

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

Інститут телекомунікаційних систем

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра телекомунікацій

(повна назва кафедри)

До захисту допущено

В.о. завідувача кафедри

_____ Валерій ЯВІСЯ

(підпис)

(Ім'я, прізвище)

“ _____ ” _____ 2020_р.

Дипломна робота

на здобуття освітнього ступеня “бакалавр”

(назва ОС)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка,

(код і назва)

на тему: Апаратно-програмний засіб на базі технології SDR для моніторингу джерел радіовипромінювання

Виконав: студент 4 курсу, групи ТЗ – 62

(шифр групи)

Ігнатченко Максим Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник Ст. викладач Авдєєнко Гліб Леонідович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант _____

(назва розділу)

_____ (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент доцент кафедри ТС, к.т.н, Осипчук С.О.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2020_ року

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

Інститут телекомунікаційних систем

(повна назва)

Кафедра телекомунікацій

(повна назва)

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

Валерій ЯВІСЯ

(підпис)

(ім'я, прізвище)

“ 22 ” січня 2020 р.

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ігнатченко Максим Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Апаратно-програмний засіб на базі технології SDR для моніторингу джерел радіовипромінювання

керівник роботи Авдеєнко Гліб Леонідович, старший викладач кафедри ТК,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від 30 березня 2020 р. № 924-с

2. Термін подання студентом роботи 4.06.2020

3. Вихідні дані до роботи Приймач RTL SDR2832U, трансивер SDR BladeRFx40, програмне забезпечення SDRSharp, SDR Console,GNURadio, Qspectrumalyzer, RTLSDR Scanner, приймач RTLSDR Astrometa DVB-T2.

4.Зміст роботи

1.Знайти основні відомості про системи моніторингу радіовипромінювання.

2.Проаналізувати застосування технологій SDR для моніторингу джерел радіовипромінювання

3.Провести експериментальне дослідження пристрою моніторингу спектру джерел радіовипромінювання різних діапазонів

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо)
Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

Слайд №1 Вступ. Актуальність та мета, практична цінність роботи.

Слайд №2 Структурна схема АСРМ АРМАДА

Слайд №3 Взаємодія між АСРМ АРМАДА і системою управління спектром

Слайд №4 Можлива структура центру управління АСРМ АРМАДА

Слайд №5 Блок-схема тюнера E4000

Слайд №6 Архітектура програмно-обумовленої радіосистеми BladeRFx40

Слайд №7 Система моніторингу на базі використання SDR приймачів

Слайд №8 Висновки до роботи

6. Консультанти розділів роботи*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 17.09.2019

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Узгодження теми диплома з дипломним керівником та отримання завдання	17.09.2019 - 19.09.2019	
2	Складання плану роботи	15.11.2019 - 22.11.2019	
3	Пошук і дослідження літератури по темі дипломної роботи	25.11.2019 - 2.12.2019	
4	Огляд систем радіомоніторингу	13.04.2020 – 17.04.2020	
5	Аналіз методів пеленгації та	20.04.2020 -	

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломної роботи.

	методів місцезнаходження джерел радіовипромінювання	24.04.2020	
6	узгодження з дипломним керівником першої частини дипломної роботи	24.04.2020	
7	Розгляд основних відомостей про SDR – технологію	27.04.2020 – 1.05.2020	
8	Огляд приймачів RTL2832U та BladeRFx40 та програмного забезпечення до них	4.05.2020 – 8.05.2020	
9	узгодження з дипломним керівником другої частини дипломної роботи	11.05.2020	
10	Побудова структурної схеми системи радіоніторингу на базі SDR приймачів та вивчення принципу її роботи	26.05.2020 - 29.05.2020	
11	Моніторинг різних діапазонів хвиль (коротких, довгих, середніх, сетровіх) за допомогою різних онлайн SDR приймачів та програми SDRSharp	01.06.2020	
12	Моніторинг УКХ діапазону за допомогою SDR приймача RTLSDR Astrometa DVB-T2 та використання програмного забезпечення RTLSDR Scanner	02.06.2020	
13	Моніторинг УКХ діапазону за допомогою SDR приймача RTLSDR Astrometa DVB-T2 та використання програмного забезпечення Qspectrumalyzer	02.06.2020	
14	Написання висновків до виконаної роботи. Узгодження виконаної дипломної роботи з дипломним керівником	03.06.2020	

Студент

_____ (підпис)

Ігнатченко М.М.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Авдєєнко Г. Л.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота містить: 80 сторінок, 52 рисунків, 0 таблиць, 26 посилань.

Метою данної роботи є створення апаратно-програмного засобу на базі технології SDR для моніторингу джерел радіовипромінювання.

Дана технологія дозволяє замінити величезне розмаїття існуючих і розроблюваних конструкцій радіоприймачів і трансиверів, як серійних, так і, перш за все, аматорських, побудованих за складною супергетеродинної схемою, на обмежене число доступних апаратних блоків, що працюють під управлінням розробляється спільнотою ПО. Це призведе до спрощення і здешевлення конструкцій, істотного поліпшення характеристик, підтримки будь-яких видів модуляції, появи великої кількості сервісних функцій, а також прискорить розробку. SDR технологія може знайти застосування в системах радіочастотного розпізнавання (RFID), які працюють на різних частотах і використовують різні протоколи. Також можливо використовувати технологію в сфері аматорського радіо.

Ключові слова: Система радіомоніторингу, пеленгація, аналізатор випромінювання, Програмно-конфігуроване радіо, SDR, RTL2832U, BladeRFx40, SDRSharp, SDR Console, GNURadio, приймач, трансивер.

ABSTRACT

Graduate work contains: 80 pages, 52 figures, 0 table, 26 links.

The purpose of this work is to create hardware and software based on SDR technology for monitoring radio sources.

This technology allows you to replace the huge variety of existing and developed designs of radios and transceivers, both serial and, above all, amateur, built on a complex superheterodyne scheme, a limited number of available hardware units running under the control of the developed software community. This will simplify and reduce the cost of design, significantly improve performance, support any type of modulation, the emergence of a large number of service functions, as well as speed up development. SDR technology can be used in radio frequency recognition (RFID) systems that operate at different frequencies and use different protocols. It is also possible to use technology in the field of amateur radio.

Keywords: Radio monitoring system, direction finding, radiation analyzer, Software-configured radio, SDR, RTL2832U, BladeRFx40, SDRSharp, SDR Console, GNURadio, receiver, transceiver.

ЗМІСТ

ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ДЖЕРЕЛ РАДІОПРОМІНЮВАННЯ.....	12
1.1 Задачі, які вирішує система моніторингу джерел радіовипромінювання	12
1.2 Узагальнена структурна схема та призначення системи моніторингу джерел радіовипромінювання	14
1.3 Склад обладнання системи моніторингу джерел радіовипромінювання	15
1.3.1 Приклад складу обладнання системи моніторингу на автоматизованій системі радіомоніторингу "АРМАДА"	19
1.4 Методи пеленгації джерел радіовипромінювання.....	26
1.5 Короткі відомості про методи визначення координат місцеположення джерел радіовипромінювання (Тріангуляційний метод) .	29
1.6 Основні відомості про аналізатори випромінювань (скануючий приймач, приймачі для моніторингу спектру випромінювань тощо).....	33
1.6.1. Скануючий приймач.....	33
1.6.2. Аналізатор спектру.....	35
Висновки до розділу	38
РОЗДІЛ 2 ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ SDR ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ДЖЕРЕЛ РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ.....	40
2.1 Основні відомості про SDR технологію	40
2.2.Скануючий пристрій на базі SDR приймача RTL2832U.....	44
2.2.1 Особливості чіпсету RTL2832U.....	46
2.3 Скануючий пристрій на базі трансивера SDR BladeRFx40	48
2.3.1 Архітектура BladeRFx40.....	50
2.4 Використання RTL2832U та BladeRFx40 з різним програмним забезпеченням	51
2.4.1 Використання RTL2832U та BladeRFx40 з SDRSharp.....	51

	8
2.4.2 Використання RTL2832U та BladeRFx40 з GNURadio.....	55
2.4.2.1 Архітектура GNURadio	56
Висновки до розділу:	58
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИСТРОЮ МОНІТОРИНГУ СПЕКТРУ ДЖЕРЕЛ РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ РІЗНИХ ДІАПАЗОНІВ	59
3.1 Система моніторингу на базі використання SDR приймачів	59
3.1.1 Пошук online SDR	60
3.2. Вивчення інтерфейсу програми SDRsharp	63
3.3. Дослідження прийому спектрів сигналів радіомовлення різних діапазонів	65
3.4.Результати частотного моніторингу з використанням SDR приймача RTLSDR Astrometa DVB-T2 та програмного забезпечення RTLSDR Scanner70	
Висновки до розділу	80
ВИСНОВКИ.....	82
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:	84

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- АРМ - Апаратура автоматичного радіомоніторингу;
ПЕМВН - Побічні електромагнітні випромінювання і наведення;
ДРВ - Джерело радіовипромінювання;
ПЕОМ - Персональна електронно-обчислювальна машина;
РПП - Радіопеленгатор (переносний);
СМЗ - Спеціальне математичне забезпечення;
ВЧ - Високочастотний;
АСМР - Автоматизована система радіомоніторингу;
РК - Радіоконтроль;
АРМ - Автоматизовані робочі місця;
АТС - Автоматична телефонна станція;
ЕМП - електромагнітне поле;
ДН - Діаграма направленості;
КІ - Кореляційні інтерферометричні вимірювачі;
РДС - Різнице-далекомірні системи;
РЕБ - Радіоелектронна боротьба;
ШПФ - Швидке перетворення Фур'є;
НВЧ - Надвисокі частоти;
SDR - Software-Defined Radio (Програмно – кероване радіо);
УКХ – Ультракороткі хвилі

ВСТУП

SDR - радіо набуло популярності порівняно недавно, завдяки своїй простоті використання, невеликим габаритам, а також доступності практично кожному. Принцип роботи SDR радіо полягає в тому, що демодуляція сигналу, тобто все те, що «звичайний» радіоприймач (AM, FM, фільтри та ін.) робить завдяки апаратної конфігурації - в SDR робиться на комп'ютері, математичними алгоритмами. Сам радіоприймач звичайно, все одно потрібен, але тільки його «половина» - та частина, яка власне приймає радіосигнал. У чому ж переваги архітектури SDR для кінцевого споживача, і яка ж буде актуальність використання такого радіо, в нашому випадку? По-перше, при використанні SDR можна істотно спростити технічне забезпечення міжнародного роумінгу, збільшити число підтримуваних сервісів і домогтися більш високої гнучкості пристроїв зв'язку. По-друге, з точки зору операторів мобільного зв'язку SDR - це потужний інструмент додавання додаткових сервісів і послуг. І, нарешті, по-третє, виробники абонентських терміналів і базових станцій отримують безліч переваг завдяки високій масштабованості і гнучкості рішень, можливості використання однієї і тієї ж апаратної конфігурації для реалізації безлічі різних різнотипних пристроїв.

