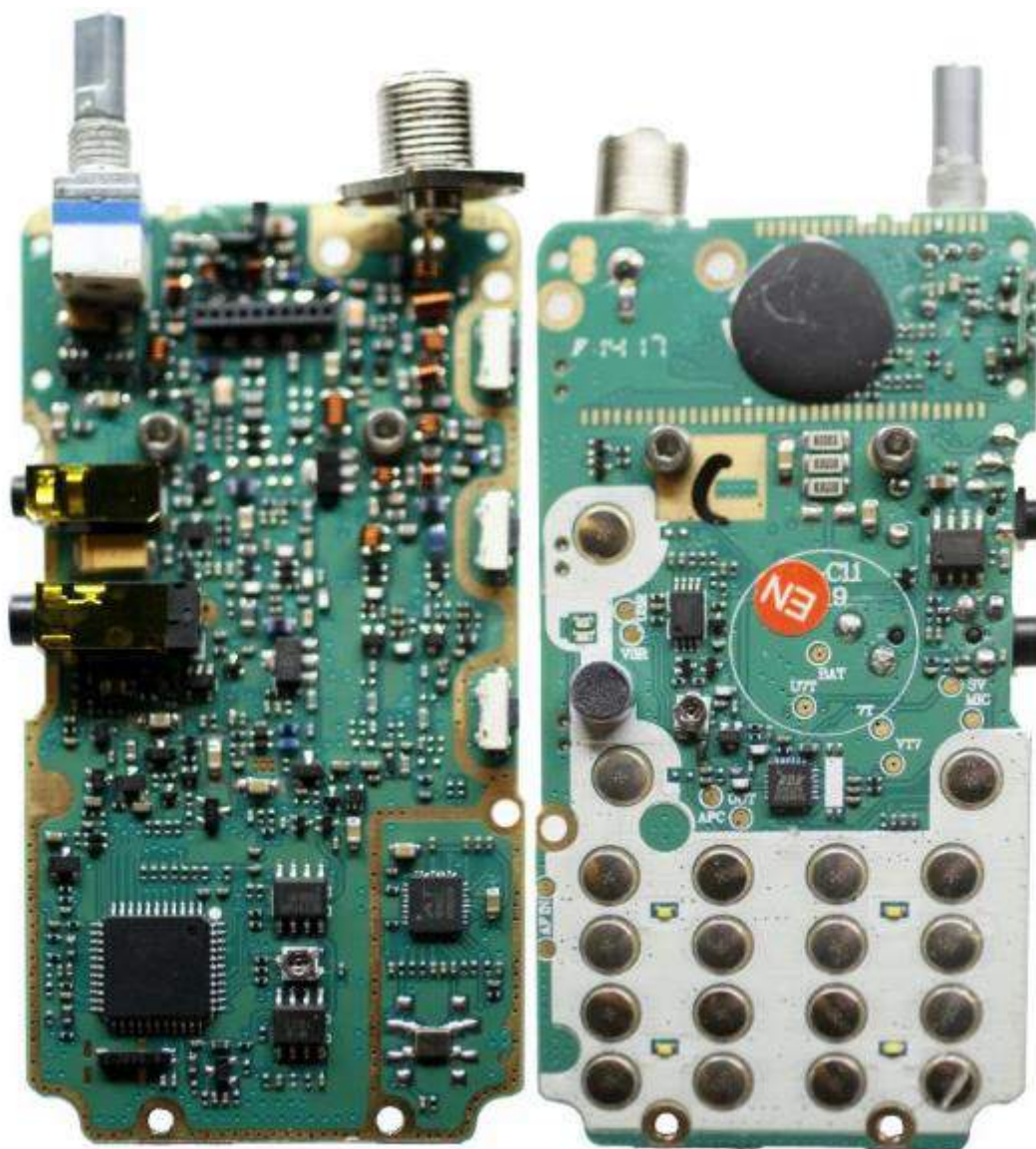


Рисунок 2.2 – Вигляд друкованої плати радіостанції Baofeng UV-5R

Радіостанція Baofeng UV-5R побудована на мікроконтролері EM78P568 — це 8-бітний мікроконтролер, що розроблений компанією EM Microelectronic. Зовнішній вигляд друкованої плати Baofeng UV-5R.

Основні характеристики EM78P568 включають 8-бітну архітектуру, що дозволяє обробляти дані та виконувати арифметичні операції. Також мікроконтролер має вбудовану пам'ять, яка складається з FLASH-пам'яті ємністю до 4КБ для зберігання програм і даних, а також 256 байт оперативної пам'яті (RAM) для тимчасового зберігання змінних під час виконання програм. Блок схема мікроконтролера EM78P568 наведена на рисунку 2.3.

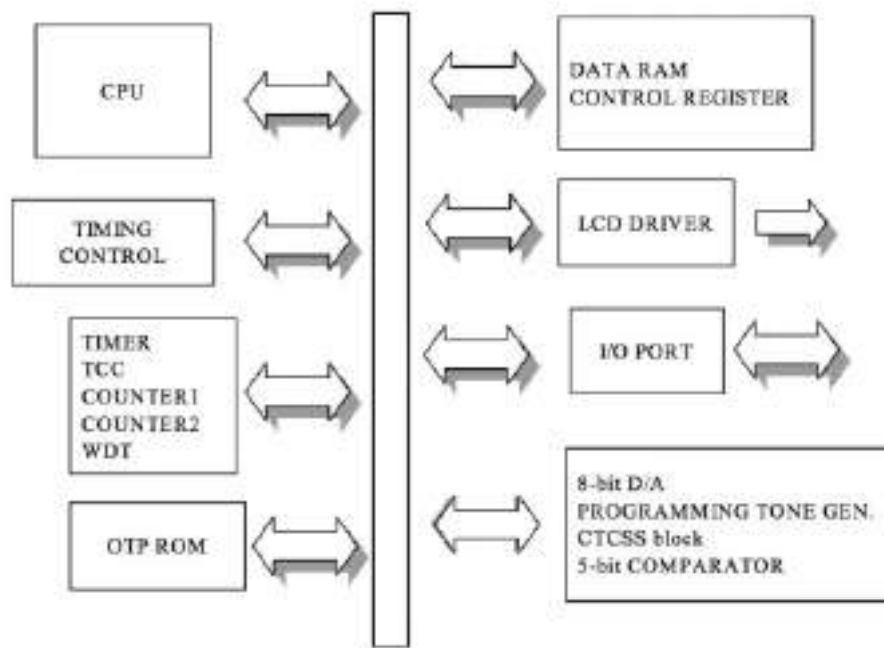


Рисунок 2.3 – блок схема мікроконтролера EM78P568

Для якості трансиверної мікросхеми в даній радіостанції використано AT1846S — це високоінтегрований однокристальний трансивер для застосувань у радіостанціях. AT1846S може працювати в частотних діапазонах від 400 МГц до 500 МГц, а також від 134 МГц до 174 МГц.

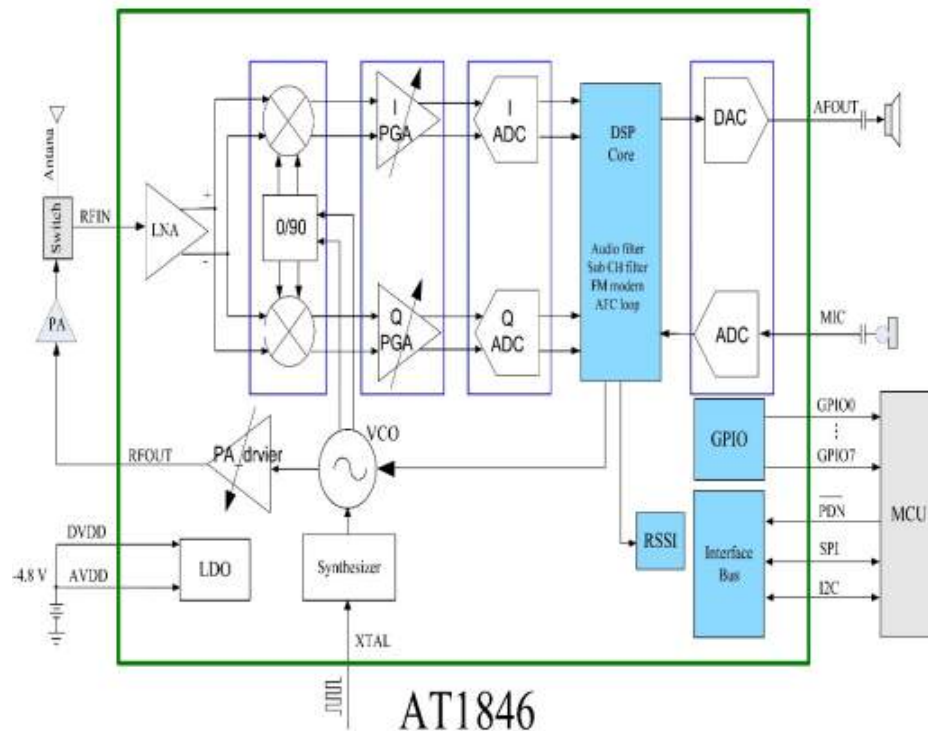


Рисунок 2.4 – блок схема трансиверної мікросхеми AT1846S

Р-392АК2М «Арахис»

Радіостанція Арахис Р-392АК2М - це портативний засіб зв'язку, який використовується у військових цілях, виробництва РФ.



Рисунок 2.5 – зовнішній вигляд радіостанції Арахис Р-392АК2М

Радіостанція Арахис Р-392АК2М призначена для забезпечення зв'язку в умовах, де аналогові засоби зв'язку можуть бути недоступними, або скомпрометованими. Арахис Р-392АК2М працює в частотному діапазоні від 30 до 300 МГц, що може значно ускладнювати виявлення даного засобу зв'язку застарілими засобами РЕР. Максимальна вихідна потужність передачі становить 5 Вт.

Радіостанція Арахис Р-392АК2М здатна забезпечувати зв'язок в режимі ППРЧ, завдяки використанню ПЛІС мікросхеми. Радіостанція також має вбудовані функції шифрування зв'язку.

Радіостанція Арахис Р-392АК2М побудована на базі ПЛІС (FPGA) мікросхеми XCS20XL-TQ144АКР1041 виробництва США. Це мікросхема серії Spartan-3 від компанії Xilinx. Дана мікросхема призначена для реалізації цифрових схем і логіка для обробки сигналів. Блок схема мікросхеми наведена на рисунку 2.6.

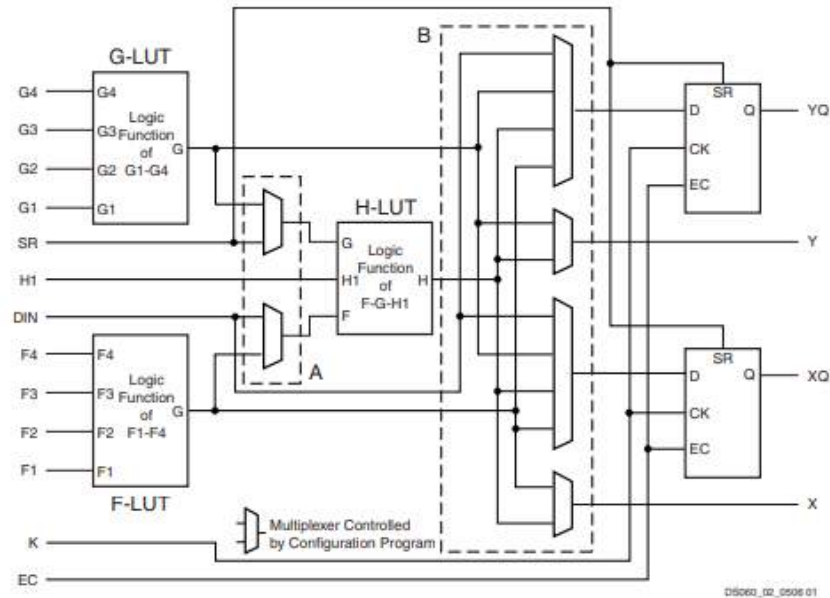


Рисунок 2.6 - Блок схема мікросхеми XCS20XL-TQ144AKP1041

В якості операційного підсилювача, в радіостанції Арахис Р-392АК2М обрано MAX492ESA. Дана мікросхема виконує функцію логічного перетворювача аналогових сигналів в цифрові. MAX492ESA реалізує функцію операційного підсилювача та аналогового компаратора. Типова схема включення наведена на рисунку 2.7.

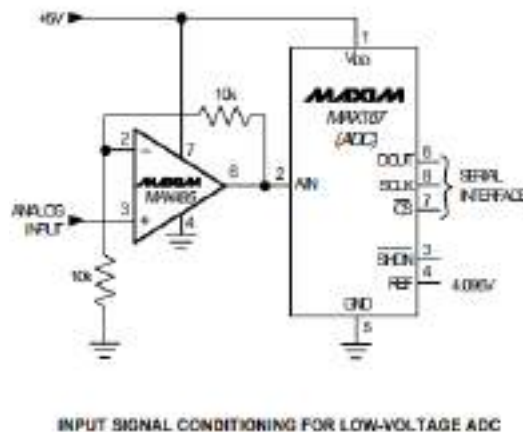


Рисунок 2.7 - Типова схема включення MAX492ESA

Зовнішній вигляд друкованої плати радіостанції Арахис Р-392АК2М наведено на рисунках 2.8 та 2.9.

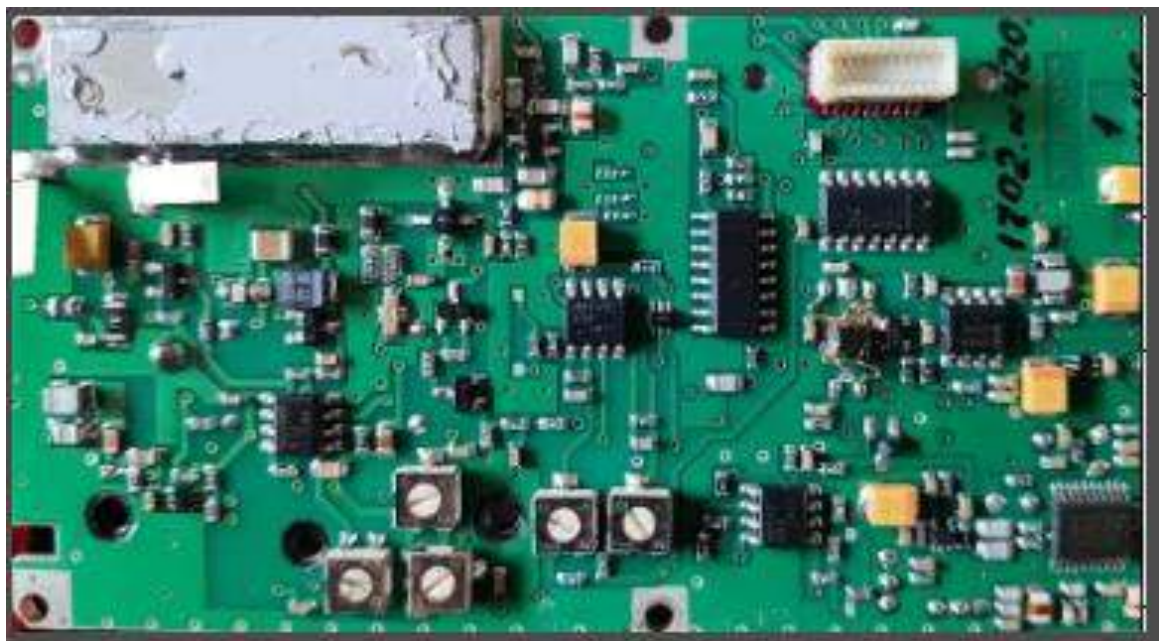


Рисунок 2.8 - Зовнішній вигляд друкованої плати радіостанції Арахис Р-392АК2М, сторона 1



Рисунок 2.9 - Зовнішній вигляд друкованої плати радіостанції Арахис Р-392АК2М, сторона 2

Р-187П1 «Азарт»

Р-187П1 «Азарт» — це військова радіостанція російського виробництва, яка призначена для забезпечення бездротового зв'язку у військових цілях. Дана радіостанція входить до складу комплексу захищеного радіозв'язку. Зовнішній вигляд радіостанції Р-187П1 «Азарт» наведено на рисунку 2.10.



Рисунок 2.10 - Зовнішній вигляд радіостанції Р-187П1 «Азарт»

Р-187П1 «Азарт» працює в широкому діапазоні частот, зазвичай від 30 до 3000 МГц, що суттєво ускладнює пошук та виявлення даної радіостанції застарілими засобами РЕР. Основна перевага даної станції – передача в режимі ППРЧ при високій швидкості переключень.

В основі Р-187П1 «Азарт» лежить ПЛІС мікросхема Xilinx Spartan-6 XC6SLX75 — мікросхема, що належить до серії Spartan-6 від компанії Xilinx.

Важливою перевагою Spartan-6 є низький рівень фазового шуму та висока швидкість роботи, що дозволило забезпечити роботу радіостанції в режимі роботи ППРЧ. Блок схему ПЛІС мікросхеми Xilinx Spartan-6 XC6SLX75 наведено на рисунку 2.11 .