Метою роботи є побудова системи радіомоніторингу з використанням SDR приймача на базі чіпсета RTL2832U і BladeRFx40, такий приймач підключається до ПК, на якому, в свою чергу, буде знаходитися програмне забезпечення для роботи з SDR приймачами, в нашому випадку це SDRSharp, SDR Console і GNURadio.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі:

- Огляд основних відомостей про системи моніторингу радіовипромінювання;
- Огляд основних відомостей про SDR – технологію;
- Огляд приймача RTL2832U та трансиверу BladeRFx40;

- Огляд програмного забезпечення для роботи з SDR приймачами;
- Застосування технологій SDR для моніторингу джерел радіовипромінювання;
- Проведення експериментального дослідження пристрою моніторингу спектру джерел радіовипромінювання різних діапазонів.

Така СРМ матиме обмеження, в порівнянні з тією ж АСРМ (автоматична система радіомоніторингу) "АРМАДА", але вона буде набагато дешевше, мати невеликі габарити, а також, за допомогою SDR приймача, стане більш гнучкою в налаштуванні.

Практична цінність роботи полягає в тому, що використання SDR - технології в сукупності з програмним забезпеченням, в системі радіомоніторингу, буде більш вигідною в матеріальному плані, ніж використання будь-якого аналізуючого пристрої. Таким чином моніторинг радіовипромінювання може провести будь-який радіоаматор. Напрацювання данної дипломної роботи також можуть бути впроваджені в навчальний процес ІТС КПІ ім. Ігоря Сікорського, для більш детального вивчення SDR – технології.

РОЗДІЛ 1 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ДЖЕРЕЛ РАДІОПРОМІНЮВАННЯ

1.1 Задачі, які вирішує система моніторингу джерел радіовипромінювання

Апаратура автоматизованого радіомоніторингу (АРМ) - Основним призначенням засобів радіомоніторингу є постійний або періодичний контроль завантаження ефіру в широкому діапазоні частот, виявлення і аналіз нових випромінювань, визначення місця розташування їх джерел, оцінка їх небезпеки чи цінності, виявлення ненавмисних або спеціально організованих радіоканалів витоку інформації. Кожне з цих завдань - багатоетапне, вирішується в умовах складної електромагнітної обстановки і вимагає використання широкої номенклатури радіотехнічних засобів, що виконують певні функції . Ці функції можуть бути розбиті на наступні основні групи:

- універсальні функції, виконання яких, як правило, забезпечується сучасними системами АРМ;
- додаткові функції вирішення завдань радіомоніторингу на місцевості;
- додаткові функції вирішення завдань радіомоніторингу в одному окремо контрольованому приміщенні і групі найбільш важливих приміщень, розміщених на контрольованому об'єкті;
- додаткові функції виявлення ПЕМВН.(Побічні електромагнітні випромінювання і Наведення);

До універсальних функцій засобів радіомоніторингу відносяться:

- панорамний спектральний аналіз в реальному часі з максимально високою швидкістю, роздільною здатністю і адаптацією до складної електромагнітної обстановки;
- швидкий пошук «нових» випромінювань в тому числі широкополосних, та випромінювань з динамічною частотно-часовою структурою, вимір їх параметрів, порівняння з базою даних для визначення їх небезпеки (цінності) для користувача;

- створення баз даних, поповнення їх і зіставлення зареєстрованих даних з еталонами, що зберігаються в базах;
- контроль ДРВ з оцінкою характеристик випромінювання;
- запис радіосигналів, в тому числі цифрових, одночасно зі службовими параметрами (частота, час, рівень сигналу, спектрограма і т.п.) і подальше їх відтворення;
- технічний аналіз радіосигналів в реальному часі і при відкладеної обробки.

До додаткових функцій рішення задач радіомоніторингу на місцевості слід віднести:

- вимір напруженості поля або щільності потоку потужності;
- пеленгація ДРВ з довільними видами модуляції по азимуту і куту місця;
- визначення положення стаціонарних і мобільних ДРВ на місцевості і в протяжних об'єктах, відображення їх на картографічному фоні (цифровому зображенні об'єкта).

Додаткові функції вирішення завдань радіомоніторингу в одному і кількох контрольованих приміщеннях:

- пошук і виявлення технічних каналів витоку інформації в одному або декількох приміщеннях;
- ідентифікація приналежності ДРВ до радіомікрофонів;
- локалізація розташування ДРВ;

Додаткові функції виконання дослідженні ПЕМВН:

- вимірювання параметрів випромінювання та напруженості електромагнітного поля технічних засобів в ближній зоні;
- оцінка захищеності конфіденційної інформації при її обробці і зберіганні технічними засобами;
- дослідження захищеності конфіденційної інформації від витоку за рахунок наведень на допоміжні технічні засоби, системи і їх комунікації;
- аналіз захищеності виділених приміщенні від витоку мовної інформації по каналам акустоелектричних перетворень;

- контроль Ефективності заходів щодо захисту інформації від витоку за рахунок ПЕМВН [1].

1.2 Узагальнена структурна схема та призначення системи моніторингу джерел радіовипромінювання

Апаратура автоматизованого радіомоніторингу (АРМ), яку ми можемо бачити на рис.1.1., отримала широке застосування як інструмент вирішення завдань в самих різних областях від управління використанням радіочастотного спектру (РПС) до контролю радіообстановки при проведенні контртерористичних операцій. Вона служить базою технічних заходів з протидії несанкціонованому зніманню інформації, в тому числі спеціальних досліджень побічних електромагнітних випромінювань та наведень (ПЕМВН).

Перелік завдань, що вирішуються з допомогою засобів АРМ, включає виявлення та аналіз радіовипромінювання для ідентифікації джерел сигналів та перешкод, вимірювання параметрів сигналів і перешкод, оцінку їх небезпеки чи цінності для користувача, вимір напруженості електромагнітного поля або щільності потоку потужності, визначення положення джерел радіосигналів і радіоперешкод на місцевості.

Основними функціями АРМ є постійне або періодичне спостереження за ефіром в широкому діапазоні частот, оперативне виявлення, аналіз і локалізація потенційних або спеціально організованих радіоканалів витоку інформації і проведення інших заходів з протидії зніманню інформації в контрольованих зонах (приміщеннях) різних відомств і комерційних установ. Зокрема, апаратура АРМ дозволяє перевіряти радіотехнічні пристрої та обчислювальну техніку на наявність і рівень ПЕМВН, що представляють інтерес для перехоплення радіозасобами, а потім і оцінювати ефективність заходів щодо запобігання електромагнітного доступу до конфіденційних даних (наприклад, екранування, зашумлення) [4].

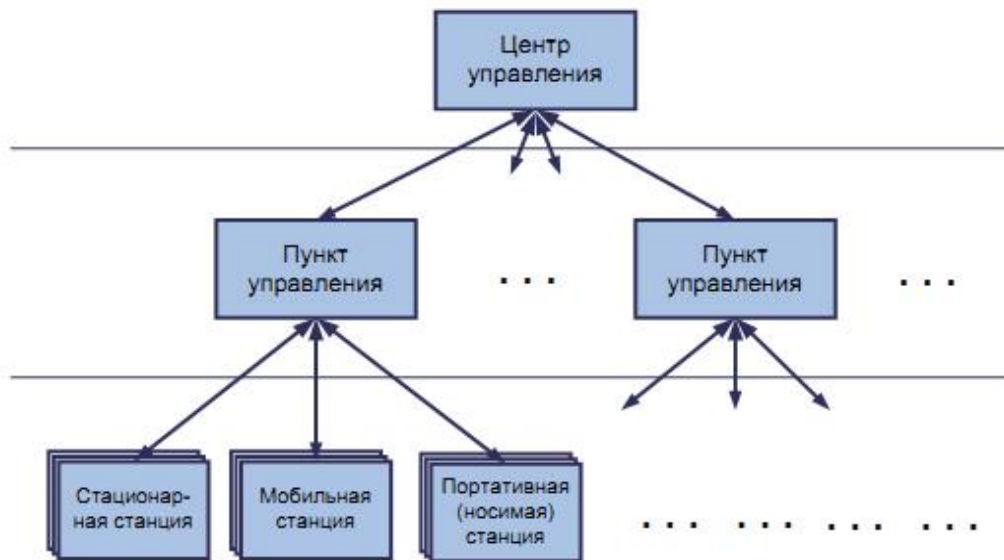


Рис 1.1. Структурна схема АСРМ АРМАДА

1.3 Склад обладнання системи моніторингу джерел радіовипромінювання

Основною метою розробки засобів радіомоніторингу є створення універсальних апаратно-програмних систем з обмеженою номенклатурою пристроїв для виконання максимально можливого обсягу завдань радіомоніторингу. Основні вимоги до засобів радіомоніторингу, спрямовані на мінімізацію та уніфікацію апаратури і програмного забезпечення, полягають у наступному:

- універсальність і багатофункціональність базового засобу радіомоніторингу для кожного з сімейств;
- універсальність і багатофункціональність додаткових пристроїв;
- забезпечення спільної роботи базового засобу сімейства з додатковими пристроями, загальними для всіх родин засобів радіомоніторингу;
- уніфікація апаратури різних сімейств;
- уніфікація програмного забезпечення з використанням однакових модулів, форматів даних і інтерфейсів для різних сімейств;
- уніфікація систем електроживлення апаратури;

- раціональний розподіл завдань обробки між апаратними сигнальними процесорами і керуючої ПЕОМ(персональна електронно-обчислювальна машина);
- створення бібліотек кодів для базового комплексу кожного з сімейств;
- комплексне рішення задач електромагнітної сумісності.

Часткове зменшення номенклатури засобів радіомоніторингу може бути досягнуто на основі функціонально-блокового принципу при побудові засобів кожного сімейства об'єднанням базового засобу сімейства і додаткових пристроїв, загальних для всіх родин засобів радіомоніторингу. Дослідження варіантів побудови цифрових РПП і антенних систем з широким діапазоном робочих частот показують, що найменшу кількість засобів досягається за рахунок обмеження робочого діапазону базового засобу сімейства при можливості його розширення додатковими пристроями, загальними для всіх родин. Реалізація даного принципу дозволяє вибрати фіксований базовий склад пристроїв для кожного сімейства. Іншим аргументом на користь цього принципу є те міркування, що реалізація всіх або більшості з функцій, в одному конструктивно закінченому пристрої на сучасному етапі розвитку технології привела б до невиправданого збільшення його маси, габаритних розмірів, енергоспоживання і вартості.

Реалізація принципу багатофункціональності передбачає.

- скорочення складу засобів радіомоніторингу на основі використання принципу програмно-обумовленого радіо (Software Defined Radio, SDR). згідно з яким оцифровані радіосигнали перетворюються до потрібної форми під керуванням програмно-апаратних засобів в цифрових процесорах обробки сигналів або програмованих логічних інтегральних схемах для виконання різних алгоритмів обробки сигналів;
- поєднання функцій в окремо реалізованих пристроях;
- раціональний розподіл завдань між двома шарами програмного забезпечення використовуваних в апаратному цифровому блоці і в керуючій ПЕОМ.

Комплексне вирішення проблеми електроживлення передбачає уніфікацію номіналів напруг живлення, включення до складу структури блоків, що забезпечують харчування від мережі змінного струму, бортової мережі мобільного засобу (автомобіля, вертольота і т.д.), а також акумулятора з зарядним пристроєм для автономної роботи і запобігання збоїв при пропажі живлення.

Наступними принципами, які визначають побудову засобів радіомоніторингу, є:

- уніфікація пристроїв різних сімейств, можливість їх комбінування, наприклад об'єднання аналого-цифрового перетворювача радіосигналів мобільного комплексу з двоканальним або одноканальним блоком аналого-цифрової обробки портативного сімейства;
- уніфікація програмних пакетів, використання однакової структури і формату даних для досягнення можливості використання одного і того ж пакету (з різними драйверами) в рамках різних сімейств;
- комплексне рішення задач електромагнітної сумісності з урахуванням електрообладнання носія;

Мінімізація загальних витрат на створення засобів радіомоніторингу безпосередньо пов'язана з можливістю їх модернізації в міру тиражування.

Наявність відкритої бібліотеки команд для кожного із засобів дає можливість споживачеві самому програмувати і вирішувати власні специфічні завдання, які поставляються апаратними засобами радіомоніторингу.

Досвід розробки та використання систем радіомоніторингу показує, що структура засобу повинна включати:

- одноканальний або багатоканальний (з когерентно пов'язаними гетеродинами) перетворювач радіосигналів;
- одно- або багатоканальний блок аналого-цифрової обробки;
- апаратуру цифрового запису радіосигналів на проміжній частоті на магнітний або інший носій;

- апаратуру технічного аналізу сигналів в реальному часі і в режимі відкладеної обробки;
- блок демодуляції;
- апаратуру записи демодельованих сигналів одночасно зі службовими сигналами (поточний час на момент запису, несуча частота і т.д.);
- блок електроживлення зі зниженим рівнем перешкод;
- універсальний пристрій управління, який допускає можливість його швидкої заміни, а також зміни режимів на основі вибору програм спеціального математичного забезпечення (СМЗ);
- уніфіковані програмні пакети, СМЗ;
- Вимірювальні засоби радіомоніторингу повинні бути сертифіковані державними органами стандартизації.

До додаткового обладнання відносяться:

- широкодіапазонні ненаправлені антени різного застосування;
- набори антенних систем для автоматичного пеленгування в русі, на стоянках і для стаціонарних постів;
- набори антенних модулів зі спрямованими властивостями для ручних пеленгаторів відкритого і прихованого використання;
- перетворювачі сигналів для обміну даними розширення робочих діапазонів частот, цифрові реєстратори, сигналів;
- апаратура прив'язки засобів радіомоніторингу до географічних координат.

Крім того, слід взяти до уваги наступний аргумент на користь роздільного виконання базового кошти і додаткових пристроїв. На стаціонарних і мобільних постах радіомоніторингу для розширення зони дії поста приймальну антену намагаються по можливості винести на саму верхню площадку (дах, щоглу і т.п.), при цьому довжина ВЧ кабелю від антени до базового засобу може бути досить великою. Втрати і шум, створюваний ВЧ кабелем, ростуть з частотою. Якщо всі блоки, наприклад, в діапазоні до 18 ГГц зосередити в одному місці (на робочому столі

оператора), то навіть застосування дуже хорошого кабелю призводить до невинувато великому загасання сигналу в кабелі з ростом частоти сигналу, зменшення чутливості системи та суттєвого антенного ефекту. Використання додаткового перетворився, радіосигналів, наприклад, в діапазоні від 1 до 18 ГГц за умови його розміщення поруч з антеною, істотно знижує вимоги до верхньої граничної частоті ВЧ кабелю, підвищує чутливість і знижує антенний ефект [1], [2].

1.3.1 Приклад складу обладнання системи моніторингу на автоматизованій системі радіомоніторингу "АРМАДА"

Автоматизована система радіомоніторингу (АСРМ) АРМАДА розроблена відповідно до рекомендацій Міжнародного Союзу електрозв'язку. Вона має клієнт-серверну архітектуру, реалізована з використанням web технологій і призначена для вирішення завдань радіоконтролю (РК) на національному, регіональному, міському і районних рівнях.

Система має наступні основні особливості:

- відкриту архітектуру, можливість підключення додаткових програмних підсистем, блоків і модулів, в тому числі розроблених сторонніми виробниками;
- відкритий уніфікований протокол управління апаратурою РК, можливість використання обладнання сторонніх виробників;
- ієрархічний принцип побудови: кожен нижній рівень системи надає доступ вузлам вищого рівня; вузлами системи є центри (пункти) керування і станції радіомоніторингу;
- використання у всіх вузлах однотипного програмного забезпечення - серверів РК;
- можливість модифікації переліку та змісту завдань радіоконтролю.

АСРМ АРМАДА забезпечує інтеграцію з довільною системою управління (див. рис. 1.2) радіочастотним спектром, шляхом виконання необхідних експортно-імпортних операцій.

До складу АСРМ входять центри і пункти управління, які організують роботу системи. Кожен центр обслуговує відповідний йому регіон і забезпечує узгоджену роботу підлеглих вузлів. Кількість рівнів ієрархії визначається призначенням і масштабом системи.

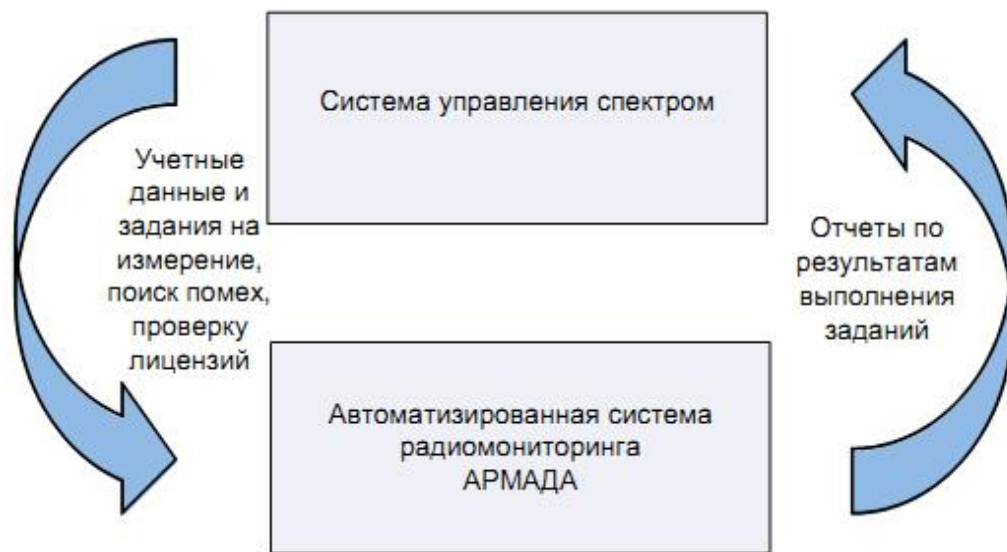


Рис. 1.2. Взаємодія між АСРМ АРМАДА і системою управління спектром

Центр керування

Центр керування, можлива структура якого показана на рис. 1.3, являє собою комплекс програмно-апаратних засобів, що забезпечує організаційну взаємодію і функціонування елементів АСРМ, надає можливість аналізу поточного стану системи, планування сценаріїв роботи, вибору управлінських рішень, постановки завдань радіоконтролю і обробки. Центр управління взаємодіє з пунктами управління або, якщо необхідно, безпосередньо зі станціями радіомоніторингу.

На Рис.1.3 представлена можлива структура центру управління, що включає кілька технічних підсистем, обов'язковими з яких є наступні:

- управління;

- зв'язку і передачі даних;
- електроживлення.

Підсистема управління забезпечує управління силами і засобами радіоконтролю, виконує моніторинг поточного стану системи, здійснює діагностику несправностей в разі їх виникнення, постобробку результатів вирішення завдань РК, прийняття рішень при виникненні позаштатних ситуацій, організовує обмін даними з взаємодіючими відомствами.