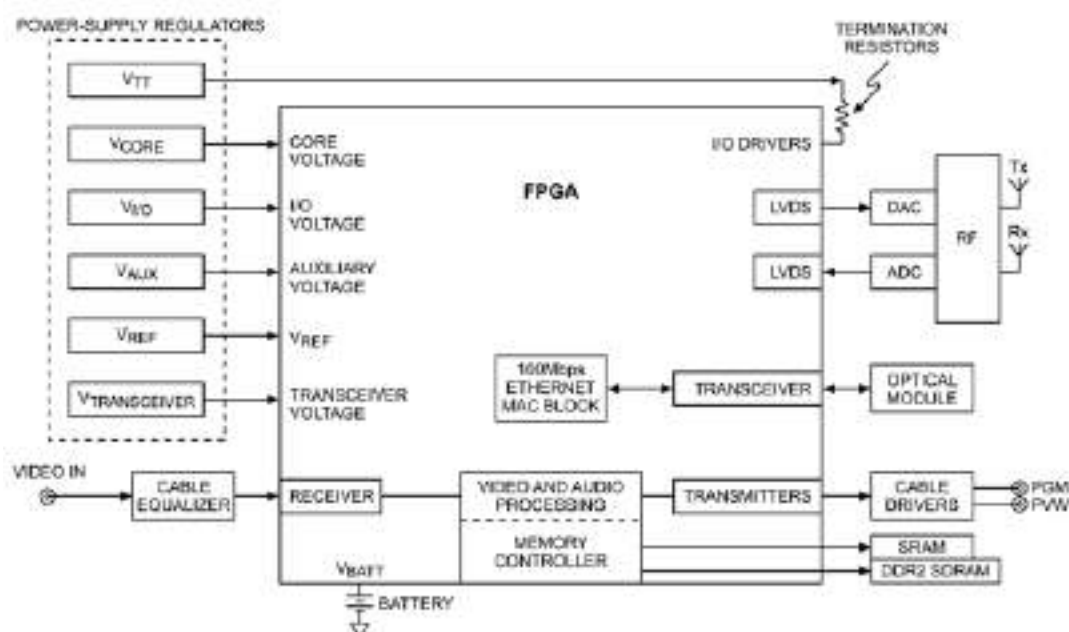


Рисунок 2.11 - Блок схема ПЛІС мікросхеми Xilinx Spartan-6 XC6SLX75

В якості синтезатора частот в радіостанції Р-187П1 «Азарт» використано мікросхему ADF4351. ADF4351 — це інтегральна мікросхема частотного синтезатора, мікросхема забезпечує генерацію радіочастотних сигналів. Завдяки широкому робочому діапазону частот, а саме: від 137 до 4400 МГц, мікросхема забезпечує роботу радіостанції в дуже широкій діапазоні частот. ADF4351 використовує технологію фазового автопідстроювання (PLL). Блок схему мікросхеми ADF4351 наведено на рисунку 2.12.

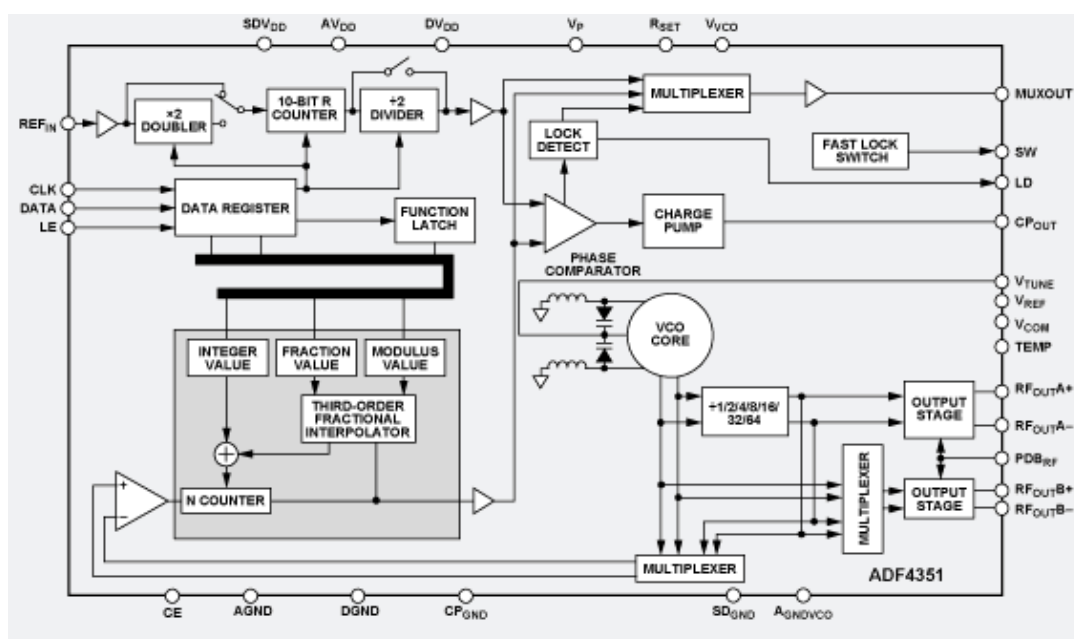


Рисунок 2.12 - Блок схема мікросхеми ADF4351

Р-353НК «Намотка-КС»

Р-353НК «Намотка-КС» — це російська багатофункціональна радіостанція, призначена для забезпечення радіозв'язку у військових цілях.



2.13 - Зовнішній вигляд радіостанції Р-353НК «Намотка-КС»

Дана радіостанція є частиною системи зв'язку, яка використовується для забезпечення комунікації між підрозділами в умовах ведення бойових дій. Радіостанція Р-353НК забезпечує широкий діапазон частот і може працювати в діапазонах від 30 до 1000 МГц.

Вихідна потужність передачі може досягати 10 Вт, що забезпечує стабільний сигнал навіть у складних умовах місцевості.

Радіостанція Р-353НК побудована на базі мікроконтролера ATMEGA2560 16U-TN. ATmega2560 16U-TN — це 8ми бітний мікроконтролер сімейства AVR, розроблений компанією Microchip Technology.

ATmega2560 має 256 КБ пам'яті Flash для зберігання програми, 8 КБ SRAM для тимчасових даних і 4 КБ EEPROM для зберігання постійних даних.. Мікроконтролер має 54 цифрових вводу/виводу, з яких 15 можуть бути використані як виходи ШІМ (широтно імпульсна модуляція)

Цей чіп працює на тактовій частоті до 16 МГц. Блок схема мікроконтролера наведена на рисунку 2.12.

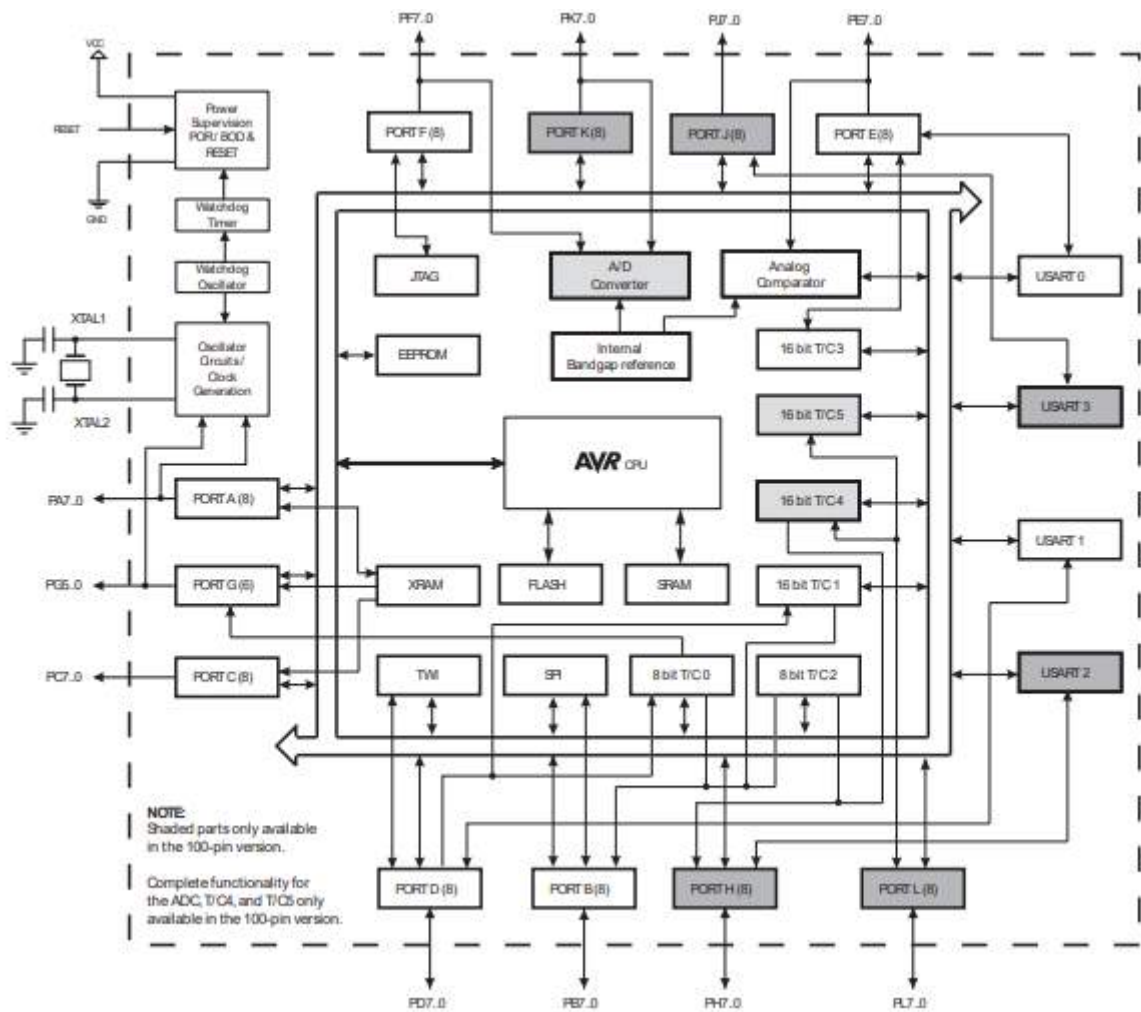


Рисунок 2.14 - Блок схема мікроконтролера ATmega2560

В якості цифрового сигнального процесору виробником обрано ADSP-2185M.

ADSP-2185M — це цифровий сигнальний процесор (DSP), призначений для обробки сигналів та високої продуктивності обчислень. Даний сигнальний процесор є частиною серії ADSP-2100.

ADSP-2185M має архітектуру, що дозволяє виконувати паралельні обчислення, що значно підвищує продуктивність обробки даних при виконанні складних алгоритмів. Процесор працює на тактовій частоті до 50 МГц.

Також ADSP-2185M оснащено 8 КБ вбудованої програмної пам'яті та 8 КБ пам'яті даних, що забезпечує високошвидкісний доступ до необхідних даних і програм.

Серед основних інтерфейсів — серійний інтерфейс та підключення до зовнішньої пам'яті.

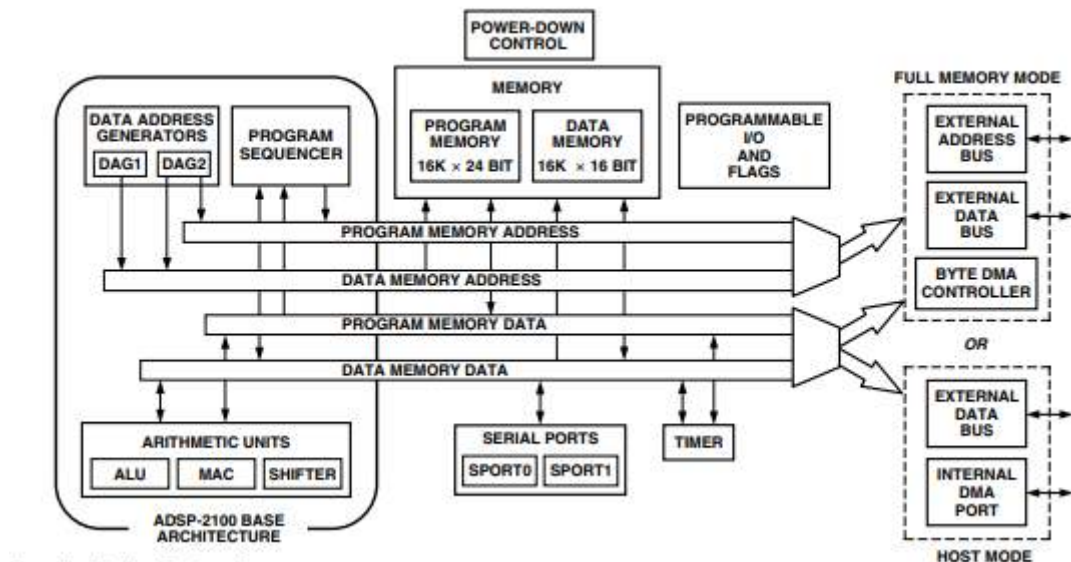


Рисунок 2.15 - Блок схема мікроконтролера ADSP-2185M

В якості драйвера АЦП в Р-353НК «Намотка-КС виробником використано AD8138A. Ширина смуги AD8138A становить 160МГц. Час наростання виходу менший за 2нс при виході 0.5 В, а максимальна швидкість зміни становить 55 В/мкс.

AD8138A забезпечує диференційний вхідний імпеданс ~ 2 кОм. Блок схема включення драйвера АЦП AD8138A наведена на рисунку 2.16.

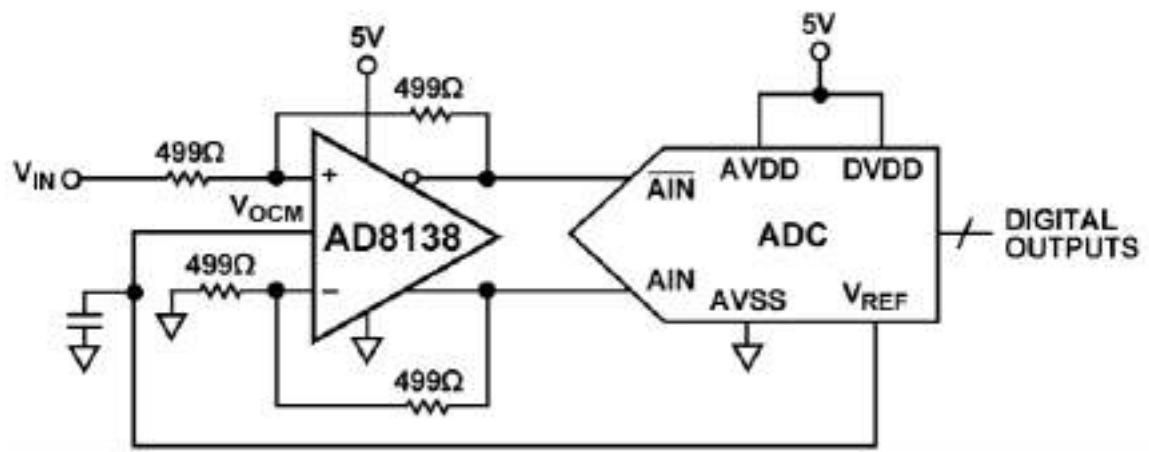


Рисунок 2.16 – Драйвера АЦП AD8138A

Р-168-25У-2

Р-168-25У-2 — це російська портативна радіостанція, призначена для забезпечення радіозв'язку в умовах військових операцій. Радіостанція працює в діапазоні частот від 25 до 32 МГц. Зовнішній вигляд радіостанції Р-168-25У-2 наведено на рисунку 2.17.



Рисунок 2.17 - Зовнішній вигляд радіостанції Р-168-25У-2

Вихідна потужність Р-168-25У-2 може досягати 5 Вт.

Р-168-25У-2 подубовано на базі ПЛІС мікросхеми Xilinx XC3 S30, яка є частиною сімейства Spartan-3. Дана мікросхема має 30 000 логічних елементів, що дозволяє реалізувати режими роботи ППРЧ. Блок схему мікросхеми Xilinx XC3 S30 наведено на рисунку 2.18.