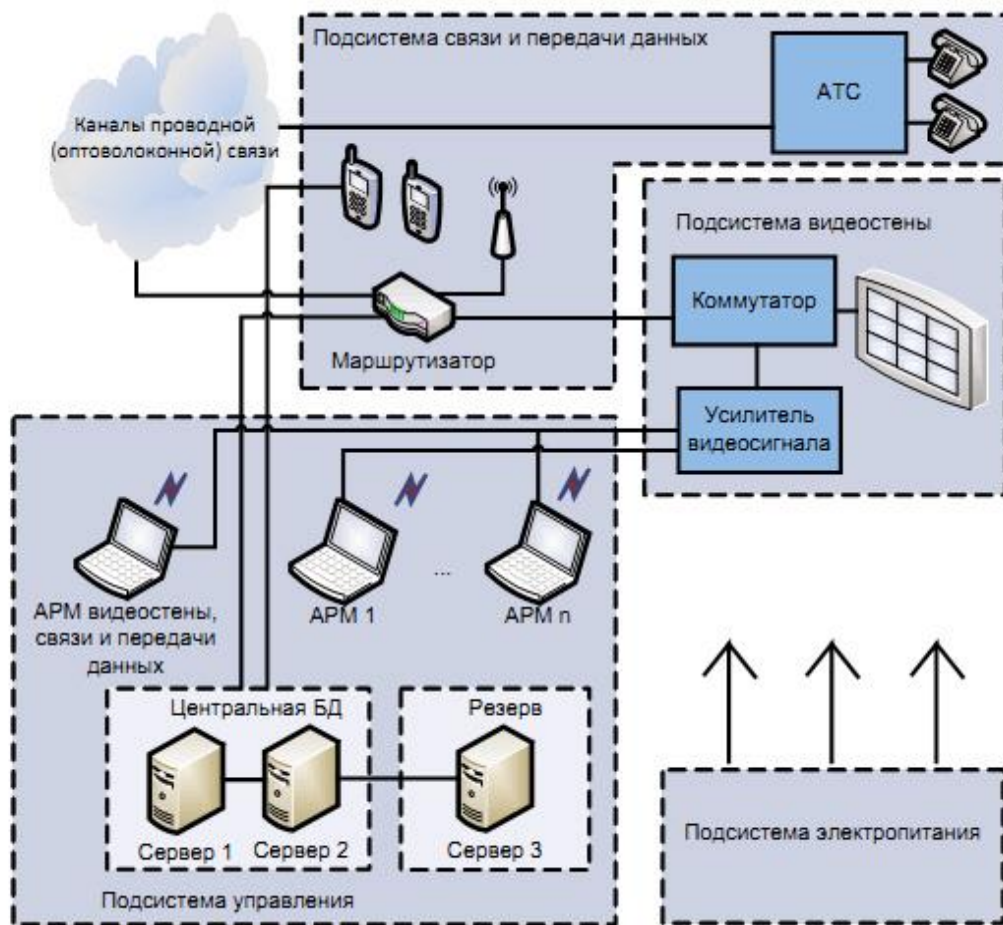


Рис. 1.3. Можлива структура центру керування

До складу підсистеми управління входять автоматизовані робочі місця (АРМ) операторів, комплект серверного обладнання центральної бази даних (БД). На Рис.1.3 показані три сервера, два з яких об'єднані в кластер і використовуються для зберігання основної БД. Третій сервер призначений для зберігання резервних копій даних системи. Автоматизовані робочі місця операторів об'єднані мережею бездротового доступу.

Автоматизовані робочі місця призначені для управління АСРМ, їх кількість і спеціалізація залежить від площі регіону, організації управління у відомстві, яке обслуговує АСРМ, кількісного і якісного складу станцій радіоконтролю, що використовуються в системі. Наприклад, можуть бути наступні автоматизовані робочі місця:

- оперативного керівника;
- стаціонарних засобів;
- мобільних засобів;
- контролю стану і управління конфігурацією системи;
- планування роботи, зв'язку з системою управління спектром і т.д.

Спеціалізація АРМ визначається завантаженим клієнтським програмним забезпеченням і може змінюватися в залежності від конкретної ситуації.

Підсистема зв'язку і передачі даних забезпечує обмін даними всередині центру управління, забезпечує зв'язок із зовнішніми вузлами системи: вимірювальними і пеленгаторними станціями, а також іншими центрами або пунктами управління. Для голосового зв'язку є телефони з гарнітурами, підключені до АТС, а також радіостанції.

Серед інших підсистем центру управління можна вказати підсистему відео стіни, яка робить можливим відображення великого обсягу інформації на відеоекрані, що сприятливо позначається на якості аналізу інформації і прийняття адекватних рішень при плануванні і постановці завдань радіоконтролю, перевірці стану системи, обробці і аналізі результатів роботи.

Пункти управління призначені для управління групою станцій радіомоніторингу в виділеному районі. За своєю структурою пункти управління нагадують центр управління в зменшеному масштабі, як правило, вони не мають спеціально виділених серверів для бази даних.

Станції радіоконтролю

Станції радіоконтролю (радіомоніторингу) здійснюють радіоконтроль за допомогою наявного в їх складі обладнання радіоконтролю. В системі може використовуватися кілька видів станцій РК:

- стаціонарні (фіксовані) станції в обслуговуємому і необслуговуємому виконанні;
- рухливі (мобільні) станції;
- транспортні (носимі) станції.

Станції є наступними за пунктами управління рівнями ієрархії системи, при цьому стаціонарна або мобільна станція може бути поєднана з пунктом управління.

Стаціонарні станції зазвичай розташовуються в густонаселених місцях, великих містах, промислових центрах. Необхідна кількість станцій визначається площею, рельєфом місцевості, типом використовуваних РЕЗ в даному районі. Для визначення координат джерел будь-яка точка контрольованої території повинна знаходитися в зоні дії, принаймні, двох пеленгаторних або вимірювально-пеленгаторних станцій. Однак при такому підході кількість станцій і вартість системи може значно зрости. Тому часто більш краща структура, коли стаціонарні станції доповнені мобільними і необслуговуваними транспортуються станціями (сенсорами).

Мобільні станції можуть швидко переміститися в район, що знаходиться поза зоною дії стаціонарних засобів. Вони ефективні для проведення операцій радіоконтролю, коли мала потужність передавачів, висока спрямованість передавальних антен, віддаленість джерела радіовипромінювання ускладнюють або унеможливають проведення вимірювань стаціонарними засобами. Можлива одиночна робота мобільної станції з вимірювання параметрів і локалізації джерел радіовипромінювання.

Транспортні станції не вимагають спеціальних умов для розміщення, включаючи наявність спеціальних приміщень або автомобілів, вони можуть вноситися в віддалені райони, що підлягають контролю, розміщуватися в важкодоступних районах, наприклад, на дахах висотних будівель. Транспортні станції особливо ефективні, якщо потрібне швидке розгортання додаткових коштів радіоконтролю.

Програмне забезпечення системи

АСРМ АРМАДА являє собою сукупність вузлів, об'єднаних мережею передачі даних, здатних до дистанційно керованого і автономному функціонуванню відповідно до поставлених завдань. При використанні публічної мережі для забезпечення безпеки можуть застосовуватися технології VPN.

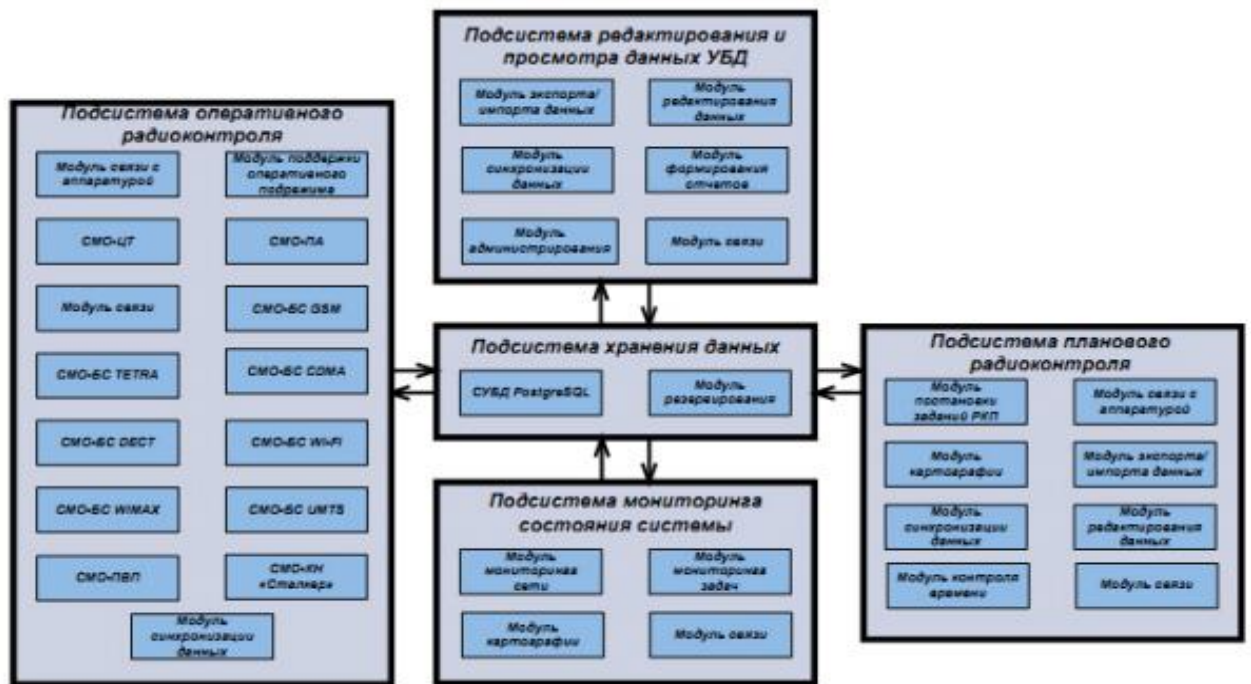


Рис. 1.4. Програмні підсистеми СМО АРМАДА

Для спрощення розгортання, супроводу і навчання персоналу в вузлах АСРМ АРМАДА використовується уніфіковане програмне забезпечення - сервера радіоконтролю, які мають однотипну структуру на всіх вузлах системи. Відмінність серверів один від одного полягає тільки в обсягах баз даних і можливості по управлінню. Чим вище рівень сервера в системі, тим більше інформації зберігається в його базі даних, тим більше нижчестоящих серверів йому підкоряються. Сервер РК, розташований на більш високому рівні, має можливість отримання інформації, що зберігається на підконтрольних серверах радіоконтролю, а також оперативний доступ до апаратури радіоконтролю. При цьому для забезпечення швидкого реагування на місцеві умови зберігається можливість виконання завдань радіоконтролю,

ініційованих на нижніх рівнях ієрархії, з можливістю контролю результатів їх виконання на верхньому рівні.

Програмне забезпечення сервера РК представлено пакетом програм СМО АРМАДА, структурна схема якого представлена на Рис.1.4. Як видно з малюнка, СМО АРМАДА складається з наступних функціональних підсистем:

- зберігання даних;
- введення, редагування і перегляду даних УБС;
- оперативного радіоконтролю;
- планового радіоконтролю;
- моніторингу стану системи.

Робота кожної з підсистем забезпечується відповідними програмними модулями, що відповідають за її функціонування. Оскільки система має відкриту архітектуру, то розробка нових модулів, що розширюють функціональність системи, може здійснюватися сторонніми виробниками програмного забезпечення.

Програмне забезпечення системи надає користувальницький інтерфейс для роботи в наступних режимах:

- адміністрування;
- оперативному;
- плановому;
- обробки результатів РК;
- контролю стану системи.

Корисною особливістю підсистем редагування і перегляду даних УБС, планового радіоконтролю і контролю стану системи є можливість виконання функцій через WEB-браузер. Це дозволяє спростити розгортання програмного забезпечення, забезпечує можливість віддаленої роботи з системою незалежно від місцезнаходження оператора і використовуваної їм програмної і апаратної платформи [4].

1.4 Методи пеленгації джерел радіовипромінювання

При класифікації методів пеленгування використовують різні підходи. Якщо виходити з того, який параметр сигналу на виході приймальної антени системи відіграє основну роль при вимірі, то можна виділити амплітудні, фазові і амплітудно-фазові методи вимірювання пеленга. Якщо в якості критерію використовувати спосіб отримання інформації про направлення на джерело радіовипромінювання, то радіопеленгатори діляться на одноканальні (послідовного типу) і багатоканальні (моноімпульсні). Якщо прийняти до уваги дві відомі властивості електромагнітного поля в дальній зоні: ортогональність векторів магнітної та електричної складових до напрямку поширення і ортогональність площини фронту фаз до напрямку поширення, то відомі пеленгатори за методом радіопеленгації можуть бути віднесені до двох великих груп. До першої групи належать поляризаційно-чутливі пеленгатори, засновані на визначенні напрямку електричного і (або) магнітного векторів напруженості поля. До другої групи належать фазо-чутливі пеленгатори засновані на визначенні орієнтації поверхні рівних фаз електро-магнітного поля (ЕМП).

У поляризаційних пеленгаторах використовують диполі або рамкові антени. До цієї групи належить класична рамкова антена яка обертається (мінімум прийому сигналу відповідає нормальному падінню хвилі на площину рамки). В наші дні поляризаційні пеленгатори використовуються в умовах обмеженого простору, коли можливе застосування тільки малогабаритних антен, наприклад, в автомобілях і на кораблях для пеленгації в ВЧ діапазоні. Напрямок оцінюється в основному за принципом Ватсона-Ватта.

Фазові пеленгатори отримують інформацію про направлення приходу радіохвилі з просторового розташування лінії або поверхонь з однаковою фазою. Існують два основні методи.

Перший метод пов'язаний з спрямованими властивостями антен. Діаграма спрямованості антен формується при суперпозиції елементарних сигналів, що приймаються ними. Так, наприклад, якщо сигнали джерела прийняті в двох рознесених точках антеної системи, (скажімо, датчиками поля), підсумовуються, то максимум результуючого напруги означає, що антенна система розгорнута під таким кутом до джерела, при якому різниця фаз, прийнятих сигналів мінімальна. Поворот системи, в ту чи іншу сторону призведе до зменшення сумарного сигналу. Навпаки, коли один елементарний сигнал віднімається від другого в напрямку падіння хвилі спостерігається виразний мінімум ДН.

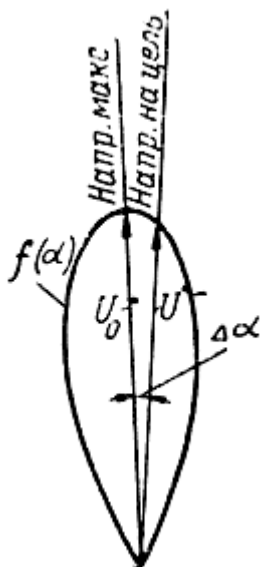


Рис. 1.5. Пеленгація методом максимуму

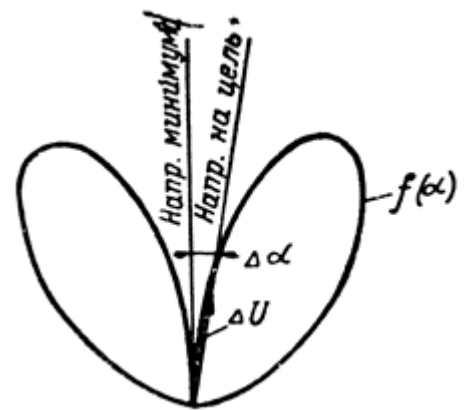


Рис. 1.6. Пеленгація методом мінімуму

Другий метод спирається на вимірювання поля в різних точках в межах геометричних розмірів пеленгаторних антени (aperture sampling). Вимірювання можуть проводитися як послідовно при переміщенні антенного датчика поля, так і одночасно сукупністю датчиків. За процедурою визначення пеленга додатково розрізняють способи з безпосереднім обчисленням пеленга і з цифровою обробкою сигналів АР (sensor array processing). Типічними прикладами реалізації першої технології є інтерферометри і доплеревські пеленгатори. Інша група оцінки параметрів

падаючої хвилі включає два різних по суті підходу: метод формування променя (Beamforming method), на основі якого, зокрема, функціонують кореляційні пеленгатори, і підпростірний метод (Subspace method), застосовуваний в алгоритмах з високою роздільною здатністю MUSIC, ESPRIT.

В даний час в системах радіомоніторингу найбільшого поширення мають такі види пеленгаторів.

- системи на основі обертаючоїся спрямованої антени;
- двоканальні автоматичні пеленгатори (Ватсона-Ватта, Еджок);
- квазідоплеровські системи;
- фазові інтерферометри;
- кореляційні інтерферометричні вимірювачі (КІ).

Так як нині найбільш затребуваними є широкодіапазонні системи (з коефіцієнтом перекриття по діапазону 100 і навіть більше), то для реалізації подібних систем найбільш застосовні, інтерферометричні або фазові радіопеленгатори.

Другому критерію (по виду модуляції і ширині смуги, пеленгованого сигналу) задовольняють кілька типів пеленгаційних пристроїв - амплітудні пеленгатори, пеленгатори Ватсона-Ватта і Еджок, і багатоканальні інтерферометри.

Можливістю азимутального поділу декількох сигналів в різній мірі володіють різні види амплітудних пеленгаторів на основі спрямованих антен, а також КІ.

Недоліки інтерферометрів, відносно висока вартість, порівняно великий час реакції (особливо у двуканальних кореляційних інтерферометрів).

Кожен з використовуваних методів пеленгування має свої переваги і недоліки, але для багатофункціональних систем моніторингу краще використовувати КІ. Вони роблять можливим пеленгацію практично будь-яких видів радіосигналів, в тому числі широкосмугових зі складними видами модуляції, мають можливість одночасної обробки і розрізнення декількох

сигналів в одному частотному каналі, причому як когерентних (при багатопроменевому прийомі випромінювання єдиного джерела), так і некогерентних (при прийомі радіосигналів від декількох джерел з спектрами які перекриваються). Для КП розроблені ефективні методи зменшення інструментальних похибок, викликаних місцевими умовами і взаємним впливом АЕ. Крім того, спрощується реалізація на основі уніфікованих блоків: однотипних ненапрямлених АЕ, двухканальних радіоприймальних пристроїв із загальним гетеродином, антенних комутаторів, блоків аналого-цифрової обробки. Просторова роздільна здатність і вимір напрямку приходу радіохвиль в кореляційних інтерферометрах може ефективно поєднуватися з вимірюванням напруженості поля кожного з виявлених джерел [1].

1.5 Короткі відомості про методи визначення координат місцеположення джерел радіовипромінювання (Триангуляційний метод)

Прогрес цифрової обчислювальної техніки, космічних засобів навігації, засобів радіозв'язку та інших областей високих технологій рішучим чином вплинув на розвиток засобів і систем вимірювання координат джерел радіовипромінювання. Підсумком стала поява автоматичних територіально-розподілених систем радіомоніторингу та визначення місцезнаходження ДРВ. Основні вимоги, що пред'являються до таких систем, зводяться до наступного:

- обов'язкова наявність універсальних функцій радіомоніторингу;
- помилка визначення місця розташування джерела радіовипромінювання в межах зони охоплення системи повинна бути мінімальною;
- в межах робочого діапазону частот система повинна визначати місце розташування джерел радіовипромінювання будь-якого типу (з довільною шириною спектру займаних частот і видом модуляції);
- система повинна забезпечувати вимір напруженості поля або щільності потоку потужності;

- система повинна складатись з мінімально можливого числа постів спостереження;
- пости спостереження системи повинні бути пов'язані в єдину мережу для автоматичного визначення місця розташування джерела радіовипромінювання;
- витрати на виготовлення, розгортання і експлуатацію такої системи повинні бути, по можливості, мінімальними.

Як правило, робочий діапазон частот системи повинен охоплювати від 9 кГц до 3 ГГц, а в окремих випадках до 18 пли 40 ГГц.

Необхідна кількість станцій радіомоніторингу визначається площею, рельєфом і фінансовими можливостями служб, яким вони належать. В ідеальному випадку будь-яка точка контрольованої території повинна знаходитися в зоні дії принаймні двох радіопеленгаторів, що забезпечують визначення координат ДРВ. Однак в такому випадку число постів і вартість системи неприпустимо зростають. Тому більш доцільним є підхід, коли в системі радіомоніторингу є стаціонарні станції, зона дії яких охоплює найбільш густонаселені райони, мобільні станції, змонтовані на наземних, повітряних або водних транспортних засобах, і портативні станції, які в необхідних випадках можуть бути швидко розгорнуті в потрібних районах, в тому числі у важкодоступних точках.