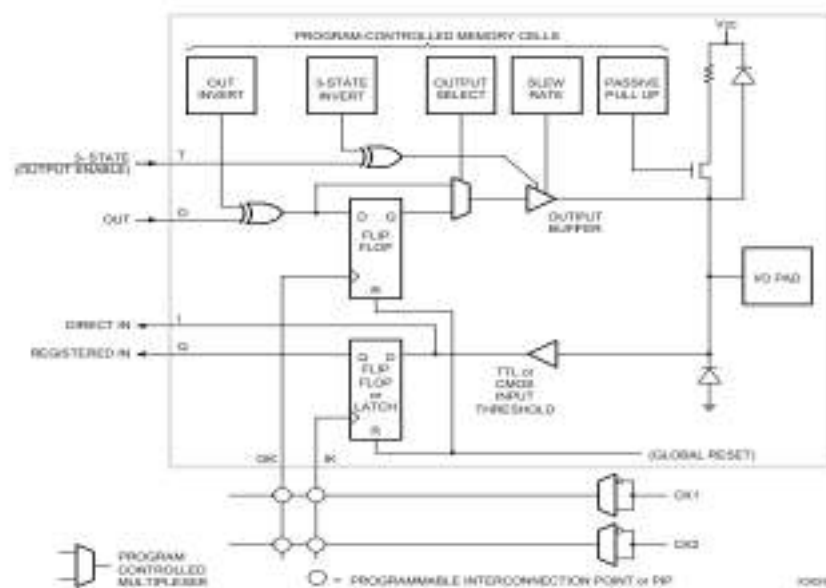


Рисунок 2.18 - Блок схема мікросхеми Xilinx XC3 S30

Висновки до другого розділу

В даному розділі було розглянуто та проаналізовано основні засоби зв'язку, які використовують російські окупанти під час ведення бойових дій. Серед них Baofeng UV-5R, P-392AK2M «Арахис», P-187П1 «Азарт», P-353НК «Намотка-КС» та P-168-25У-2, слід звернути увагу на їхні характеристики, які безпосередньо впливають на можливості виявлення, пеленгації та придушення. Кожна з цих радіостанцій має досить характерні спектри сигналів, що в свою чергу, дозволяє класифікувати сигнали та визначати їхню приналежність певному засобу зв'язку, чи системі.

В першу чергу, варто починати аналіз з найбільш розповсюджених радіостанцій, роботу яких можна зустріти на кожній ділянці фронту. Враховуючи досвід та дані, отримані під час виконання бойових завдань, однією з найбільш розповсюджених радіостанцій є китайська аналогова радіостанція Baofeng UV-5R. Основний тип модуляції даної радіостанції – це частотна модуляція (ЧМ), що є стандартом для багатьох цивільних портативних радіостанцій. Це значно полегшує пошук сигналу, його виявлення, та демодуляції, оскільки це один з найпростіших типів модуляції та має характерний спектр сигналу.

Крім того у випадку виявлення та запису сигналів даної радіостанції, достатньо легко можна відстежувати та встановлювати приналежність сигналу конкретній радіостанції за допомогою стандартних пристроїв, які будуть розглянуті в подальшому.

Арахис P-392AK2M — це відносно застаріла російська радіостанція, що працює в діапазонах частот від 30 до 300 МГц. Разом з тим, завдяки широкому діапазону частот, можливості вибору різних типів модуляцій, та режимів роботи радіостанції – це може суттєво ускладнити пошук, виявлення та аналіз даного типу радіостанцій.

P-187П1 «Азарт» є більш сучасною станцією, що працює в УКХ-діапазоні. Ця радіостанція вирізняється збільшеною потужністю. Здатна підтримувати цифрові протоколи шифрування для передачі даних. Серед

доступних типів модуляцій особливої уваги потребує широкосмугову модуляцію, оскільки вона значно ускладнює завдання виявлення та пеленгації даного типу радіостанцій. Крім того, режим роботи ППРЧ, наразі є суттєвою перешкодою для демодуляції та пеленгації.

Р-353НК «Намотка-КС» — це станція, що забезпечує можливість широкосмугового зв'язку, та забезпечує широкий частотний діапазон до 1 ГГц. Здатна працювати в різних режимах, та використовувати різні типи шифрування.

Р-168-25У-2 возима радіостанція, що забезпечує зв'язок в УКХ-діапазоні. Порівняно з носимими засобами зв'язку, дана станція суттєво відрізняється. Крім того, значно менша кількість одиниць таких радіостанцій, суттєво підвищує інтерес до їх виявлення, оскільки може свідчити про наявність вищого рівня зв'язку на тій, чи іншій ділянці фронту.

В даному розділі не було розглянуто засоби РЕБ, які застосовують російські окупанти, оскільки сигнали цих систем та засобів, найчастіше, відрізняються лише за потужністю, оскільки створені на базі однакових китайських комплектуючих.

3 ЗАСТОСУВАННЯ ЦИВІЛЬНИХ SDR ПРИЙМАЧІВ ТА ВИМІРЮВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ РАДІОРОЗВІДКИ

SDR-приймачі (Software Defined Radio) широко використовуються в радіорозвідці завдяки своїй гнучкості та можливості програмного налаштування для прийому різних типів сигналів. Вони дозволяють прослуховувати, записувати й аналізувати широкий діапазон частот, що робить їх корисними для збору інформації та аналізу сигналів у різних середовищах. Основні способи їх застосування в радіорозвідці: контроль та аналіз поточної радіо обстановки, перехоплення радіосигналів, аналіз перехоплених сигналів та їх демодуляція, пеленгація та визначення координат місць розташування джерел радіовипромінювання. Розглянемо кожен з випадків.

SDR-приймачі здатні приймати сигнали в різних частотних діапазонах, від короткохвильових до ультрависокочастотних (VHF і UHF). Це дозволяє працювати з радіосигналами в широкому діапазоні частот, при цьому, не змінюючи обладнання, та комутацію між пристроями.

Завдяки підтримці різних форматів модуляції SDR-приймачі дозволяють перехоплювати та демодулювати сигнали, зокрема аналогові та цифрові. Це може включати AM, FM, цифрові дані та спеціалізовані сигнали, що використовуються у військових і комерційних системах. Зокрема, за допомогою SDR приймачів можна отримати деякі основні параметри цивільних комерційних дронів, наприклад, такий параметр, як DroneID. Також, за допомогою SDR приймача можна класифікувати сигнали і навіть виявляти сигнали з прив'язкою до конкретного терміналу, та розрізнити носиму радіостанцію та ретранслятор, який може бути частиною радіомережі.

В SDR-приймачах можна швидко змінювати частоту для сканування великого діапазону радіочастот. Це дозволяє знаходити нові або невідомі сигнали, виявляти незвичайні радіопередачі й фіксувати активність у визначених частотних зонах.

SDR приймачі дозволяють записувати сигнали не лише для детального аналізу, а і для подальшого відтворення записаних сигналів з мінімальними спотвореннями. Це надзвичайно корисно для декодування складних модуляцій, аналізу моделей поведінки радіомереж

У радіорозвідці можуть використовуватися SDR-приймачі для дослідження та аналізу бездротових протоколів, таких як Wi-Fi, Bluetooth або інших типів бездротового зв'язку, які використовують специфічні частоти й моделі модуляції. Особливу актуальність, ця можливість отримала з розповсюдженням безпілотних систем, та можливістю встановлення на безпілотні борти додаткового обладнання для проведення досліджень та розвідки.

3.1 Огляд елементної бази SDR приймачів

На даний момент, на цивільному ринку SDR приймачів вибір достатньо широкий. Користувач може обрати готовий пристрій, або ж використовуючи інструкції виробника зібрати приймач самостійно, та використовувати програмне забезпечення для нього, яке вільно розповсюджується, а користувачі мають до доступ до вихідного коду.

Для прикладу, розглянемо розглянемо найпопулярнішу елементну базу, яка застосовується для створення цивільних SDR приймачів.

АЦП (Аналого-цифрові перетворювачі). Це мікросхеми, що перетворюють аналогові сигнали в цифрові, для їхньої подальшої обробки. Прикладом є аналого-цифрові перетворювачі, такі як AD9240 від Analog Devices та LTC2208 від Linear Technology.

AD9240 — це високопродуктивний 14 бітний аналого-цифровий перетворювач (АЦП), розроблений компанією Analog Devices, який призначений для цифрової обробки сигналів. Блок схема даного АЦП наведена на рисунку 3.1.

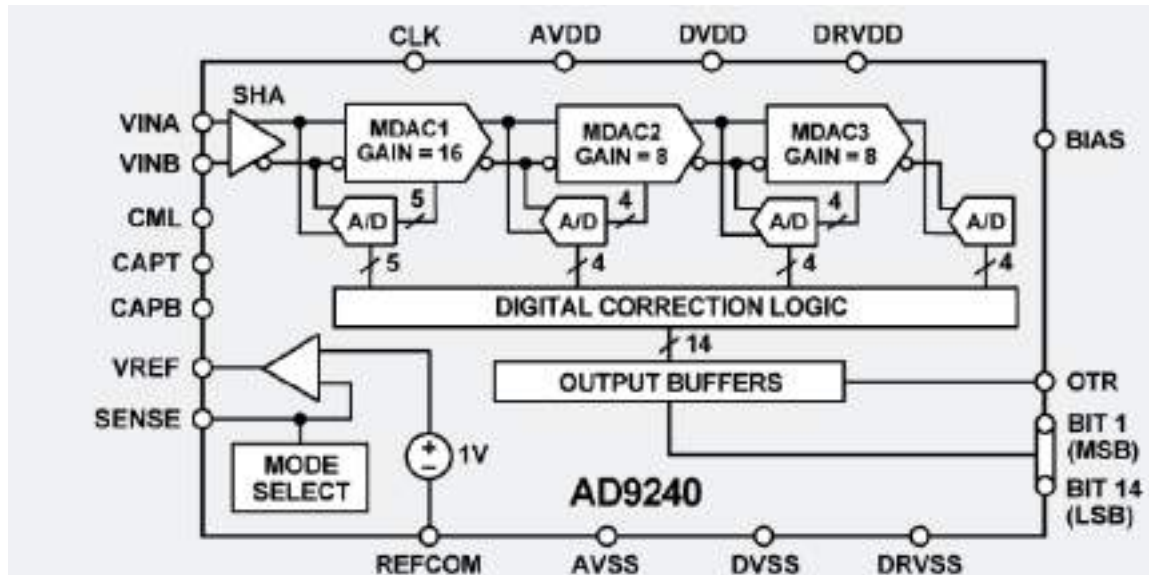


Рисунок 3.1 - Блок схема АЦП AD9240

Можливість працювати при частотах дискретизації до 105 МГц, відносно низький рівень шуму та висока лінійність, робить даний АЦП привабливим варіантом для SDR приймачів, оскільки це критично для систем, де будь які спотворення здатні знижувати якість сигналу.

Під час вибору SDR приймача, варто враховувати, що частота дискретизації до 105 МГц, може суттєво обмежувати застосування приймача, у випадках обробки супер ширококутових сигналів.

Крім того, варто зауважити, що AD9240 може бути чутливим до електромагнітного впливу. Отже необхідно перевіряти коректність монтажу та екранування даного АЦП на друкованих платах SDR приймачів.

LTC2208 — це високо швидкісний 16 бітний аналого-цифровий перетворювач (АЦП), розроблений компанією Analog Devices, забезпечує здатність працювати з частотами дискретизації до 130 МГц. Блок схему LTC2208 наведено на рисунку 3.2.

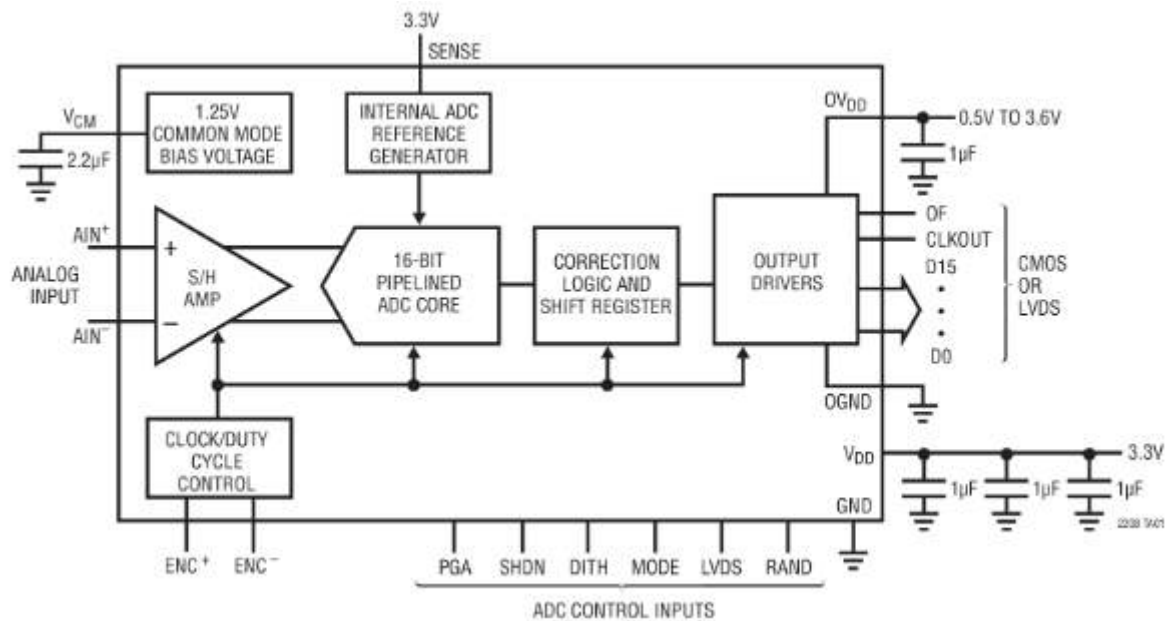


Рисунок 3.2 - Блок схема LTC2208

Завдяки 16 бітній роздільній здатність, забезпечується перетворення аналогових сигналів при достатньому співвідношенні сигнал/шум (SNR). Це особливо важливо під час використання в SDR приймачах, оскільки якість перетворення сигналів напряму впливає на можливість подальшої обробки їх.

Програмовані логічні інтегральні схеми (ПЛІС). широко використовуються в SDR, оскільки вони дозволяють реалізацію різних алгоритмів обробки сигналів в реальному часі. Приклади ПЛІС: Xilinx Spartan-3, Spartan-6, або Altera Cyclone. ПЛІС можуть бути використані для різноманітних завдань, від цифрової обробки до управління системами. ПЛІС виробництва компанії Xilinx вже було розглянуто в даній роботі в розділі огляду основних засобів зв'язку РФ під час ведення бойових дій.

Altera Cyclone є представником ПЛІС, яке забезпечує високу продуктивність і під час обробки цифрових сигналів. Даний тип ПЛІС містить кілька моделей, які можуть бути використані у SDR приймачах, завдяки суттєвій потужності і можливості обробки в реальному часі.

Зовнішній вигляд ПЛІС Altera Cyclone IV наведено на рисунку 3.2.

Однією з основних причин, чому Altera Cyclone використовуються в SDR приймачах, є можливість паралельної обробки. Програмовані логічні пристрої можуть реалізовувати численні цифрові фільтри, модуляції, демодуляції та

інші алгоритми обробки сигналів одночасно, що значно підвищує швидкість обробки даних. Наприклад, у SDR прийमाках Cyclone може бути використано для реалізації алгоритмів швидке перетворення Фур'є (FFT), які необхідні для аналізу частотного спектра сигналів.

Після Cyclone також має велику кількість вхідних/вихідних пінів та підтримує різні інтерфейси, такі як LVDS, SPI, I2C і PCI Express

Altera має також потужні інструменти проектування, такі як Quartus Prime, які дозволяють розробникам швидко створювати, модифікувати та оптимізувати проекти на базі Cyclone, надаючи їм можливість інтегрувати MATLAB, або Simulink, та інші інструменти для обробки сигналів.

Використання Altera Cyclone в SDR прийमाках забезпечує можливість реалізації складних обчислень, що особливо важливо під час цифрового аналізу сигналів.



Рисунок 3.3 - Зовнішній вигляд ПЛІС Altera Cyclone IV

Частотні синтезатори. В SDR прийमाках використовується широкий спектр різноманітних частотних синтезаторів. Одним з найбільш поширених є ADF4350. Блок схема частотного синтезатору ADF4350 наведено на

потужності, енергоефективності та багатофункціональності. Блок схема мікроконтролерів серії STM32F4 наведена на рисунку 3.4.

Мікроконтролери STM32F4 оснащені множинними цифровими інтерфейсами, такими як SPI, I2C, UART, що дозволяє легко інтегрувати їх з іншими компонентами SDR приймача, наприклад, з АЦП, частотними синтезаторами. Це дає змогу реалізовувати цифрові алгоритми обробки сигналів безпосередньо на мікроконтролері, забезпечуючи швидке виконання алгоритмів фільтрації, модуляції і демодуляції.

Мікроконтролери STM32F4 також містять вбудовані функції DSP (цифровий аналіз сигналів), що дозволяє оптимізувати обробку сигналів, використовувати алгоритми Фур'є, та фільтрацію. Це особливо корисно для SDR приймачів,

Важливою перевагою використання STM32F4 в SDR є також наявність розвинутої екосистеми програмного забезпечення, включаючи STM32CubeMX та HAL (Hardware Abstraction Layer), які спрощують розробку і налаштування проектів.



3.2 Огляд існуючих SDR приймачів

RTL-SDR V3

RTL-SDR V3 — це один з найбільш поширених приймачів, який працює на основі широкосмужової технології для прийому радіосигналів. Ця версія USB-приймача є вдосконаленою версією RTL-SDR, що дозволяє отримувати, обробляти та аналізувати сигнали в широкому діапазоні частот. RTL-SDR V3 виготовлений китайською компанією RTL. Зовнішній вигляд RTL-SDR V3 наведено на рисунку 3.6.