Системи, що задовольняють перерахованим вимогам, можуть використовувати два відомих метода визначення координат ДРВ.

- кутомірний метод (за допомогою радіопеленгаторів):
- різнице-далекомірний метод (гіперболічні системи).

Кутомірні системи визначення місця розташування джерел радіовипромінювання містять в своєму складі радіопеленгатори. Так як конкретне положення джерела радіовипромінювання невідомо, застосовують два і більше радіопеленгатора, розташованих в різних точках зони дії системи.

Безсумнівним достоїнством кутомірних систем є те, що при пеленгації квазінепереривних ДРВ кожен з постів спостереження не вимагає точної синхронізації за часом з іншими постами. Іншою перевагою подібних систем є невеликий обсяг інформації, що передається від постів пеленгування на пост обчислення координат. Такі системи забезпечують підвищену живучість - повна працездатність зберігається при зниженні числа постів спостереження до трьох, а часткова - до двох.

Основні недоліки даних систем пов'язані з відповідними недоліками радіопеленгаторів, це:

- залежність помилки обчислення координат ДРВ від взаємного розташування пеленгаторів і ДРВ в межах зони охоплення системи;
- відносно висока вартість радіопеленгаторів, особливо з широкодіапазонними антенами з коефіцієнтом перекриття по частоті вище 10.

До того ж на точність пеленгування істотний вплив можуть надавати вид модуляції і ширина спектра ДРВ. Для багатоканальних інтерферометров цей вплив практично відсутній, тоді як для квазідоплеровських радіопеленгаторів воно істотно.

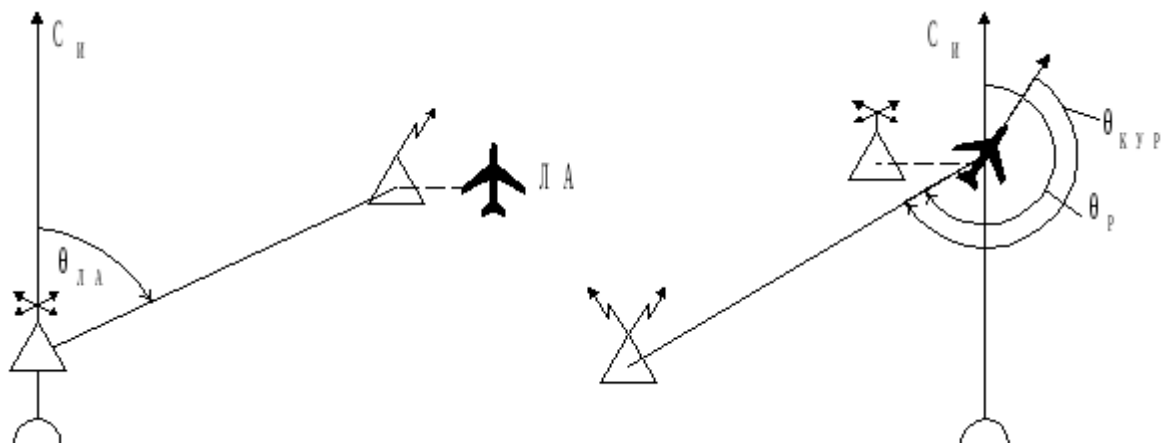


Рис. 1.7. Визначення кута пеленга за допомогою наземного і бортового РП

обчислюються на основі вимірних значень тимчасових затримок в поширенні радіохвиль від ДРВ до постів спостереження. Для таких систем характерна незалежність результатів від типів використовуваних антен і від виду поляризації радіохвилі. Найкращі результати зазвичай дає використання

ненапрямлених антен. Це властивість РДС є їх головною перевагою по відношенню до кутомірним системам [7].

Різниця затримок між двома постами спостереження визначає геометричне місце точок в яких може бути розташоване джерело радіовипромінювання, - гіперболу з фокусами в точках розташування постів спостереження, тому РДС ще називаються гіперболічними. Таким чином, число постів в РДС має бути як мінімум три, але в цьому випадку при розташуванні джерел в деяких зонах простору можливе виникнення двох (або більше) рішень системи гіперболічних рівнянь. Введення четвертого поста спостереження вносить в систему необхідну достатність і дозволяє позбутися від неоднозначності.

Істотним недоліком РДС є неможливість визначення місця розташування джерела немодульованого колювання. Крім того, точність визначення місця розташування джерела залежить від його модуляції, найкращі результати досягаються для джерел з загостреним і бистроспадаючою автокорреляційною функцією модулюючого сигналу.

На відміну від кутомірних систем визначення місця розташування джерел радіовипромінювання для РДС необхідна тимчасова синхронізація між усіма постами системи з точністю до 10^{-8} с, яка ускладнює апаратуру.

Нарешті на відміну від радіопеленгатора, результатом роботи якого може бути тільки значення азимута, результатом одного поста спостереження в РДС повинна бути вибірка сигналу. Вибірki сигналів передаються з усіх постів спостереження на загальний пост обчислення координат, де визначаються відповідні затримки, а по ним і місце розташування ДРВ. Тому в РДС обсяг інформації, що передається від постів спостереження до посту обчислення координат, може виявитися більшим, ніж в угломерной системі.

Таким чином, для організації територіально-розподіленої системи визначення місця розташування ДРВ з довільними видами модуляції кращими виявляються кутомірні системи на основі радіопеленгаторів [1], [3].

1.6 Основні відомості про аналізатори випромінювань (скануючий приймач, приймачі для моніторингу спектру випромінювань тощо)

Радіоприймачем називають систему взаємозалежних вузлів за допомогою яких відбувається вилучення енергії електромагнітного поля, селекція, посилення і перетворення радіосигналів з метою отримання закладеної в них інформації.

Приймальна антена виконує першу основну функцію радіоприймального пристрою - витягує енергію електромагнітного поля і перетворює її в електричний сигнал. Радіоприймач здійснює другу основну функцію радіоприймального пристрою - виділяє і перетворює електричний сигнал, отриманий від антени, підсилює його. Це перетворення виконується так, щоб отримати нормальну роботу кінцевого пристрою, який виконує третю основну функцію радіоприймального пристрою - вилучення з прийнятого сигналу корисної інформації [5].

1.6.1. Скануючий приймач

Як приклад радіоелектронного пристрою, однаково успішно працюючого в забезпеченні безпеки бізнесу і у військовій справі, можна привести скануючий приймач.

Одні фахівці вважають його обов'язковим інструментом забезпечення інформаційної безпеки ділових переговорів, конфіденційних даних. Дійсно, таким приймачів немає рівних в пошуку знімають аудіо (в основному) і відеоінформацію пристроїв, що передають потім її власнику-шпигунові по радіоканалу. Інші фахівці небезпідставно вважають це обладнання частиною системи радіоелектронної боротьби (РЕБ), яка застосовується і під час ведення бойових дій.

Завдяки визначенню наявності радіопередачі в певному частотному діапазоні, пристрій дає можливість ефективно знаходити шпигунські радіозакладки. Сучасний скануючий приймач здатний «розвинути»

швидкість прослуховування радіоефіру в 100 кроків за секунду і вести реєстрацію знайдених сигналів в пам'яті.

Деякі моделі оснащуються блоком демодуляції, що дозволяє прослуховувати передану в ефірі інформацію. Типи визначається модуляції - FM (частотна), WFM (широкочастотная), AM (амплітудна) і деякі інші.

Дані пристрої контролю ефіру розрізняються по двох основних групах:

- переносні;
- перевізні.

До групи переносних пристроїв відносять приймачі, що мають масу від 150 до 300 грам. Ці моделі виконані з метою прихованого носіння. Їх ознака - корпус, схожий за форматом стільникового телефону, і автономні джерела живлення. Приклад переносного радіоприймача показаний на рис. 1.8.



Рис. 1.8. Переносний радіоприймач

Перевізні пристрої характеризуються вагою до 6,8 кг. Мінімальна відома вага представника цієї групи приймачів - 1,2 кг. Область застосування цієї групи устаткування, при практичних ідентичних робочих характеристиках попередньої групи, - в кузові автомобіля (або іншого спеціалізованого транспортного засобу) або стаціонарно в приміщенні.

Можна згадати о скануючих приймачах інших форматів - у вигляді тих які підключаються до комп'ютера (ПК) блоків або навіть друкованих плат, що вставляються в системний блок ПК [5].

1.6.2. Аналізатор спектру

Аналізатор спектра - це пристрій для використання при спостереженні, а також для вимірювання відносного розподілу енергії електричних / електромагнітних коливань в смузі частот (див. рис. 1.9.). Спектральний аналізатор відображає і амплітуду спектральних компонент, в залежності від частоти, і індивідуальні частотні компоненти, з яких складається складний сигнал. Аналізатори спектра застосовують всі позитивні властивості перетворення частоти супергетеродинного приймача з свіпіруючим налаштуванням.

Спектральні аналізатори можуть виконувати такі види вимірювань, як абсолютне і відносне вимірювання частоти, абсолютне і відносне вимірювання рівня, вимірювання комбінаційних, побічних складових, вимір шуму, скалярні вимірювання, а також вимірювання електромагнітної сумісності, і допоможуть визначити амплітуду і частоту спектральних компонент.

До основних параметрів аналізаторів спектра можна віднести смугу пропускання, чутливість, динамічний діапазон. Головною перевагою цих пристроїв є їх роздільна здатність: маленький інтервал по частоті між двома спектральними лініями, які ще поділяються аналізатором.

Аналізатор спектра може дати справжній спектр тільки тоді, коли аналізоване коливання відбувається періодично, або існує тільки в межах інтервалу.

Спектральні аналізатори класифікують за такими характеристиками:

- за частотним діапазоном,
- за принципом дії,
- за способом обробки інформації та результатів,

- за характером аналізу.

Розглянемо більш докладно, які ж бувають аналізатори спектра.