Рисунок 3.6 - Зовнішній вигляд RTL-SDR V3

Основною характеристикою RTL-SDR V3 є його можливість охоплювати частоти від 500 кГц до 1,7 ГГц, що дозволяє приймати сигнали в широкому діапазоні частот. Цей приймач підтримує різні модуляції, включаючи AM, FM, WFM, USB і LSB, це дає змогу виявляти, демодулювати, та аналізувати сигнали з різними типами модуляції.

В якості цифрового демодулятора, в RTL-SDR V3 використано мікросхему RTL2832U. Зазначена мікросхема спочатку була призначена для прийому цифрового телебачення в стандартах DVB-T, але адаптація даної мікросхеми дозволила використовувати її з різними типами сигналів і модуляцій, включаючи AM, FM. Основною характеристикою RTL2832U є його здатність працювати у широкому частотному діапазоні, що покриває частоти від 500 кГц до приблизно 1,7 ГГц.

Мікросхема RTL2832U включає в себе конвертер частоти, який дозволяє обробляти різні типи сигналів. Це дозволяє адаптувати приймач для роботи з різними модуляціями і типами сигналів без потреби в складному апаратному забезпеченні. RTL2832U здатен приймати аналогові та цифрові радіосигнали і перетворювати їх в цифровий формат, який потім може бути оброблений на комп'ютері за допомогою програмного забезпечення, такого як SDRSharp, GQRX та інших. Блок схему мікросхеми RTL2832U наведено на рисунку 3.7.

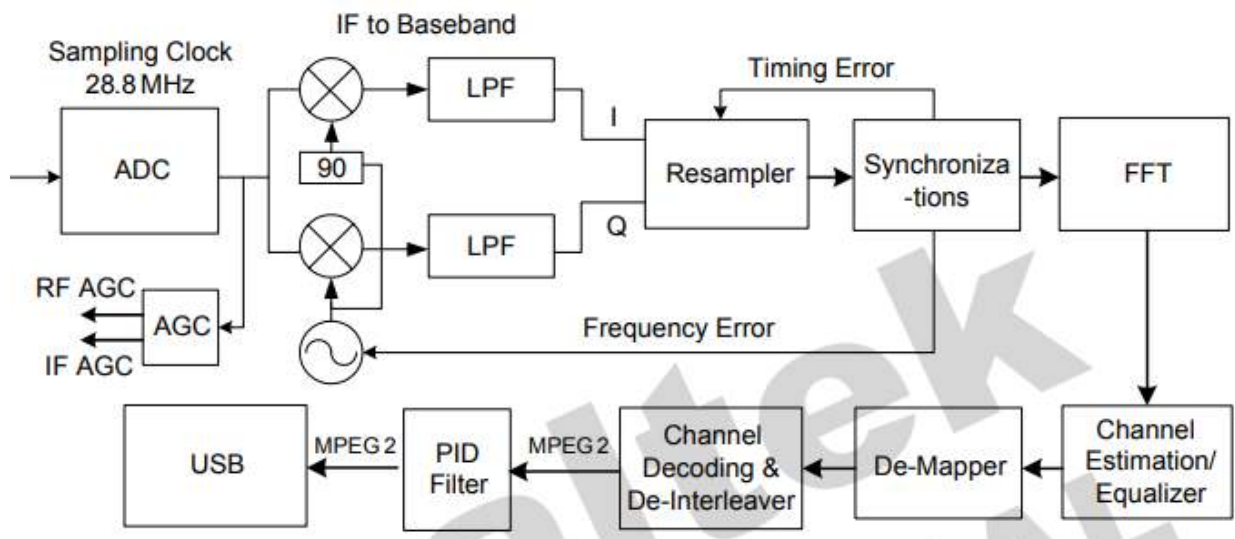


Рисунок 3.7 - Блок схема мікросхеми RTL2832U

В якості тюнера в RTL-SDR V3 використано мікросхему R820T2. Це дозволяє працювати в широкому діапазоні частот, та приймати широкосмугові сигнали. R820T2 має чудову чутливість. Блок схему мікросхеми R820T2 наведено на рисунку 3.7.

До елементної бази RTL-SDR V3 також відносяться активні елементи, такі як фільтри, підсилювачі і конденсатори, які оптимізують прийом сигналів. Це робить його ефективним при обробці різних модуляцій і підвищує якість виходу, зокрема в умовах радіообстановки з високими рівнями шуму. Наприклад, в RTL-SDR V3 інтегровано фільтри для очищення сигналу і зменшення перешкод, що підвищує загальну якість роботи пристрою.

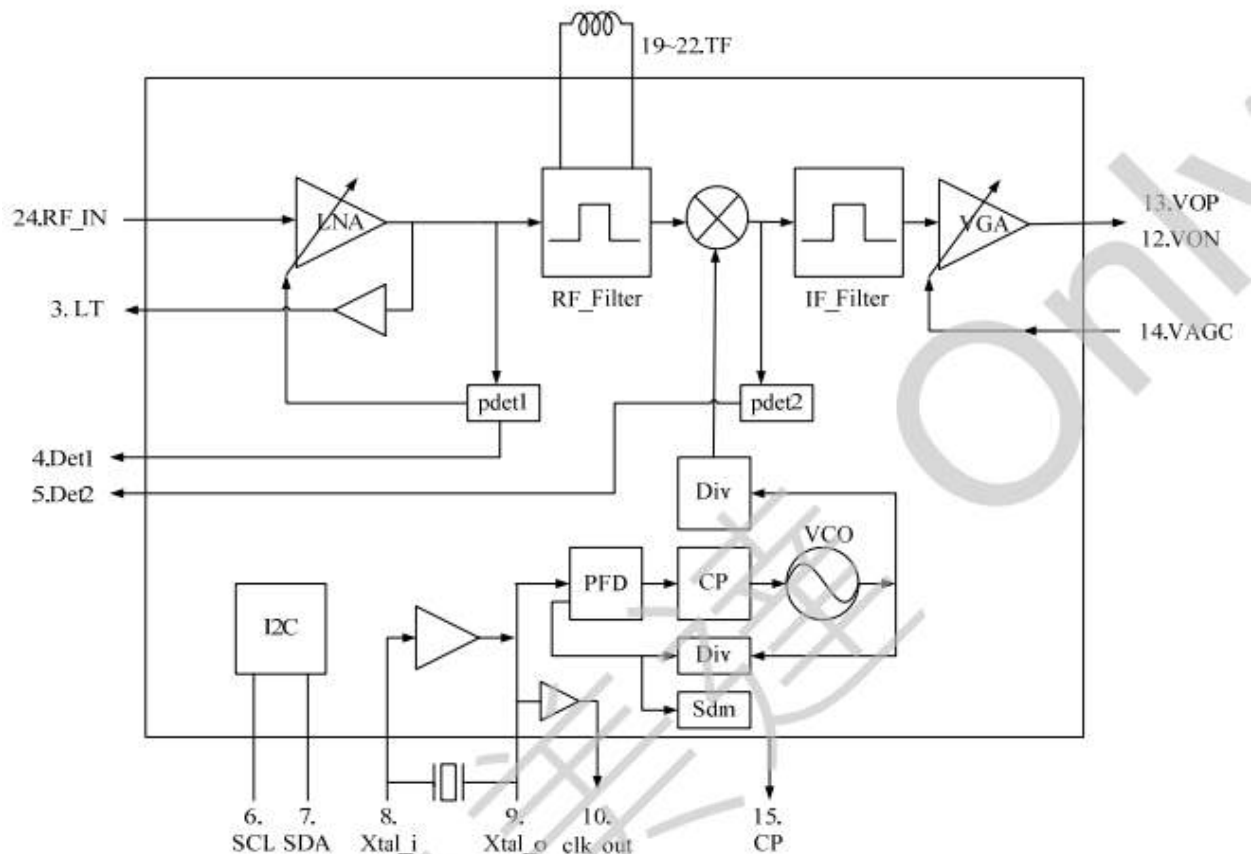


Рисунок 3.8 - Блок схема мікросхеми R820T2

Також RTL-SDR V3 має USB-інтерфейс, що дозволяє легко підключати його до комп'ютера, а також використовувати з великою кількістю програмного забезпечення, такої як SDR# (SDRSharp), HDSDR, GQRX і інших, які надають можливість зручної візуалізації та аналізу отриманих сигналів.

Даний приймач допустимо застосовувати для загального радіосканування, роботи з сигналами різних типів і модуляцій, зокрема: ADSB, AIS, ACARS, VDL2, транкінгового радіо, цифрового голосу P25/DMR, TETRA, POCSAG, Outernet, Inmarsat, Iridium, GSM, Milsatcom.

HackRF One

HackRF One — це універсальний SDR радіоприймач. Розроблений компанією Great Scott Gadgets. Цей пристрій забезпечує можливість роботи з різними типами радіосигналів завдяки широкому частотному діапазону, що охоплює від 1 МГц до 6 ГГц. HackRF One робить можливим прийом та передачу сигналів, що охоплюють безліч технологій, таких як AM, FM, USB, LSB, DSB, а також бездротові протоколи, включаючи Wi-Fi, Bluetooth, GSM.

HackRF One використовує чіпсет, в основі якого лежать RTL2832U (який вже було розглянуто вище) для обробки цифрових сигналів та MAX2659 для посилення сигналів на високих частотах. Блок схему мікросхеми MAX2659 наведено на рисунку 3.9.

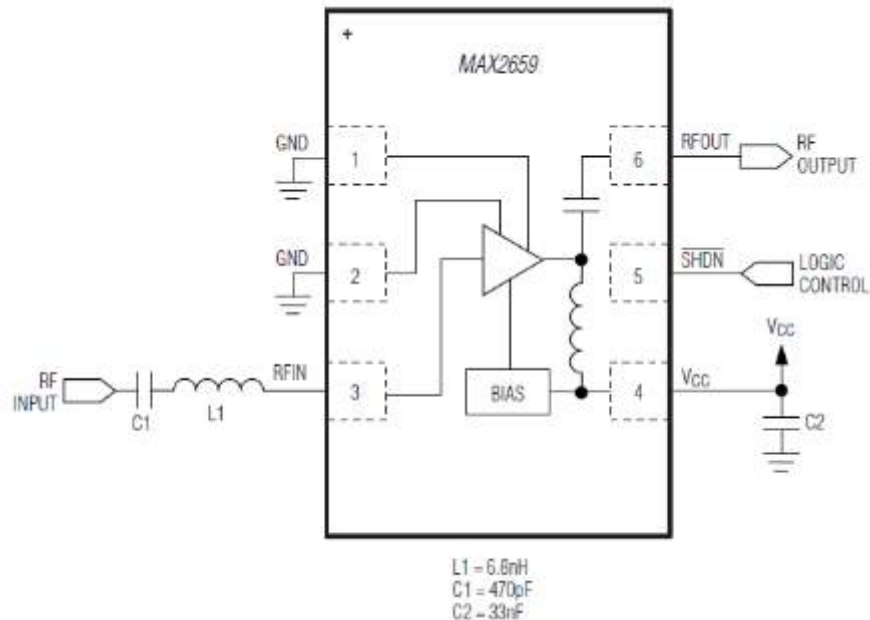


Рисунок 3.9 - Блок схему мікросхеми MAX2659

Мікросхема має вбудовані підсилювачі та активні фільтри. Однією з важливих характеристик є 8 бітна роздільна здатність, яка дозволяє отримувати задовільну якість сигналу при прийомі, хоча в процесі обробки даних користувач може зіткнутися з певними обмеженнями, що пов'язані з шумами.

HackRF One підключається до комп'ютера через USB 2.0 і сприяє високій швидкості передачі даних до 480 Мбіт/с. Приймач містить SMA роз'єм для підключення зовнішніх антен, що сприяє покращенню чутливості та якості прийому сигналів.

HackRF One є дуже гнучким інструментом, здатним не лише приймати, але й передавати сигнали. Це дозволяє використовувати його в різноманітних експериментальних проектах, де потрібно реалізовувати комбінацію прийому та передачі. HackRF One підтримує безліч платформ, таких як GNU Radio, SDR#, GQRX та HDSDR.

HackRF One має вбудовані фільтри для зменшення впливу перешкод і поліпшення якості прийому.



Рисунок 3.10 – Зовнішній вигляд приймача HackRF One

BladeRF

BladeRF 2.0 — це універсальний SDR приймач, розроблений компанією Nuand, який має широке застосування в галузі SDR. Зовнішній вигляд BladeRF 2.0 наведено на рисунку 3.11.

Цей пристрій підтримує частотний діапазон від 47 МГц до 6 ГГц, що дозволяє приймати і передавати різноманітні типи сигналів та модуляцій, включаючи AM, FM, USB, LSB, DSB, а також технології бездротового зв'язку, такі як Wi-Fi, Bluetooth. Особливістю BladeRF 2.0 є його архітектура, яка базується на використанні ПЛІС - Altera Cyclone IV, що надає користувачеві велику гнучкість у проектуванні і налаштуванні систем обробки сигналів.

В основі BladeRF 2.0 лежить 12 бітний аналого-цифровий перетворювач AD9361, який забезпечує високу роздільну здатність та точність обробки сигналів з низьким рівнем шуму.

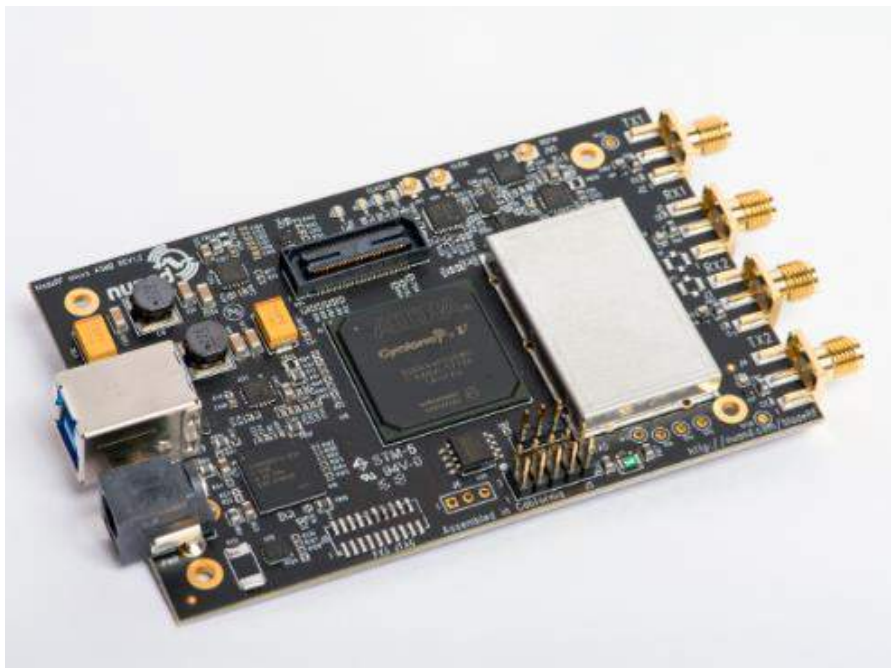


Рисунок 3.11 – Зовнішній вигляд приймача BladeRF 2.0

AD9361 — це універсальний радіочастотний трансивер, який має частотний діапазон від 70 МГц до 6 ГГц, з частотою дискретизації до 61,44 МГц для АЦП і до 1 ГГц для ЦАП. AD9361 підтримує різні типи модуляцій, включаючи QPSK, 16-QAM, 64-QAM, а також має вбудовану схему управління частотою (PLL) з широкими можливостями налаштування частоти для синхронізації. Блок схему AD9361 наведено на рисунку 3.12.

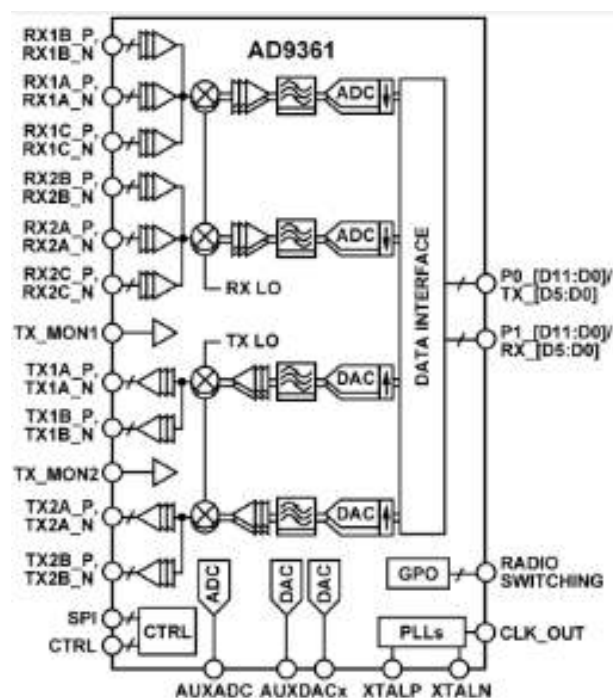


Рисунок 3.12 – Блок схема AD9361

Використана в BladeRF 2.0 ПЛІС Altera Cyclone IV, дозволяє реалізувати численні алгоритми обробки сигналів у реальному часі, забезпечуючи підтримку максимальних швидкостей обробки даних. FPGA дозволяє користувачеві реалізувати власні логічні схеми, адаптувати апаратне забезпечення під специфічні вимоги і алгоритми обробки.

Блок схема BladeRF 2.0 наведена на рисунку 3.13.