Аналізатори низькочастотні можуть бути як паралельного (більш поширені), так і одночасного (послідовного) типу. Вони призначені для роботи в гнучкому діапазоні частот - від декількох Гц до сотень кГц. Низькочастотні аналізатори використовуються в основному в акустиці.

Радіочастотні пристрої призначені для аналізу радіосигнальних властивостей, а також для дослідження характеристик радіопристроїв. В основному, аналізатори радіочастот є широкосмуговими. Робочий діапазон - від декількох Гц - до сотень ГГц.

Також є і оптичні спектральні пристрої. Вони є досить важливим видом вимірювання в сучасних волоконно-оптичних системах зв'язку.

Застосовують аналізатори спектра для безперервного контролю стану механізмів і окремих деталей, гідроакустичних вимірювань (гідна альтернатива ехолоту), вібраційних і акустичних випробувань різних об'єктів.



Рис. 1.9. Аналізатор спектру

Як конкретний приклад, можна навести лінійку аналізаторів спектру та сигналів Anritsu MS2830A. Такий аналізатор показаний на рис. 1.10.

Аналізатори спектру і сигналів Anritsu MS2830A - це основна лінійка функціональних, високошвидкісних і в той же час економічних аналізаторів для лабораторії і виробництва, що випускаються компанією Anritsu. Аналізатори цієї серії не тільки підтримують захоплення і аналіз широкосмугових сигналів, але і за допомогою ШПФ (Швидке перетворення Фур'є) дозволяють виконувати багатфункціональний аналіз сигналів як в частотній, так і в тимчасовій області. Більш того, аналізатори серії MS2830A можуть комплектуватися вбудованим генератором, який здатний формувати як безперервні, так і модульовані коливання для використання їх в якості опорних при перевірці характеристик блоків передавального тракту і в якості вхідного сигналу для визначення характеристик приймального тракту [9].



Рис. 1.10. Аналізатор спектру і сигналів Anritsu MS2830A

Області застосування:

- аналізатор спектру загального призначення для лабораторій і виробничих ліній;
- розробка і тестування НВЧ пристроїв;
- вимір фазового шуму;
- попередні випробування по EMC;
- генерація, демодуляція і аналіз якості бездротових стандартів зв'язку: LTE, GSM / EDGE, W-CDMA / HSPA +, TD-SCDMA, CDMA2000, EV-DO, HSDPA / HSUPA, WiMAX, WLAN (802.11), Bluetooth і інших.

Основні характеристики:

Частота: 9 кГц - 3,6 ГГц (модель MS2830A-040).

Частота: 9 кГц - 6 ГГц (модель MS2830A-041).

Частота: 9 кГц - 13,5 ГГц (модель MS2830A-043).

Частота: 9 кГц - 26,5 ГГц (модель MS2830A-044).

Частота: 9 кГц - 43 ГГц (модель MS2830A-045).

Розширення (RBW): 1 Гц - 10 МГц (до 31,25 МГц як опція).

Смуга аналізу сигналів: 10 МГц; 31,25 МГц; 62,5 МГц; 125 МГц (залежить від опцій).

Амплітуда: від +30 дБм до -153 дБм. Похибка амплітуди: $\pm 0,3$ дБ.

Апаратні опції: передпідсилювач (опції 008 і 068), рубідієвий опорний генератор (опція 001), векторний генератор сигналів (опції 020 і 021), генератор сигналів довільної форми (опція 028), вимірювання рівня помилок BER (опція 026), низький фазовий шум (опція 066), функція вимірювання фазового шуму (опція 010), функція вимірювання коефіцієнта шуму (шум-фактора) (опція 017), попередні випробування EMC (опція 016) та інші (всього 22 апаратні опції).

Програмні опції: генерація, демодуляція і аналіз бездротових стандартів зв'язку: LTE, GSM / EDGE, W-CDMA / HSPA +, TD-SCDMA, CDMA2000, EV-DO, HSDPA / HSUPA, WiMAX, WLAN (802.11), Bluetooth і інші (всього 37 програмних опцій).

Екран 21,3 см (роздільна здатність 1024 x 768). Інтерфейси: USB, Ethernet, IEEE-488 (GPIB).

Маса: 13,5 кг. Габарити: 426 x 177 x 390 мм. Робоча температура: від + 5 ° С до + 45 ° С.

Висока точність і швидкість вимірювань при нормальній ціні [6].

Висновки до розділу

В першому розділі дипломної роботи розглядалися основні відомості про системи моніторингу. Основним призначення засобів радіомоніторингу є постійний або періодично контроль завантаження ефіру в широкому діапазоні частот, виявлення і аналіз нових випромінювання, визначення

розташування їх джерел, оцінка їх небезпеки чи цінності, виявлені ненавмісних або спеціально організованих радіоканалів витоку інформації, при цьому кожне таке завдання є багатоетапним.

Було розглянуто склад обладнання системи радіомоніторингу на прикладі АСРМ "АРМАДА". До складу АСРМ входять центри и пункти управління, які організують роботу системи. Кожен центр обслуговує відповідній йому регіон и забезпечує узгоджену роботу підлеглих вузлів. Кількість рівнів ієрархії визначається призначенням и масштабом системи.

Також проаналізовані методи пеленгації джерел радіовипромінювання, такі як метод максимуму і метод мінімуму, а так само знайдені короткі відомості про методи визначення координат місця розташування джерел випромінювання (кутомірний метод, різниці-далекомірний метод).

Розглянуті основні відомості про аналізатори радіовипромінювання (Скануючий приймач і аналізатор спектру), їх характеристики і принципи роботи.

РОЗДІЛ 2 ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ SDR ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ДЖЕРЕЛ РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ

2.1 Основні відомості про SDR технологію

Software Defined Radio - радіопередавач і / або радіоприймач, який використовує технологію, що дозволяє за допомогою програмного забезпечення встановлювати або змінювати робочі радіочастотні параметри, включаючи, зокрема, діапазон частот, тип модуляції або вихідну потужність, за винятком зміни робочих параметрів, використовуваних в ході звичайної попередньо визначеної роботи з попередніми установками радіоприладу, згідно з тією чи іншою специфікації або системи (див. рис. 2.1). Побудований на базі цифрової обробки сигналів процесором комп'ютера. Від класичного «аналогового» принципу відрізняється саме тим, що сигнал на якомога більш ранніх стадіях (в разі приймача) перетворюється в цифровий вигляд і надалі обробляється процесором. Це дозволяє позбутися від маси аналогових елементів схеми, часто дорогих і / або які вимагають тонкої настройки. У разі SDR-передавача, сигнал до останнього існує в цифровому вигляді і проходить ЦАП в самому кінці свого формування[10].



Рис.2.1. Програмно - кероване радіо на прикладі RTL-SDR V3

Програмно - керована радіосистема виконує значну частину цифрової обробки сигналів на звичайному персональному комп'ютері або на ПЛІС. Метою такої схеми є радіоприймач або радіопередавач довільних радіосистем, змінюваний шляхом програмної переконфігурації (звідси походить альтернативне найменування таких систем - програмно конфігуровані) [11].

Відмінними рисами таких пристроїв є:

- надширокосмугова і малoshумляча радіочастотна частина, що володіє великим динамічним діапазоном;
- високошвидкісний з великим динамічним діапазоном тракт аналого-цифрового перетворення;
- володіючий великою обчислювальною потужністю сигнальний процесор і спеціалізований цифровий тракт фільтрації.

Використання SDR технології обумовлено тим, що вона дозволяє приймати і передавати сигнали з використанням різних частот і стандартів, вибір яких залежить від різних факторів. Ця технологія підтримується як виробниками обладнання, так і постачальниками послуг систем зв'язку і дозволяє усунути протиріччя між ними: виробники використовують стандарти, які чітко описують систему і дозволяють їм виробляти великі партії стандартних пристроїв, постачальники ж не люблять ці стандарти, оскільки стандарт утруднює диференціацію послуг. SDR технологія дозволяє виробляти стандартні пристрої і робити ці пристрої унікальними програмним способом. При цьому кінцевий користувач отримує велику «мобільність», завдяки можливості використання мультістандартних мобільних станцій, в яких перемикання з одного стандарту на інший відбувається автоматично без участі останнього.

Однією із складових частин концепції SDR є використання цифрової ПЧ (проміжної частоти) для забезпечення режимів Digital IF на прийом і Direct IF на передачу, і перепрограмованих пристроїв частотної селекції сигналу.

Приймачі (як і передавачі) з цифровою ПЧ є на даний момент швидко розвиваючоюся областю, знаходить застосування в сучасних базових станціях 2-3 покоління. Використання цифрової ПЧ стало реальністю завдяки появі високошвидкісних АЦП і ЦАП з великою розрядністю і високою лінійністю, а також високопродуктивних пристроїв цифрової обробки сигналів. Прорив що відбувся в останні роки в технології виробництва електронних компонентів і в першу чергу високошвидкісних сигнальних процесорів прискорив інтерес до цієї тематики.

Важливість використання цифрової ПЧ в ідеології побудови приймача (див. рис. 2.2) тісно пов'язана зі здешевленням аналогової його частини. Якщо параметри цифрового фільтру можуть бути поліпшені за рахунок підвищення його порядку і розрядності, то для аналогового фільтра ситуація зовсім інша. Параметри цифрової фільтрації і гетеродинування на практиці зазвичай обмежені бажаннями розробника, в той час як для аналогових пристроїв обмеження чисто фізичні, такі як найрізноманітніші шуми і нелінійності. Саме цим обумовлено використання декількох гетеродинів і поетапної аналогової фільтрації.

У приймальній апаратурі побудова дешевого і малошумлячого аналогового тракту (див. рис. 2.3) можливо тільки за рахунок ослаблення вимог щодо фільтрації в ньому сигналу і забезпеченні всієї необхідної вибіркової в цифровому тракті. З урахуванням мультістандартного характеру проєктованого пристрою, який до того ж може бути багатоканальним, використання цифрової ПЧ представляється єдиним можливим варіантом обробки сигналу.

З передавачем ситуація цікавіше. Оскільки сучасні системи використовують найрізноманітніші схеми модуляції, що вимагають часто складних і високоточних схем формування квадратурних компонентів сигналу (найчастіше багатоканальних), сформувавши їх на нульовій частоті просто не представляється можливим.