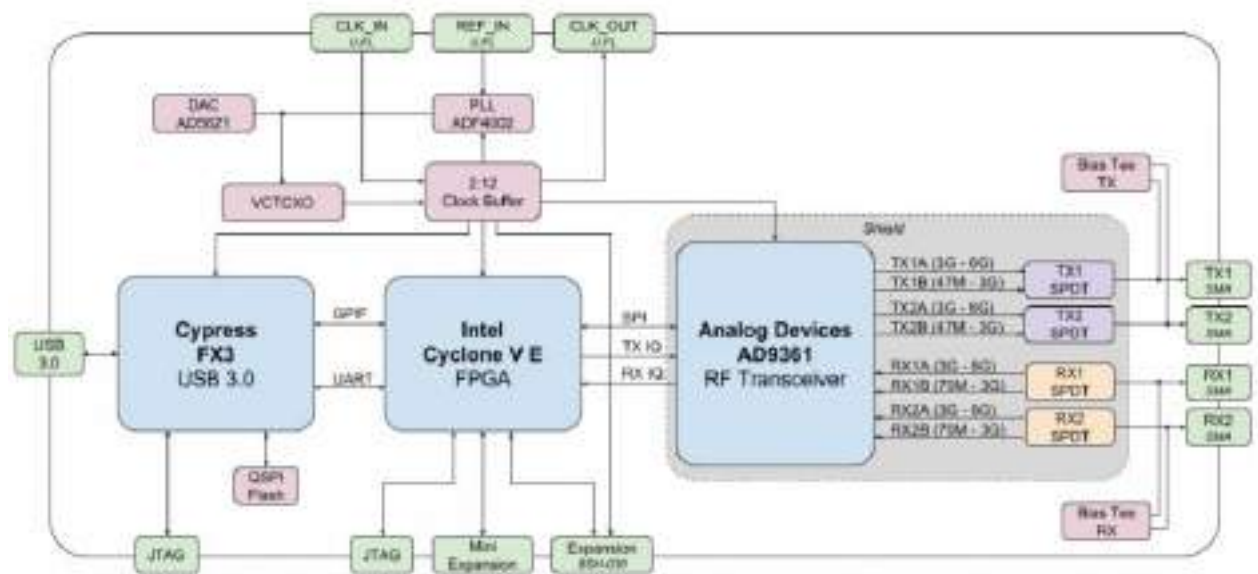


Рисунок 3.13 – Блок схема SDR приймача BladeRF 2.0

Однією з переваг використання ПЛІС в BladeRF 2.0 є те, що вона може підтримувати обробку багатоканальних сигналів одночасно, що відкриває нові можливості для ведення експериментів з радіозв'язком. Користувачі можуть формулювати складні схеми радіосистем з високою швидкістю і точністю обробки, реалізуючи алгоритми, які потребують паралельної обробки даних. Додатково, ПЛІС може швидко перепрограмуватись, що дозволяє вносити зміни в алгоритми без необхідності апаратних модифікацій, що має вирішальне значення у швидко змінюваній сфері цифрової обробки сигналів.

BladeRF 2.0 має USB 3.0 інтерфейс, що забезпечує швидку передачу даних між пристроєм і комп'ютером, дозволяючи обробляти великі обсяги радіосигналів у реальному часі. Пристрій стабільно працює при потужностях до 20 дБ на виході, що робить його привабливим вибором для систем, які потребують якісної передачі сигналів.

3.3 Огляд вимірювального обладнання

Для отримання достовірних результатів під час ведення радіорозвідки, чи пеленгації, обладнання, що використовується, має постійно піддватись контролю сторонніми вимірювальними приладами. Такими, як спектр аналізатори, вимірювачі параметрів антен і тд. В цьому розділі розглянемо популярні апаратно програмні рішення, які мають відповідні характеристики та задовільні співвідношення по ціні/якості.

Аналізатор спектру SA6-TG з трекінг-генератором

Широкосмуговий аналізатор сигналу з трекінг-генератором SA6-TG

SA6-TG – це портативний панорамний аналізатор спектру із вбудованим генератором сигналу, призначений для відображення спектрів сигналів у діапазоні частот від 35 до 6200 МГц. Прилад дозволяє визначити амплітуду та частоту сигналів. Зовнішній вигляд аналізатору SA-6 наведено на рисунку 3.14.

Важливою особливістю пристрою є наявність додаткової функції сигналу генератора, який дозволяє проводити виміри АЧХ пасивних або активних пристроїв, наприклад, фільтрів або підсилювачів. Програмне забезпечення пристрою дозволяє вимірювати КСХ.

Аналізатор спектру відображає спектри сигналів усіх поширених технологій: Wi-Fi, 2G, 3G, 4G, LTE, CDMA, DCS, GSM, GPRS, ГЛОНАСС тощо.

Основними перевагами аналізатора спектру SA6-TG є:

- Наявність кольорового резистивного дисплея з діагоналлю 3.2 дюйми
- Широкий діапазон частот: від 35 до 6200 МГц
- Швидке сканування діапазону частот: близько 500 мкс на точку
- Точність вимірювань: 2 дБ у межах динамічного діапазону 70-75 дБ

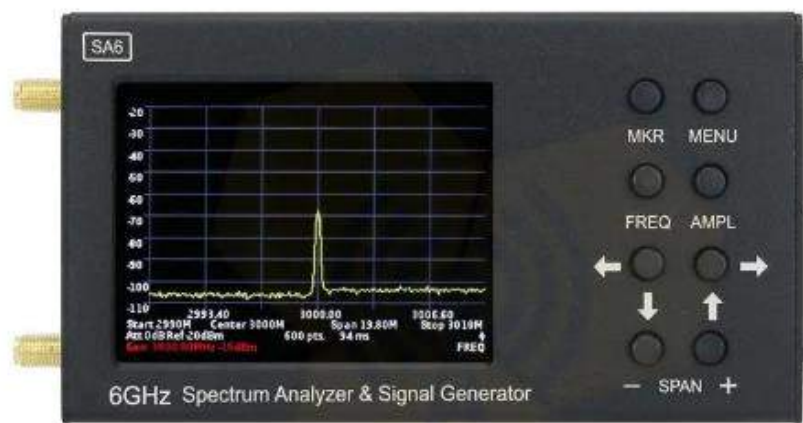


Рисунок 3.14 — зовнішній вигляд аналізатору спектру SA-6

Аналізатор спектру TinySa Ultra

Аналізатор спектру TinySA Ultra оснащений 4,0-дюймовим резистивним сенсорним кольоровим дисплеєм, який відображає повний діапазон частот при 450 точках сканування, і має в комплекті акумуляторну батарею для роботи до 2-х годин в портативному режимі. Крім того, аналізатор ТініСа має два різні режими: нормальний режим (до 800 МГц) та ультра режим (до 6 ГГц). TinySA Ultra має безліч вбудованих опцій налаштування, таких як смуговий фільтр, що перемикається, і ступінчастий вхідний атенюатор. Важливо пам'ятати, що максимальний вхідний рівень tinySA становить +6 дБм.

Аналізатор має функцію генератора сигналів синусоїдальної (від 100 кГц до 800 МГц) або прямокутної форми (від 100 кГц до 4,4 ГГц).

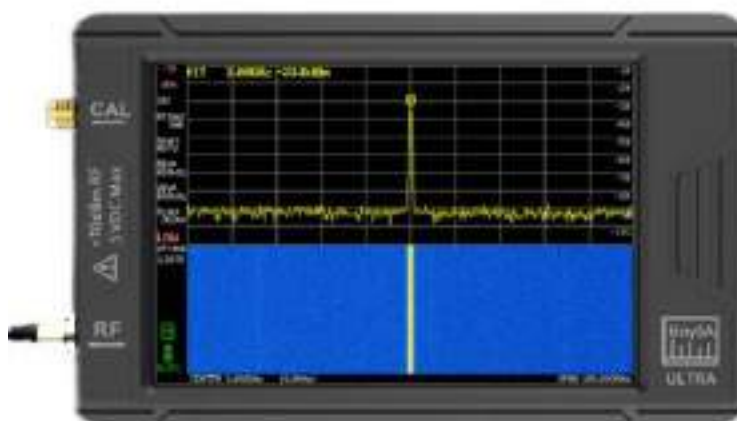


Рисунок 3.15 — зовнішній вигляд спектр аналізатору TinySa Ultra зі стандартною прошивкою

Крім того, важливою перевагою є його широке розповсюдження та наявність спеціалізованого програмного забезпечення від інженерів сил оборони України. Зокрема, доступне та постійно розвивається програмне забезпечення, що дозволяє виконувати моніторинг поточної радіо обстановки, та в разі виявлення радіосигналів класифікувати їх та визначати приналежність до конкретного типу безпілотних авіаційних систем. Приклад на рисунку 3.16.



Рисунок 3.16 — приклад інтерфейсу спеціалізованої прошивки для TinySA

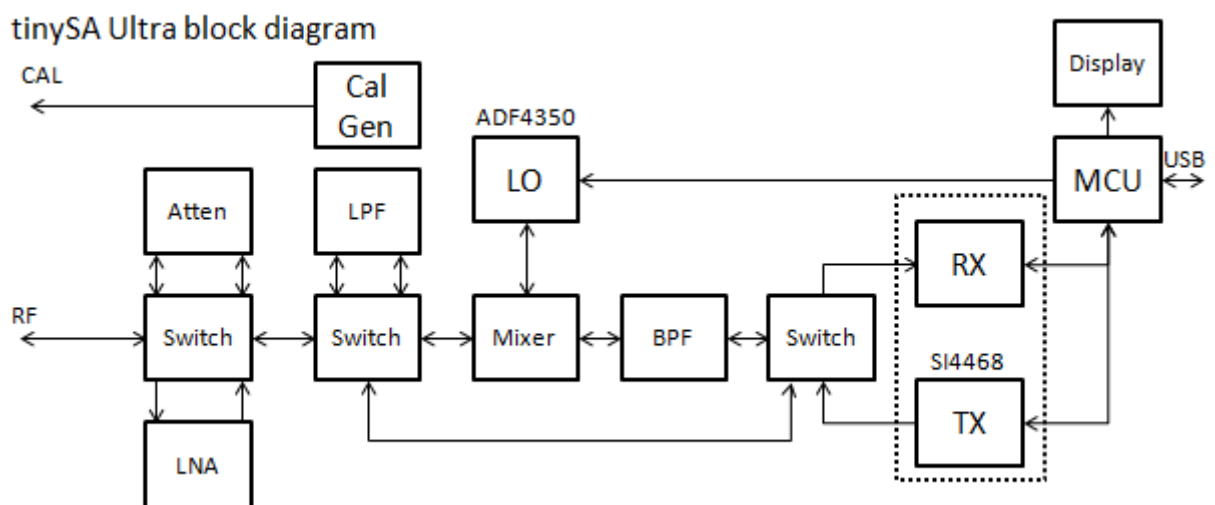


Рисунок 3.17 - Блок схема аналізатору спектру TinySA

Висновки до третього розділу

В даному розділі було розглянуто три моделі найбільш розповсюджених і доступних SDR приймачів на цивільному ринку.

RTL-SDR V3, HackRF One та BladeRF 2.0 — це три популярні рішення програмно визначеного радіо, які можуть використовуватися для радіомоніторингу та радіорозвідки.

RTL-SDR V3 є доступним USB-приймачем, який працює в діапазоні від 500 кГц до 1,7 ГГц, що робить його потужним інструментом для базового радіомоніторингу. Завдяки своїй низькій вартості (від 800 грн), RTL-SDR V3 може стати основною набору засобів для ведення радіорозвідки. Однак його 8-бітна роздільна здатність може обмежувати точність прийомів у порівнянні з конкурентами.

HackRF One, підтримує ширший частотний діапазон від 1 МГц до 6 ГГц. Ширина діапазону може бути визначною, в разі спостереження за сигналами безпілотних і подібних систем, що працюють вище 2.4 ГГц. Технічні характеристики включають 8 бітну роздільну здатність і USB 2.0 інтеграцію. Ціна HackRF One починається від 12500 грн.

BladeRF 2.0 є ще більш потужним пристроєм, частотний діапазон від 47 МГц до 6 ГГц, а також має 12 бітний АЦП і ЦАП, що забезпечує кращу якість обробки сигналів і вищу точність. BladeRF 2.0 здатен обробляти сигнали з відмінним співвідношенням сигнал/шум, що підходить для виконання складніших завдань в радіомоніторингу.

Ціна BladeRF 2.0 починається від 16500 грн. Ціна може змінюватись в залежності від комплектації.

Коли мова йде про радіомоніторинг, RTL-SDR V3 є відмінним рішенням для простих завдань, завдяки своїй доступності та простоті. HackRF One надає більше функцій і можливостей. Проте BladeRF забезпечує найвищу продуктивність і якість обробки сигналів, що робить його найбільш конкурентним поміж цих трьох приймачів.

4 ВИБІР СКЛАДОВИХ ПРИЙМАЛЬНОГО ТРАКТУ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РАДІОМОНІТОРИНГУ ТА РАДІОРОЗВІДКИ

4.1 Вибір типу антен

Вибір типу антен для проведення радіомоніторингу та радіорозвідки є критично важливим, оскільки характеристики антен прямо впливатимуть на успіх виконання бойового завдання. Вибір типу антен залежить від багатьох факторів, включаючи частоту радіосигналу, амплітуду, та інше.

Один із найпоширеніших типів антен для радіомоніторингу — це дипольна антена. Зовнішній вигляд дипольної антени УКХ діапазону наведено на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 – зовнішній вигляд дипольної антени УКХ діапазону

Дипольна антена відома своєю простотою виготовлення, низькою ціною, і можливістю ефективного прийому в широкому частотному діапазоні, оскільки в більшості випадків, є можливість змінювати розміри її вібраторів. Узагальнений вигляд діаграми направленості дипольної антени наведено на рисунку 4.2.

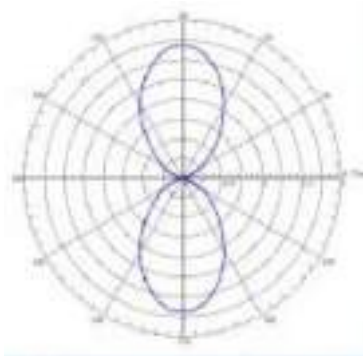


Рисунок 4.2 - Діаграма спрямованості дипольної антени

Розміри дипольних антен розраховуються за формулою:

$$I(z) = \begin{cases} I_0 \sin \left[k \left(\frac{L}{2} - z \right) \right], & 0 \leq z \leq \frac{L}{2} \\ I_0 \sin \left[k \left(\frac{L}{2} + z \right) \right], & -\frac{L}{2} \leq z \leq 0 \end{cases}$$

Разом з тим, враховуючи діаграму спрямованості дипольної антени, для ведення ефективної розвідки та якісного радіомоніторингу, комплект антен для SDR приймача має містити спрямовані антени різних діапазонів.

Для радіорозвідки та спеціалізованих завдань часто використовуються спрямовані антени, такі як логоперіодичні антени або Yagi антени. Ці антени забезпечують високу спрямованість, що дозволяє зосередити прийом сигналу в певному напрямку, підвищуючи чутливість при прийомі слабких сигналів, чи у випадку, коли необхідно відсіяти сторонні, потужні сигнали, які можуть надходити з азимутів, що не входять до зони відповідальності, чи ведення розвідки. Логоперіодичні антени особливо ефективні для пошуку та прийому радіосигналів зі слабкою амплітудою. Наприклад, на великих відстанях, завдяки своїй діаграмі спрямованості. Зовнішній вигляд логоперіодичної антени для УКХ діапазону наведено на рисунку 4.3.

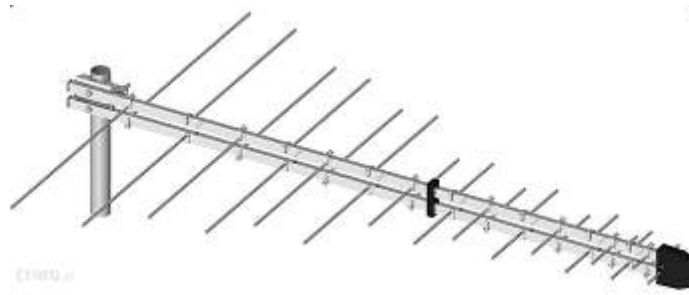


Рисунок 4.3 – Зовнішній вигляд логоперіодичної антени УКХ діапазону

Діаграма спрямованості типової логоперіодичної антени виглядає, як наведено на рисунку 4.4. Як видно на графіку, кут розкриття дозволяє виконувати не лише моніторинг вже виявлених сигналів, з відомими азимутами, але і використовувати логоперіодичну антену для пошуку та виявлення нових радіосигналів фізично змінюючи спрямованість логоперіодичної антени.

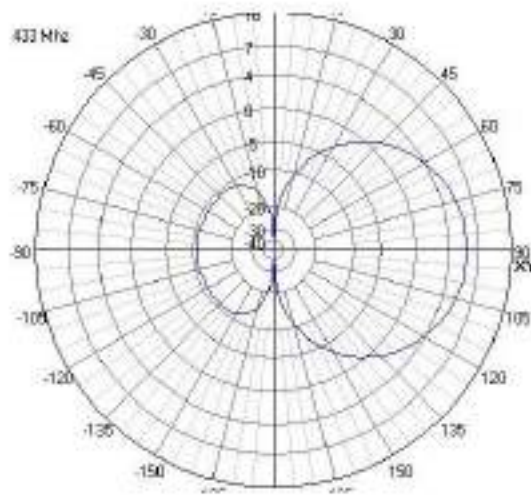


Рисунок 4.4 - Діаграма спрямованості дипольної антени

Yagi-антени є менш громіздкими, ніж логоперіодичні, при цьому також забезпечують діаграму спрямованості подібну до логоперіодичної, що може використовуватись для пошуку малопотужних радіосигналів.

Варто зазначити, що крім дипольної та логоперіодичної антени, в комплекті, слід мати біконічну антену. Зовнішній вигляд біконічної антени зображено на рисунку 4.5.



Рисунок 4.5 - Зовнішній вигляд біконічної антени

Біконічна антена чудово підходить, як оглядова антена, під час пошуку нових джерел радіовипромінювання. Діаграму спрямованості біконічної антени наведено на рисунку 4.6.

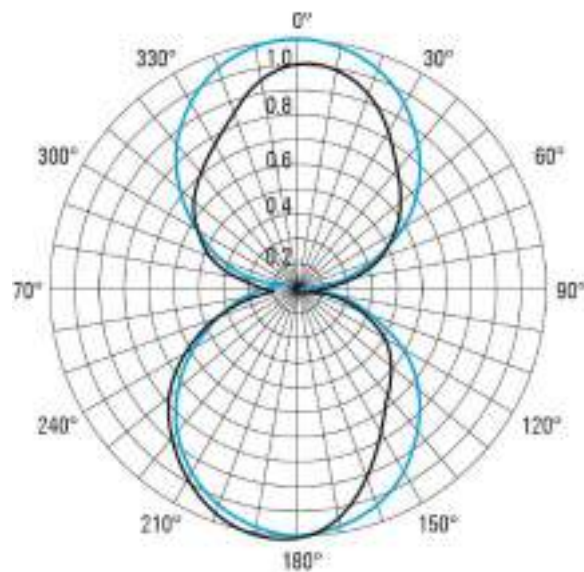


Рисунок 4.6 - Діаграма спрямованості біконічної антени

Вибір типу антени для радіомоніторингу і радіорозвідки повинен ґрунтуватися на конкретних завданнях, типом радіосигналів, які потрібно виявити. Збалансованість між простотою використання, чутливістю та спрямованістю гарантовано стане запорукою успіху у проведенні радіомоніторингу та ефективної радіорозвідки.

4.2 Вибір радіочастотного кабелю

Для виконання радіомоніторингу в УКХ-діапазоні необхідно застосовувати відповідні радіочастотні (РЧ) кабелі, які забезпечать низький рівень згасання сигналу, та суттєво не погіршуватимуть характеристики приймального тракту.

Враховуючи вимоги до РЧ кабелів при роботі в УКХ діапазоні, варто виокремити 3 найбільш відповідних марки кабелю.

RG-58

Кабель RG-58 використовується в бездротових системах зв'язку, коефіцієнт згасання: 14,9 Дб/100м при частоті 100МГц. Імпеданс кабелю становить 50 Ом і є стандартом для даного типу кабелів. RG-58 є ефективним

вибором для УКХ радіомоніторингу та радіорозвідки, згасання сигналу є прийнятним для використання в цьому діапазоні частот. Однією з переваг RG-58 є його гнучкість, що дозволить швидко змонтувати і демонтувати приймальне обладнання для ведення радіорозвідки. Зовнішній вигляд кабелю RG-58 наведено на рисунку 4.7.



Рисунок 4.7 - Зовнішній вигляд кабелю RG-58

RG-213

Імпеданс кабелю RG-213 становить 50 Ом, але на відміну від RG-58, він має більший діаметр, що забезпечує нижчий рівень згасання сигналу, а саме: коефіцієнт згасання: 13 Дб/100м при частоті 100МГц. RG-213 часто використовується під час стаціонарного монтажу та у випадках, де є потреба у використанні кабелів збільшеної довжини. Конструкція кабелю дозволяє зменшити згасання, та вплив завад, що актуально для радіомоніторингу. Крім того, RG-213 забезпечує хорошу механічну стійкість, що є корисним для використання в умовах, якщо кабель може зазнавати значного фізичного впливу. Зовнішній вигляд кабелю RG-213 наведено на рисунку 4.8.



Рисунок 4.8 - Зовнішній вигляд кабелю RG-213

LMR-400

Кабель LMR-400 є аналогом відомого кабелю RG-8 розроблений зі специфікаціями, які дозволяють отримувати низькі втрати сигналу в УКХ діапазоні. Імпеданс кабелю LMR-400 становить 50 Ом, разом з тим, коефіцієнт згасання найнижчий з трьох даних кабелів: 5 Дб/100м при частоті 100МГц конструкція кабелю забезпечує більшу механічну стійкість, та більш стійкий до завад, що можуть впливати роботу приймального тракту. Зовнішній вигляд кабелю LMR-400 наведено на рисунку 4.9.



Рисунок 4.9 - Зовнішній вигляд кабелю LMR-400

Висновки до четвертого розділу

Дипольна антена є однією з найпростіших і найпоширеніших антен у радіотехніці завдяки своїй універсальності та ефективності. Діаграма спрямованості даної антени дозволяє використовувати її, як оглядову для пошуку та виявлення нових джерел радіовипромінювання. Крім того, її вартість та легкість виготовлення, дозволяють широко застосовувати дипольну для різних задач. Тому дипольна антена була обраною, в якості оглядової.

Логоперіодична антена дозволяє працювати з широким діапазоном частот, що є зручним під час виконання радіомоніторингу. На відміну від дипольної антени, логоперіодична забезпечує більш стабільний коефіцієнт підсилення на всьому діапазоні робочих частот. Діаграма спрямованості антени дозволяє проводити дорозвідку і виявляти сигнали, які ледь піддаються виявленню під час використання оглядових антен. Тому така антена буде використана, в якості спрямованої антени для пошуку і ідентифікації малопотужних сигналів.

В якості основного кабелю, було обрано кабель марки RG-213. Оскільки його параметри та вартість відповідає задачам, які необхідно буде вирішити.

Комбінація дипольної, логоперіодичної антени та кабелю RG-213 дозволить створити збалансовану та ефективну систему для радіомоніторингу, Програмне забезпечення для роботи з SDR приймачами

Для роботи з SDR-приймачами існує чимало програмного забезпечення, як з відкритим кодом, так і готові комерційні рішення. Це дуже зручно, оскільки під час підбору обладнання, та його налаштування під виконання конкретної задачі, може виникнути ситуація, коли програмне, чи апаратне забезпечення не може задовольнити поточні потреби. В такому випадку в нагоді стає програмне забезпечення з відкритим кодом, та можливістю підключення додаткових модулів.

5 РОБОТА З ПРОГРАМНИМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ

5.1 GNU Radio

Це платформа з відкритим кодом, яка використовується для досліджень, експериментів та навчання в області радіотехніки. Може використовуватись для захоплення та обробки сигналів. Дозволяє створювати блок-схеми обробки сигналів і підтримує широкий спектр SDR-пристроїв, таких як RTL-SDR, HackRF, USRP, BladeRF та інші.

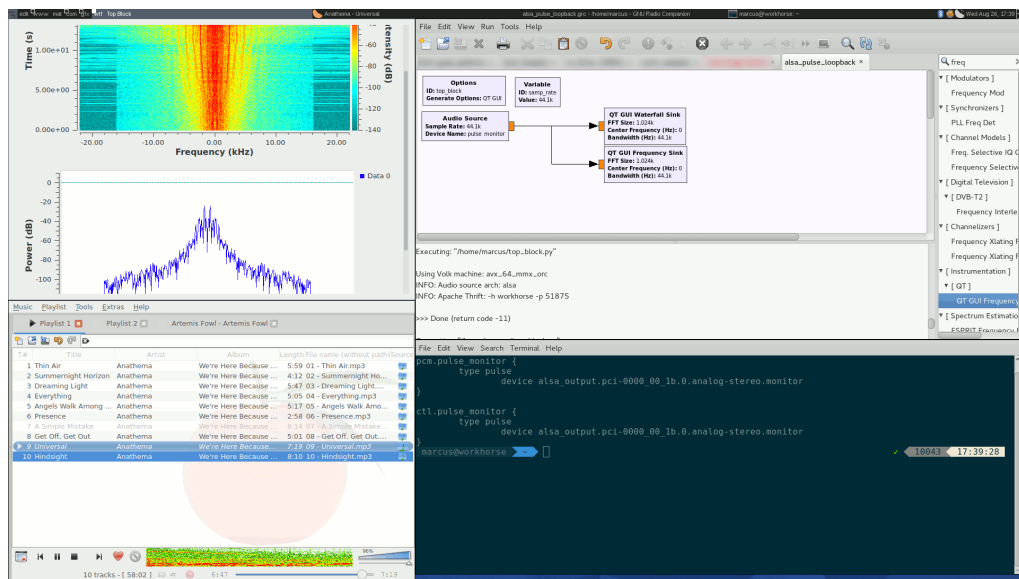


Рисунок 5.1 – приклад інтерфейсу GNU Radio

GNU Radio використовує потокову обробку сигналів, де дані передаються через блоки, кожен з яких виконує певну функцію. Ці блоки можуть бути джерелами сигналів (наприклад, SDR-приймачі), обробними блоками (фільтри, демодулятори) або приємниками (визуалізація, запис даних).

Основні принципи архітектури GNU Radio:

- Модульність: Легко додавати нові блоки або замінювати існуючі.
- Розширюваність: Підтримка різних SDR-пристроїв через відповідні драйвери.
- Паралельна обробка: Можливість використання багатоядерних процесорів для підвищення продуктивності.

Для підключення і коректної сканування приймачем BladeRF 2.0 діапазону від 400 до 470 МГц, необхідно виконати підключення приймача та написати відповідну програму. Код програми зображений на рисунку 5.2.

```

1  #include <iolibbladerf.h>
2  #include <iostream>
3  #include <vector>
4  #include <thread>
5  #include <chrono>
6  #include <fstream>
7
8  void process_signal(int amplitude_threshold) {
9      // Запис у файл, якщо амплітуда перевищує поріг
10     std::ofstream outfile("detected_signal.dat", std::ios::binary);
11     if (outfile.is_open()) {
12         // Тут ми будемо записувати оброблені дані
13         outfile << "Signal detected above threshold!" << std::endl;
14         outfile.close();
15     }
16 }
17
18 void scan_frequencies(bladerf *dev) {
19     const double start_freq = 400e6; // 400 MHz
20     const double end_freq = 470e6; // 470 MHz
21     const double step = 100e3; // Step size of 100 kHz
22
23     for (double freq = start_freq; freq <= end_freq; freq += step) {
24         int status = bladerf_set_frequency(dev, BLADERF_MODULE_RX, static_cast<uint32_t>(freq));
25         if (status != 0) {
26             std::cerr << "Failed to set frequency to " << freq / 1e6 << " MHz. " << bladerf_strerror(status) << std::endl;
27             continue;
28         }
29
30         // Тут потрібно реалізувати логіку читання сигналу
31         // Зробимо просто затримку для ілюстрації обробки
32         std::this_thread::sleep_for(std::chrono::milliseconds(100));
33
34         // Тут вставте код для обробки зчитаних сигналів
35         // Для простоти, вважимо, що ми отримали амплітуду
36         int signal_amplitude = rand() % 10; // Зміна на реальній рівні сигналу
37
38         std::cout << "Scanning frequency: " << freq / 1e6 << " MHz, Detected amplitude: " << signal_amplitude << std::endl;
39
40         int signal_amplitude = rand() % 10; // Зміна на реальній рівні сигналу
41
42         std::cout << "Scanning frequency: " << freq / 1e6 << " MHz, Detected amplitude: " << signal_amplitude << std::endl;
43
44         if (signal_amplitude > 5) {
45             std::cout << "Signal detected above threshold at " << freq / 1e6 << " MHz!" << std::endl;
46             process_signal(signal_amplitude);
47             break; // Зупинити сканування при виявленні сигналу
48         }
49     }
50 }
51
52 int main() {
53     bladerf *dev = nullptr;
54     int status = bladerf_open(&dev, nullptr); // Відкриття першого доступного пристрою
55
56     if (status != 0) {
57         std::cerr << "Failed to open BladeRF device: " << bladerf_strerror(status) << std::endl;
58         return -1;
59     }
60
61     scan_frequencies(dev);
62
63     bladerf_close(dev);
64     return 0;
65 }

```

Рисунок 5.2 – Код програми для сканування діапазону 400 – 470 МГц за допомогою BladeRF

Аналогічно створимо програму для сканування нижнього діапазону 130 – 178 МГц. Код програми наведено на рисунку 5.3.

```

1  #include <libbladeRF.h>
2  #include <iostream>
3  #include <thread>
4  #include <vector>
5  #include <fstream>
6
7  void record_signal(int amplitude) {
8      std::ofstream outfile("detected_signal.dat", std::ios::binary);
9      if (outfile.is_open()) {
10         outfile << "Signal detected with amplitude: " << amplitude << std::endl;
11         outfile.close();
12     }
13 }
14
15 void scan_frequencies(bladerf *dev) {
16     const double start_freq = 130e6; // 130 MHz
17     const double end_freq = 178e6; // 178 MHz
18     const double step = 100e3; // Step size of 100 kHz
19
20     for (double freq = start_freq; freq <= end_freq; freq += step) {
21         int status = bladerf_set_frequency(dev, BLADERF_MODULE_RX, static_cast<uint32_t>(freq));
22         if (status != 0) {
23             std::cerr << "Failed to set frequency to " << freq / 1e6 << " MHz: " << bladerf_strerror(status) << std::endl;
24             continue;
25         }
26
27         // Прочинена затримка для стабілізації сигналу
28         std::this_thread::sleep_for(std::chrono::milliseconds(100));
29
30         // Зчитування сигналу: тут слід вказати код для обробки прерітис.
31         // Випадкова, фіксована амплітуда для імітації
32         int signal_amplitude = rand() % 50; // Генерація випадкової амплітуди для тестування
33
34         std::cout << "Scanning frequency: " << freq / 1e6 << " MHz, Detected amplitude: " << signal_amplitude << std::endl;
35
36         if (signal_amplitude > 1) {
37             std::cout << "Signal detected above threshold at " << freq / 1e6 << " MHz!" << std::endl;
38             record_signal(signal_amplitude);
39
40             break; // Зупинити сканування при виявленні сигналу
41         }
42     }
43 }
44
45 int main() {
46     bladerf *dev = nullptr;
47     int status = bladerf_open(&dev, nullptr); // Відкриття першого доступного пристрою
48
49     if (status != 0) {
50         std::cerr << "Failed to open BladeRF device: " << bladerf_strerror(status) << std::endl;
51         return -1;
52     }
53
54     scan_frequencies(dev);
55
56     bladerf_close(dev);
57     return 0;
58 }

```

Рисунок 5.3 – Код програми для сканування діапазону 130 – 178 МГц за допомогою BladeRF

5.2 SDR#

SDR# - це програмне забезпечення з графічним інтерфейсом, яке дозволяє користувачам приймати та обробляти сигнали з SDR-приймачів. Програма підтримує широкий спектр радіочастотних діапазонів і видів модуляції, таких як FM, AM, SSB, CW, цифрові види (DMR, P25, ACARS та інші) і навіть складніші сигнали за допомогою додаткових плагінів.

SDR# розроблено компанією Airspy і оптимізовано для роботи з їхніми пристроями (зокрема, Airspy і Airspy HF+), але також підтримує багато інших приймачів, таких як RTL-SDR, HackRF і FUNcube Dongle.

Широкий частотний діапазон: залежить від приймача, може охоплювати від 24 МГц до 1,7 ГГц (наприклад, для RTL-SDR) або 6 ГГц для приймачів із більшим діапазоном.

Підтримка різних видів модуляції: AM, FM, USB, LSB, CW та інші.

Широкий набір плагінів: SDR# підтримує численні плагіни, які додають функції, такі як декодування цифрових сигналів, автоматичне сканування частот, запис сигналів, керування каналами та інші.

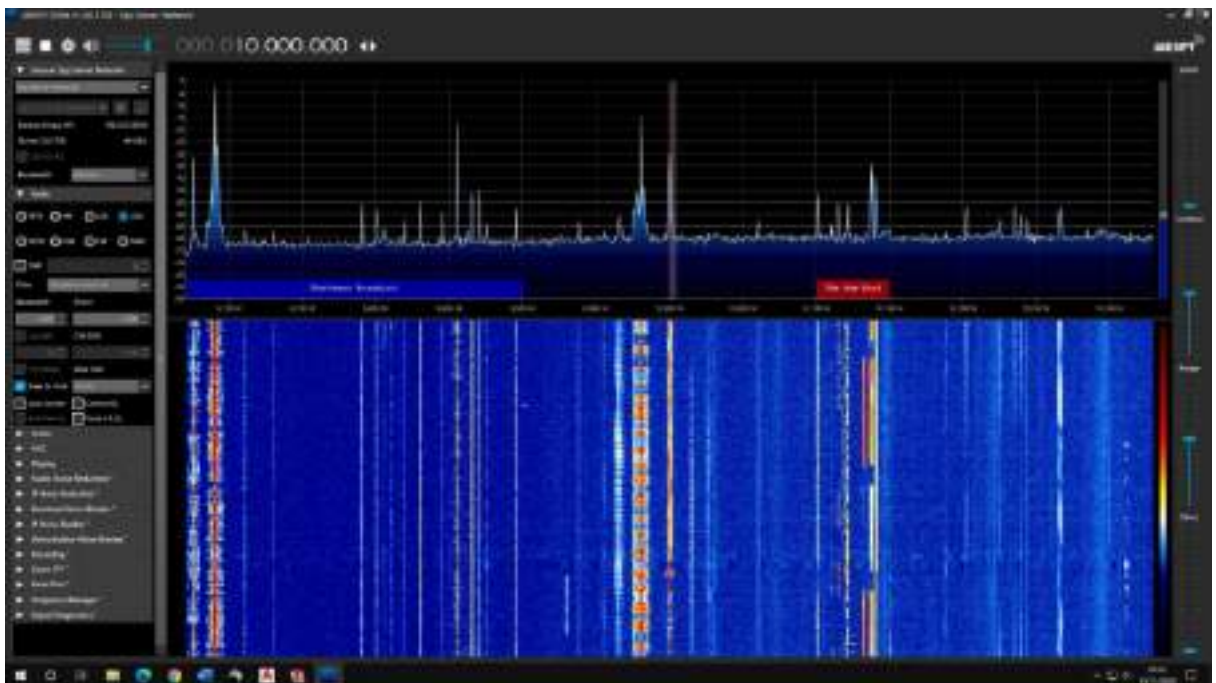


Рисунок 5.4 – приклад графічного інтерфейсу SDR#

Для коректної роботи BladeRF в середовищі SDR# необхідно написати програму. Код програми наведено на рисунку 5.5.

```
2 using System.Runtime.InteropServices;
3
4 class Program
5 {
6     // Оголошення зовнішніх функцій з libbladeRF.dll
7     [DllImport("libbladeRF.dll", CallingConvention = CallingConvention.Cdecl)]
8     public static extern int bladerf_open(ref IntPtr dev, string device_identifier);
9
10    [DllImport("libbladeRF.dll", CallingConvention = CallingConvention.Cdecl)]
11    public static extern int bladerf_set_frequency(IntPtr dev, int module, uint frequency);
12
13    [DllImport("libbladeRF.dll", CallingConvention = CallingConvention.Cdecl)]
14    public static extern int bladerf_close(IntPtr dev);
15
16    static void Main(string[] args)
17    {
18        IntPtr dev = IntPtr.Zero; // Змінна для зберігання дескриптора пристрою
19        int status;
20
21        // Відкриття пристрою BladeRF
22        status = bladerf_open(ref dev, null);
23        if (status != 0)
24        {
25            Console.WriteLine("Failed to open BladeRF device: " + Marshal.PtrToStringAnsi(new IntPtr(status)));
26            return;
27        }
28
29        // Налаштування частоти. Наприклад, 1 ГГц = 1000000000 Гц
30        uint frequency = 1000000000; // 1 GHz
31        status = bladerf_set_frequency(dev, 0, frequency); // 0 - це модуль RX
32        if (status != 0)
33        {
34            Console.WriteLine("Failed to set frequency: " + Marshal.PtrToStringAnsi(new IntPtr(status)));
35            bladerf_close(dev);
36            return;
37        }
38
39        Console.WriteLine($"Successfully set the frequency to {(frequency / 1e6)} MHz.");
40
41        // Налаштування частоти. Наприклад, 1 ГГц = 1000000000 Гц
42        uint frequency = 1000000000; // 1 GHz
43        status = bladerf_set_frequency(dev, 0, frequency); // 0 - це модуль RX
44        if (status != 0)
45        {
46            Console.WriteLine("Failed to set frequency: " + Marshal.PtrToStringAnsi(new IntPtr(status)));
47            bladerf_close(dev);
48            return;
49        }
50
51        Console.WriteLine($"Successfully set the frequency to {(frequency / 1e6)} MHz.");
52
53        // Закриття BladeRF пристрою
54        bladerf_close(dev);
55        Console.WriteLine("BladeRF device closed.");
56    }
57 }
```

Рисунок 5.5 – Код програми підключення та налаштування BladeRF

Для виконання сканування діапазону 130 - 178 BladeRF в середовищі SDR# необхідно написати програму. Код програми наведено на рисунку 5.6.

```

1  #include <libbladerf.h>
2  #include <iostream>
3  #include <vector>
4  #include <thread>
5  #include <chrono>
6  #include <fstream>
7
8  void record_signal(uint32_t frequency) {
9      std::ofstream outfile("detected_signal_" + std::to_string(frequency / 1e6) + ".MHz.dat", std::ios::binary);
10     if (outfile.is_open()) {
11         outfile << "Signal detected at frequency: " << frequency / 1e6 << " MHz" << std::endl;
12         outfile.close();
13     }
14 }
15
16 void scan_frequencies(bladerf *dev) {
17     const double start_freq = 130e6; // 130 MHz
18     const double end_freq = 178e6; // 178 MHz
19     const double step = 100e3; // Step size of 100 kHz
20
21     for (double freq = start_freq; freq <= end_freq; freq += step) {
22         int status = bladerf_set_frequency(dev, BLADERF_MODULE_RX, static_cast<uint32_t>(freq));
23         if (status != 0) {
24             std::cerr << "Failed to set frequency to " << freq / 1e6 << " MHz: " << bladerf_strerror(status) << std::endl;
25             continue;
26         }
27
28         // Система для обмеження часу
29         std::this_thread::sleep_for(std::chrono::milliseconds(100));
30
31         // Тут повинна бути логіка, яка обробляє прийняті сигнали
32         // Для демонстрації: згенеруємо випадковий рівень амплітуди
33         int signal_amplitude = rand() % 10; // Система замість реальної обробки сигналу
34
35         std::cout << "Scanning frequency: " << freq / 1e6 << " MHz, Detected amplitude: " << signal_amplitude << std::endl;
36
37         if (signal_amplitude > 1) {
38             std::cout << "Signal detected above threshold at " << freq / 1e6 << " MHz" << std::endl;
39
40             std::cout << "Scanning frequency: " << freq / 1e6 << " MHz, Detected amplitude: " << signal_amplitude << std::endl;
41
42             if (signal_amplitude > 3) {
43                 std::cout << "Signal detected above threshold at " << freq / 1e6 << " MHz" << std::endl;
44                 record_signal(static_cast<uint32_t>(freq));
45                 break; // Зупинити сканування при виявленні сигналу
46             }
47         }
48     }
49 }
50
51 int main() {
52     bladerf *dev = nullptr;
53     int status = bladerf_open(&dev, nullptr); // Випуск специфікаторів BladeRF
54     if (status != 0) {
55         std::cerr << "Failed to open BLADERF device: " << bladerf_strerror(status) << std::endl;
56         return -1;
57     }
58
59     scan_frequencies(dev);
60
61     bladerf_close(dev);
62     return 0;
63 }

```

Рисунок 5.6 – Код програми для сканування діапазону 130 – 178 МГц за допомогою BladeRF в програмі SDR#

Для виконання сканування діапазону 400 - 470 BladeRF в середовищі SDR# необхідно написати програму. Код програми наведено на рисунку 5.7.

```

1  #include <iolibbladeRF.h>
2  #include <iostream>
3  #include <ithread>
4  #include <vector>
5  #include <ifstream>
6  #include <complex>
7
8  void record_signal(const std::vector<std::complex<int16_t>>& samples) {
9      std::ofstream outfile("detected_signal.dat", std::ios::binary);
10     if (outfile.is_open()) {
11         for (const auto& sample : samples) {
12             outfile.write(reinterpret_cast<const char*>(&sample), sizeof(sample));
13         }
14         outfile.close();
15     }
16 }
17
18 void scan_frequencies(bladeRF *dev) {
19     const double start_freq = 400e6; // 400 MHz
20     const double end_freq = 470e6; // 470 MHz
21     const double step = 100e3; // Step size of 100 kHz
22
23     for (double freq = start_freq; freq <= end_freq; freq += step) {
24         int status = bladeRF_set_frequency(dev, BLADERF_MODULE_RX, static_cast<int32_t>(freq));
25         if (status != 0) {
26             std::cerr << "Failed to set frequency to " << freq / 1e6 << " MHz: " << bladeRF_strerror(status) << std::endl;
27             continue;
28         }
29
30         // Suppress spurs and harmonics
31         std::this_thread::sleep_for(std::chrono::milliseconds(100));
32
33         // Suppress spurs and harmonics
34         const int num_samples = 1024; // Minimum spurs and harmonics
35         std::vector<std::complex<int16_t>> samples(num_samples);
36         status = bladeRF_rx_read(dev, samples.data(), num_samples, NULL);
37         if (status < 0) {
38             std::cerr << "Failed to read samples: " << bladeRF_strerror(status) << std::endl;
39             continue;
40         }
41
42         // Suppress spurs and harmonics
43         int amplitude = 0;
44         for (const auto& sample : samples) {
45             amplitude = std::max(amplitude, static_cast<int>(std::abs(sample)));
46         }
47
48         std::cout << "Scanning frequency: " << freq / 1e6 << " MHz, Detected amplitude: " << amplitude << std::endl;
49
50         if (amplitude > 1) {
51             std::cout << "Signal detected above threshold at " << freq / 1e6 << " MHz!" << std::endl;
52             record_signal(samples); // Record samples
53             break; // Stop scanning spurs and harmonics
54         }
55     }
56 }
57
58 int main() {
59     bladeRF *dev = nullptr;
60     int status = bladeRF_open(&dev, nullptr); // Відкриття першого доступного пристрою
61     if (status != 0) {
62         std::cerr << "Failed to open BladeRF device: " << bladeRF_strerror(status) << std::endl;
63         return -1;
64     }
65
66     scan_frequencies(dev);
67
68     bladeRF_close(dev);
69     return 0;
70 }

```

Рисунок 5.7 – код програми для сканування діапазону 400 – 470 МГц

5.3 GQRX

Gqrx — це безкоштовна програма для програмно-визначеного радіо (SDR), яка працює на основі GNU Radio та підтримує різні SDR-приймачі. Вона розроблена для прийому, обробки та аналізу радіосигналів на різних частотах. Gqrx відома простим і зручним інтерфейсом, стабільністю та сумісністю з багатьма SDR-пристроями, зокрема RTL-SDR, HackRF, Funcube Dongle, LimeSDR та іншими.

Прийом та аналіз радіосигналів: Gqrx дозволяє приймати радіосигнали на широкому діапазоні частот, залежно від характеристик використовуваного приймача.

GQRX забезпечує підтримку різних видів модуляції: AM, FM (широкі та вузькі), LSB, USB, CW та інші.

Графічний інтерфейс користувача доволі простий у використанні. Завдяки графічному інтерфейсу, користувач отримує доступ до налаштування частоти, модуляції, смуги пропускання, а також для візуалізації спектру і водоспаду, та багатьох інших можливостей.

GQRX дозволяє виконувати запис сигналів у форматі IQ, що дає змогу зберігати сигнал для подальшого аналізу.

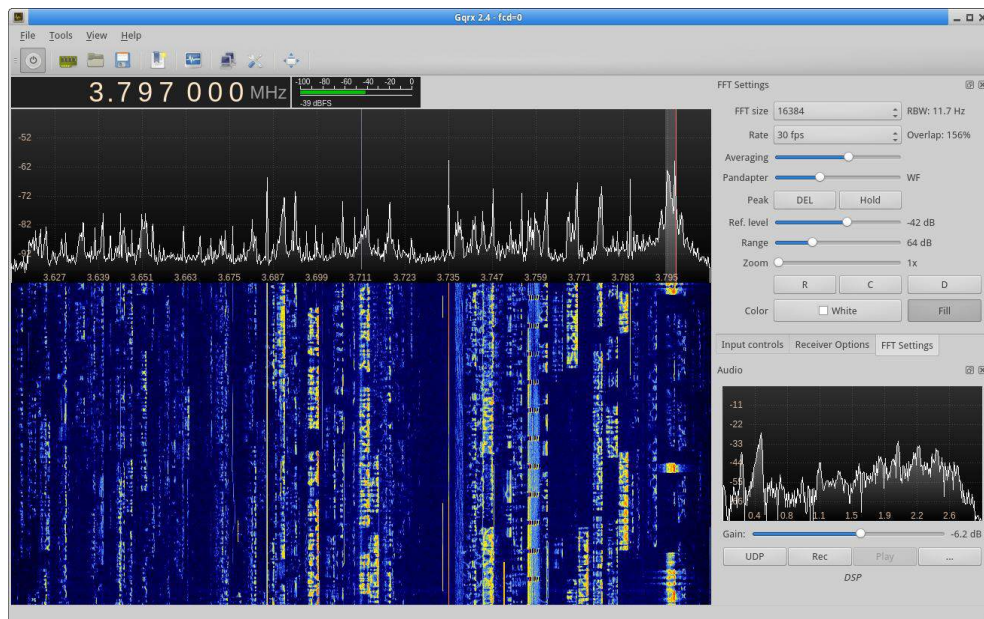


Рисунок 5.8 – приклад графічного інтерфейсу GQRX

Для того щоб підключити BladeRF та налаштувати його на сканування діапазону 130 – 178 МГц необхідно написати програму. Код програми наведено на рисунку 5.9.

```
1  #!/usr/bin/env python3
2  from gnuradio import gr
3  from gnuradio import blocks
4  from gnuradio import analog
5  import bladerf
6  import numpy as np
7  import time
8
9  class freq_scanner(gr.top_block):
10     def __init__(self, start_freq, end_freq):
11         gr.top_block.__init__(self, "Frequency Scanner")
12
13         self.samp_rate = 1e6
14         self.blade = bladerf.bladeRF(0)
15         self.blade.set_sample_rate(self.samp_rate)
16
17         # Set up blocks
18         self.fm_demod = analog.wfm_rcv(quad_rate=self.samp_rate, audio_decimation=10)
19         self.audio_sink = blocks.wavfile_sink("detected_signal.wav", 1, 44100, 16)
20
21         # Connect blocks
22         self.connect(self.blade, self.fm_demod, self.audio_sink)
23
24         # Frequency scanning logic
25         self.current_freq = start_freq
26         self.end_freq = end_freq
27
28     def scan_frequencies(self):
29         while self.current_freq <= self.end_freq:
30             self.blade.set_frequency(self.current_freq)
31             time.sleep(1) # Allow some time for the receiver to stabilize
32
33             # Process samples
34             samples = self.blade.receive_samples(1024)
35             amplitude = np.max(np.abs(samples))
36
37             print(f"Scanning frequency: {self.current_freq / 1e6} MHz, Detected amplitude: {amplitude}")
38
39             if amplitude > 1:
40                 print(f"Signal detected at frequency {self.current_freq / 1e6} MHz")
41                 self.start() # Start the flowgraph
42                 break
43
44             self.current_freq += 100e3 # Step by 100 kHz
45
46 if __name__ == '__main__':
47     start_freq = 130e6 # 130 MHz
48     end_freq = 178e6 # 178 MHz
49     scanner = freq_scanner(start_freq, end_freq)
50     scanner.scan_frequencies()
```

Рисунок 5.9 - код програми для сканування діапазону 130 – 170 МГц

Для того щоб підключити BladeRF та налаштувати його на сканування діапазону 400 – 470 МГц необхідно написати програму. Код програми наведено на рисунку 5.10.

```

1  from gnuradio import gr
2  from gnuradio import analog, blocks
3  from gnuradio import osmosdr
4  import numpy as np
5  import time
6  import sys
7
8  class FrequencyScanner(gr.top_block):
9      def __init__(self, start_freq, end_freq):
10         super(FrequencyScanner, self).__init__("Frequency Scanner")
11         self.start_freq = start_freq
12         self.end_freq = end_freq
13         self.samp_rate = 1e6
14         self.frequency = start_freq
15
16         self.source = osmosdr.source(args="numchan=1")
17         self.source.set_sample_rate(self.samp_rate)
18         self.source.set_center_freq(self.frequency, 0)
19         self.source.set_bw(200e3)
20         self.source.set_gain(20)
21
22         self.threshold = 1
23         self.amplitude_sink = blocks.message_debug()
24
25         self.connect(self.source, self.amplitude_sink)
26
27     def scan_frequencies(self):
28         while self.frequency <= self.end_freq:
29             self.source.set_center_freq(self.frequency, 0)
30             self.start()
31             time.sleep(1)
32
33             # Отримати дані та аналізувати амплітуду
34             samples = np.zeros(1024, dtype=np.complex64)
35             self.source.read_samples(samples)
36             amplitude = np.max(np.abs(samples))
37
38             print(f"Scanning frequency: {self.frequency / 1e6:.2f} MHz, Detected amplitude: {amplitude}")
39
40             if amplitude > self.threshold:
41                 print(f"Signal detected at {self.frequency / 1e6:.2f} MHz!")
42                 self.record_signal(samples)
43                 break
44
45             self.frequency += 100e3 # Move the frequency by 100 kHz
46
47     def record_signal(self, samples):
48         with open("detected_signal.dat", "wb") as f:
49             f.write(samples.tobytes())
50
51 if __name__ == '__main__':
52     start_freq = 400e6 # 400 MHz
53     end_freq = 470e6 # 470 MHz
54     scanner = FrequencyScanner(start_freq, end_freq)
55     scanner.scan_frequencies()

```

Рисунок 5.10 - код програми для сканування діапазону 130 – 170 МГц

5.4 SDRangel

SDRangel — це багатофункціональна програма для програмно-визначеного радіо (SDR), яка підтримує як прийом, так і передачу сигналів. SDRangel відома широким спектром можливостей для роботи з цифровими і аналоговими радіосигналами, а також своєю здатністю обробляти сигнали в реальному часі. Програма має відкритий код і працює на операційних системах Linux та Windows.

SDRangel надає комплексний інструментарій для обробки та аналізу радіосигналів, підтримуючи як базові функції, так і розширені можливості для досліджень і експериментів:

На відміну від багатьох інших програм, SDRangel підтримує як прийом, так і передачу, що дозволяє проводити експерименти з сигналами.

Однією з головних особливостей SDRangel є можливість працювати з широким спектром модуляцій AM, FM, SSB, CW та багатьма цифровими модуляціями, такими як DMR, D-Star, C4FM, P25 та інші. Здатність цієї програми обробляти DMR та P25 модуляції особливо важливо для застосування її для виконання задач на полі бою.

Дана програма має модульну архітектуру, що дозволяє додавати різні плагіни для обробки сигналів — від декодування цифрових протоколів до сканування частот. Крім того, SDRangel забезпечує чітку і зрозумілу візуалізацію спектру, що приймається та водоспаду: інтерфейс включає спектральний аналіз і водоспад для реального відображення сигналів у визначеному частотному діапазоні.

Важливою є можливість працювати з кількома пристроями одночасно підключати і використовувати кілька приймачів або передавачів одночасно, що відкриває широкі можливості для багатоканальної обробки сигналів. Це значно розширює можливості оператора під час роботи з даною програмою.

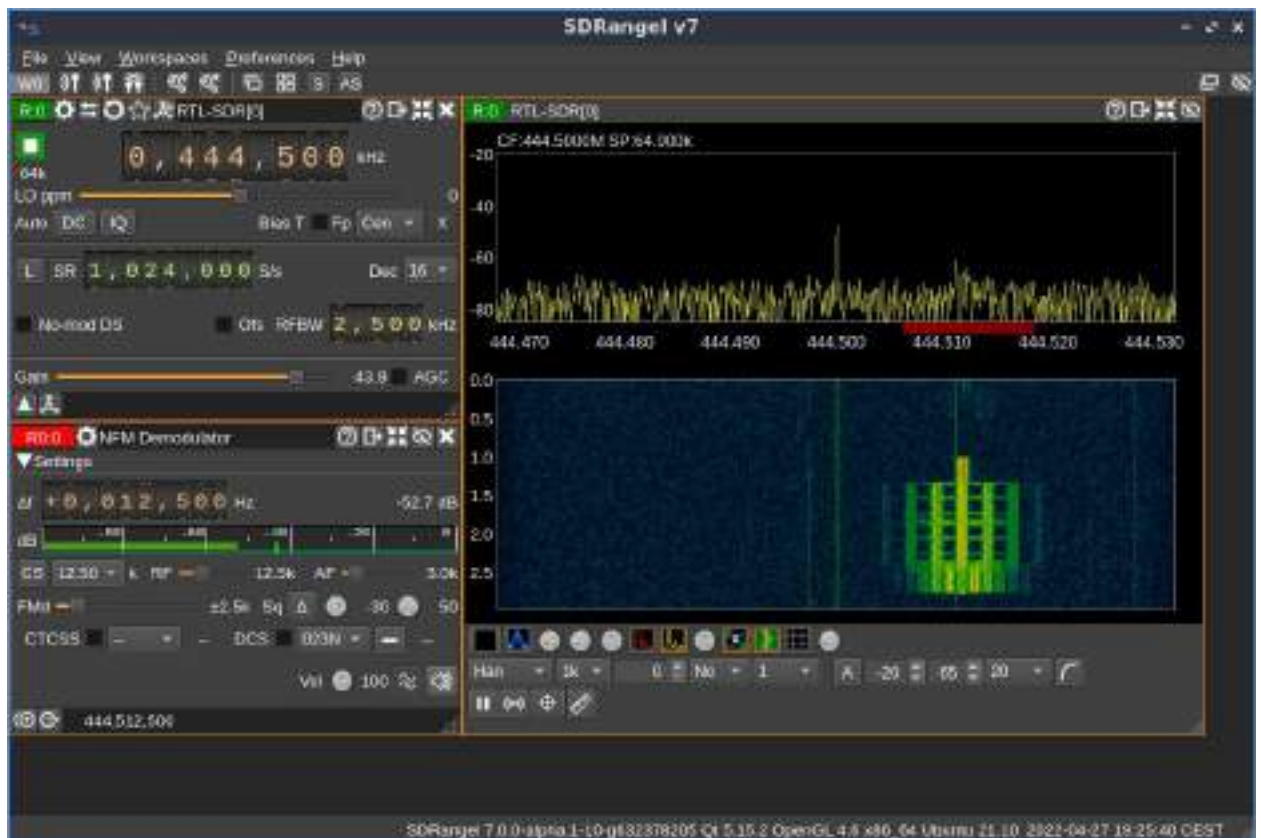


Рисунок 5.11 – приклад графічного інтерфейсу SDRangel

5.5 RTLSDR Scanner

Дана програма створена для роботи з приймачами на основі RTL-SDR. RTL-SDR (Realtek Software Defined Radio) — це дешевий приймач, який дозволяє приймати широкий спектр радіочастот (від 500 кГц до 1.7 ГГц і більше), забезпечуючи можливість слухати багато видів радіосигналів, таких як FM-радіо, авіаційні та корабельні комунікації, супутникові сигнали, а також цифрові і аналогові передачі.

RTLSDR Scanner — це один із видів програмного забезпечення, яке дозволяє автоматично сканувати спектр частот для виявлення активних сигналів. Він може автоматично переходити від однієї частоти до іншої, що дозволяє користувачам знаходити різноманітні сигнали в радіочастотному діапазоні.

Щоб використовувати RTLSDR Scanner, потрібен сам RTL-SDR приймач, який підключається до комп'ютера через USB. Це може бути будь-яка з доступних моделей на базі чіпа Realtek RTL2832U. Програмне забезпечення

дозволяє вам керувати приймачем, налаштовувати частоти і сканувати доступний частотний діапазон.

Частотний діапазон RTL-SDR може охоплювати широкий діапазон частот, від низьких частот (L-band) до високочастотних діапазонів (UHF, VHF, і навіть деякі супутникові частоти). Сканер періодично змінює частоти в межах заданого діапазону і перевіряє наявність активності на визначених частотах. Це дозволяє автоматично виявляти й записувати різні радіосигнали, що є зручним під проведення радіоспостереження, або радіорозвідки.

RTLSDR Scanner дозволяє налаштовувати різноманітні параметри прийому сигналу, зокрема:

- Фільтрація сигналів за типом модуляції
- Фільтрація частот
- Визначення амплітуди та рівня сигналу
- Вибір між широкосмуговими або вузькосмуговими фільтрами для поліпшення якості прийому.

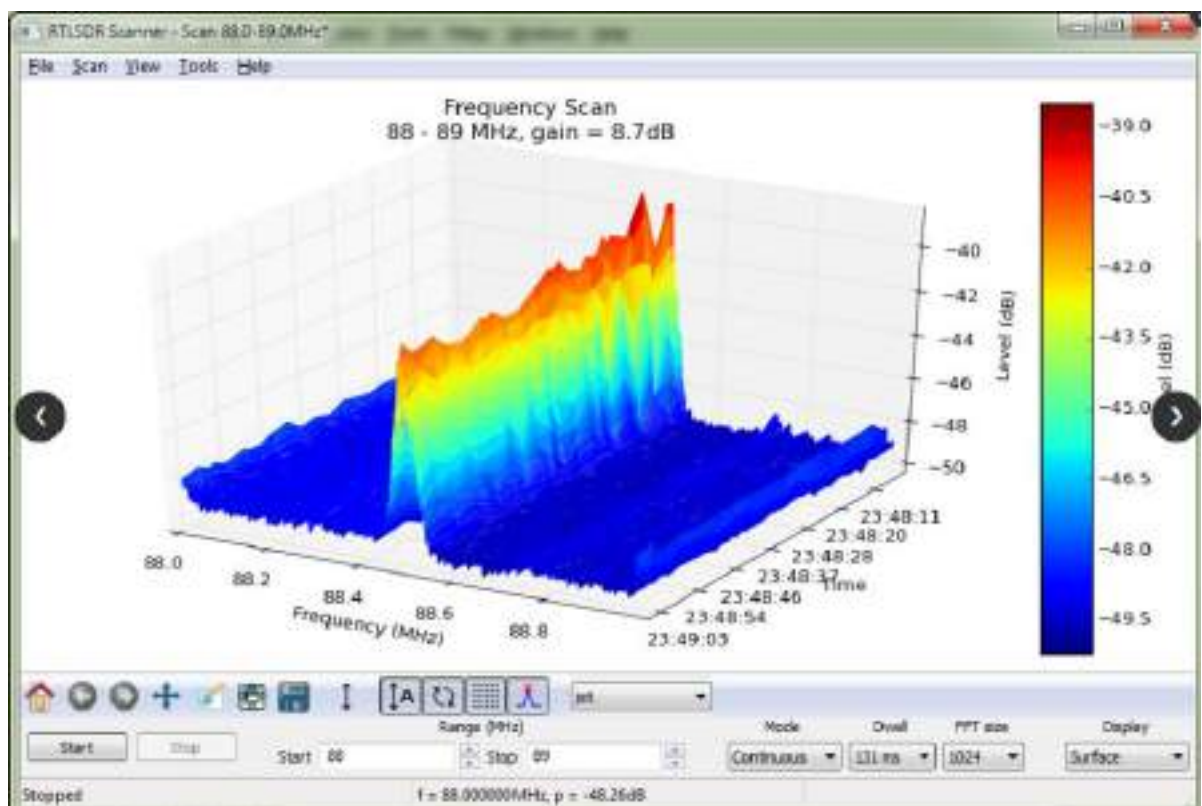


Рисунок 5.12 – приклад графічного інтерфейсу RTLSDR Scanner

Висновки до п'ятого розділу

У п'ятому розділі було проведено дослідне застосування програм: GNU Radio, SDR#, GQRX, SDRangel і RTLSDR Scanner. Результати проведення моніторингу оточуючої радіо обстановки, сканування обраних діапазонів дало можливість оцінити зручність та достатність функціоналу програм, що тестувались для проведення повноцінної радіорозвідки за допомогою SDR приймача.

GNU Radio є потужною платформою для обробки сигналів, яка дозволяє створювати складні системи для SDR приймачів. Використовуючи Python GNU Radio може стати зручним інструментом цілодобового моніторингу, однак, потребує ретельної оптимізації та налаштування.

SDR# (SDRSharp) є однією з найпопулярніших програм, що використовується для моніторингу радіоефіру за допомогою SDR. SDR# одна з найзручніших програм для цілодобового моніторингу.

GQRX надає хороший графічний інтерфейс для моніторингу радіобстановки. Подібно до SDR#, GQRX має простий інтерфейс, але також підтримує програмні плагіни. GQRX хороша для початківців завдяки своїй простоті.

SDRangel — програма, яка пропонує велику гнучкість у налаштуванні для обробки сигналів та моніторингу. Є можливість працювати з декількома модулями, включаючи демодуляцію, декодування і подальшу обробку. Зручність використання може бути дещо складнішою, ніж у SDR# чи GQRX,

RTLSDR Scanner — призначена для радіо моніторингу за допомогою простих RTL-SDR приймачів. Має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс і зручна для загального користування на порівняно низькому рівні, але не підтримує складних особливостей для детального аналізу чи виявлення складних сигналів.

У загальному підсумку, для ведення радіорозвідки більш зручні GNU Radio та SDR#.

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі досліджено можливості використання доступних, цивільних SDR приймачів для виконання бойових завдань в сфері радіоелектронної розвідки. У результаті виконаного дослідження отримано наступні наукові та практичні результати:

2. Проведено аналіз різних типів існуючих засобів для ведення радіомоніторингу та радіорозвідки. Визначено переваги та недоліку існуючих засобів та систем.

3. Проведено аналіз засобів зв'язку противника на основних ділянках фронту. Предметно досліджено елементну базу, яка використана виробниками для створення засобів зв'язку. Дані щодо елементної бази значно спрощують пошук, ідентифікацію і встановлення приналежності сигналу до того, чи іншого засобу зв'язку.

4. Реалізовано автоматичне сканування двох основних діапазонів цифрових та аналогових засобів зв'язку для програм GQRX, SDR#, GNU Radio.

5. Проведено застосування обраного обладнання та програмного забезпечення в реальних бойових.

6. Оцінено результативність та ефективність обраних підходів, програмного забезпечення, та обладнання.

Отримані результати свідчать, що обраний підхід до ведення радіорозвідки за допомогою SDR приймачів – ефективний, та конкурентно спроможний. Під час виконання магістерської роботи регулярно вдавалось виконати перехоплення ворожих переговорів. Отримані навички, та досвід можуть бути використані під час проектування нових систем для ведення радіорозвідки.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ТА ПОСИЛАНЬ

1. An Approach to UAV-Based ELINT [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.jedonline.com/2020/05/20/an-approach-to-uav-based-elint-jed-december-2017>
2. Кольчуга RDF-360 [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://spetstechnoexport.com/uk/product/kolchuga-rdf-360> - Кольчуга RDF-360
3. Пластун РП-3000 [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://infozahyst.com/product/plastun-rp3000-ua/>
4. Хортиця-М [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://infozahyst.com/product/khortytsia-m-ua/>
5. Пластун РП-3000 [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://infozahyst.com/wp-content/uploads/2021/02/plastun1-1024x576.jpg>
6. Український комплекс РЕР [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://mil.in.ua/uk/news/rosiyany-daly-otsinku-ukrayinskomu-kompleksu-rer-plastun/>
7. Baofeng UV-5r [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://www.baofengradio.com/products/uv-5r?srsId=AfmBOomdgc0tcYJvxo59LutZym2_j4Uwjzg9YlthD-FC9ZuiuAWjXF
8. Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://war-sanctions.gur.gov.ua/components/2342>
9. Xilinx xcs20xl [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.fpgakey.com/xilinx-parts/xcs20xl-tq144akp?srsId=AfmBOoqMwyv4VQckH9PZyzkmRddSCKcQXSS5YxrQ-EBedBVTWoIS8r1h>
10. MAX492ESA [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.digikey.com/en/products/detail/analog-devices-inc-maxim-integrated/MAX492ESA-T/1781823>
11. Р-168-25УЕ [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <http://elektrosignal.ru/wp-content/uploads/2018/06/R-168-25UE-2.pdf>

12. P-168-25UE [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://anteycentr.ru/id/raciya-transport-r-168-25u-2-22839.html>
13. Трофейна радіостанція Азарт [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://armyinform.com.ua/2022/11/20/trofejna-radiostancziya-azart/>
14. Xilinx spartan 6 [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.digikey.com/en/product-highlight/x/xilinx/spartan-6-fpga>
15. Компоненти в трофейній техніці [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://war-sanctions.gur.gov.ua/components/1357>
16. ADF4351 [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.analog.com/en/products/adf4351.html>
17. Шифр намотка [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://sdelanounas.ru/blogs/129479/>
18. ATmega640 [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/OTH/ProductDocuments/DataSheets/ATmega640-1280-1281-2560-2561-Datasheet-DS40002211A.pdf>
19. ADSP-2185M [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADSP-2185M.pdf>
20. ADSP2185M [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.analog.com/en/products/adsp-2185m.html>
21. AD8138 [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.analog.com/en/products/ad8138.html>
22. P-168-25UE-2 [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://armyrecognition.com/focus-analysis-conflicts/army/defence-security-industry-technology/bmd-4m-russia-airborne-new-radio-equipment-r-168-25ue-2-12006172>
23. XC3042A [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.digikey.com/en/products/detail/amd/XC3042A-7PC84C/187553>

24. MAX2659 [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу:
<https://www.analog.com/en/products/max2659.html>
25. BladerRF [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу:
<https://www.nuand.com/product/bladeRF>
26. AD9361 [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу:
<https://www.analog.com/en/products/ad9361.html>
27. Антена дипольна [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу:
<https://romsat.ua/antena-dipolna-vimiryuvalna-promax-amc-1-vhf-iiiuhf-iv-v-am030aes01/paneli/tip-is-okhoronna-tsentral/>
28. Антена логоперіодична [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.radartutorial.eu/06.antennas/an18.uk.html>