Таким чином, використання технології SDR обумовлено тим, що вона дозволяє обробляти і передавати сигнали з використанням різних частот і стандартів, вибір яких залежить від різних факторів [13].

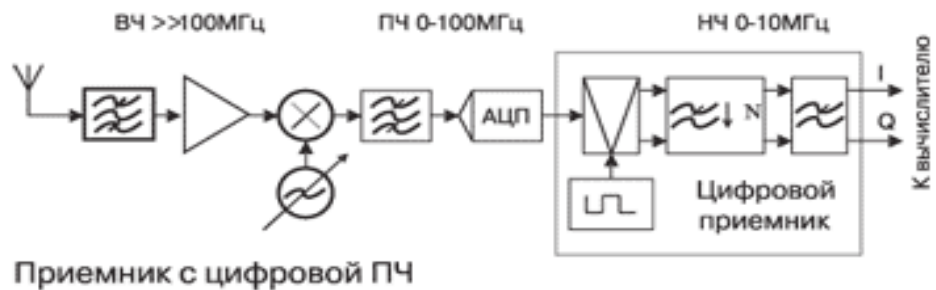


Рис.2.2. Приемач з цифровою проміжною частотою

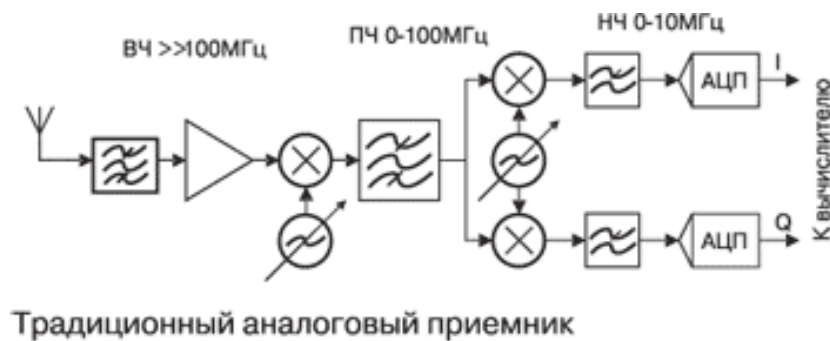


Рис. 2.3. Традиційний аналоговий приймач

Існуючі SDR можна розділити на 3 види:

- Вже застарілі моделі на базі звукової карти - оцифровка сигналу в них відбувається в ПК, а сигнал передається на лінійний вхід по аудіокабелю. Зараз вони давно зняті з виробництва.

- SDR, що мають вбудований АЦП і передають сигнали в ПК в цифровому форматі. Це більшість сучасних пристроїв середнього цінового діапазону. Вони побудовані за принципом гетеродинного прийому, тільки після перенесення частоти замість НЧ-блоку стоїть АЦП. Такі приймачі мають ширину смуги пропускання від 2 до 10МГц, є різні моделі на різні частоти і діапазони (rtl sdr, SDRPlay, Airspy). Недолік будь-якого супергетеродинного

приймача - наявність дзеркальних каналів прийому - оскільки фільтри неідеальні, станції приймаються там де реально їх немає.

- DDC (direct down conversion) SDR. Це найсучасніша технологія на сьогоднішній день. Суть в тому, що гетеродин тут не потрібен - надшвидкий АЦП з частотою оцифровки порядку 100млн семплів / с оцифровує безпосередньо вхідний сигнал з ефіру, що дозволяє (згідно з теоремою Котельникова / Шеннона) мати прийом до частоти, яка дорівнює половині частоти дискретизації. Верхня межа частоти DDC-приймачів зазвичай обмежений 30-50МГц, тому що більш швидкодіючих АЦП в продажу або немає, або вони коштують надто дорого

Інший важливий параметр - тип підключення. Більшість SDR підключаються по USB, але є моделі і з LAN-портом (Afedri, Colibri). Це може бути зручно для організації віддаленого прийому [12].

2.2.Скануючий пристрій на базі SDR приймача RTL2832U

RTL-SDR - це ціле сімейство не дорогих ТВ-тюнерів, здатних виконувати функцію SDR-приймача. У цих пристроїв різні назви і бренди, але об'єднує їх одне - всі вони побудовані на чіпсеті RTL2832 (див. рис. 2.4). Це мікросхема, що містить два 8-бітних АЦП з частотою дискретизації до 3,2 МГц (проте вище 2,8 МГц можуть бути втрати даних), і інтерфейс USB для зв'язку з комп'ютером. Ця мікросхема на вході приймає I- і Q-потоки, які повинні бути отримані інший мікросхемою.



Рис. 2.4 Типічний приймач на основі RTL2832 - EzTV668

R820T і E4000 - це дві найбільш зручні для SDR мікросхеми, які реалізують радіочастотну частину SDR: підсилювач антени, перебудовуємий фільтр і квадратурний демодулятор з синтезатором частоти.

Різниця між ними така: E4000 (див. рис. 2.5) працює в діапазоні ~ 52 - 2200 МГц і має трохи більшу чутливість на частотах менше 160 МГц. Через те що мікросхема знята з виробництва, тюнери купувати все важче, і ціни на них ростуть.

R820T працює в діапазоні 24-1766 МГц, однак діапазон перебудови внутрішніх фільтрів сильно ускладнює роботу R820T вище 1200 МГц (що робить неможливим, наприклад, прийом GPS). На даний момент тюнери на цій мікросхемі легко купити, і коштують вони близько 10-11 доларів.

Також продаються тюнери на мікросхемах FC0012 / FC0013 / FC2580 - у них дуже серйозні обмеження по частотах роботи. Дізнатися, на який мікросхемі зроблений тюнер, можна в описі товару або запитавши у продавця [14].

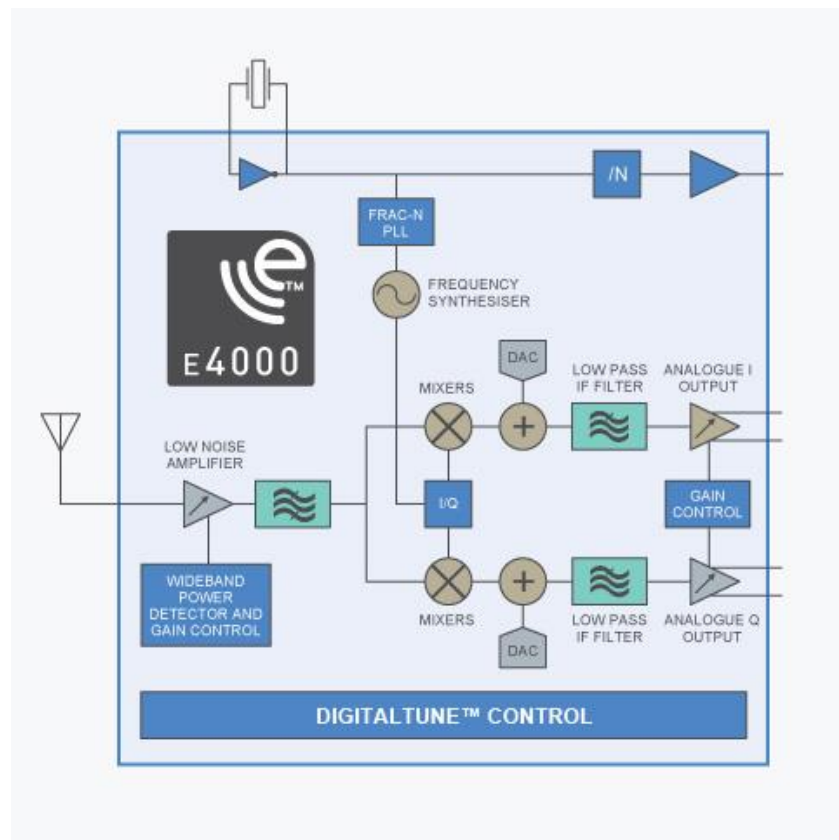


Рис. 2.5. Блок-схема тюнера E4000

2.2.1 Особливості чіпсету RTL2832U

- COFDM сумісний з Nordig Unified 1.0.3, D-book 5.0 і ETSI 300-744;
- Підтримка декількох частот ПЧ (4,57 МГц або 36,167 МГц) і інверсія спектра;
- Включає підтримку радіо (FM / DAB / DAB +);
- Включає ISDB-T (SBTVD-T) 1-сегментний;
- Підтримує введення Zero-IF;
- Один недорогий кристал для генерації годин ($\pm 100\text{ppm}$);
- Автоматичний режим передачі і визначення захисного інтервалу;
- Схеми придушення імпульсного шуму;
- Автоматичне відновлення несучої в широкому діапазоні зсуву ($\pm 800\text{ кГц}$);
- Чудова продуктивність з профілями pre / post / long echo;
- Вбудована сусідня і поєднана схема придушення перешкод;
- Затримка АРУ з програмованої точкою захоплення (TOP);

- 7-бітний АЦП для вимірювання рівня радіочастотних сигналів;
 - Апаратні ПД-фільтри MPEG-2;
 - Інфрачервоний порт для віддаленого управління і активації,
- підтримуються наступні протоколи:

- Протокол Microsoft RC6;
- Протоколи NEC, Sony, SIRC, RC-5;
- Вісім портів введення / виводу загального призначення;
- Інтерфейс USB 2.0;
- Підтримка USB Full / High Speed;
- Конфігурується інформація про постачальника через зовнішню EEPROM;

- Проходить сертифікацію USB-IF;
- Потрібно сигнал 3,3 зовнішнього живлення;
- 48-контактний QFN (6x6 мм 2) зелений корпус.

RTL2832U - це високопродуктивний демодулятор DVB-T COFDM, що підтримує інтерфейс USB 2.0. RTL2832U сумісний з NorDig Unified 1.0.3, D-Book 5.0 і EN300 744 (специфікація ETSI). Він підтримує режим 2К або 8К з пропускною здатністю 6, 7 і 8 МГц. Параметри модуляції, наприклад кодова швидкість і захисний інтервал, визначаються автоматично.

RTL2832U підтримує тюнери з виходами IF (проміжна частота, 36,125 МГц), з низькою IF (4,57 МГц) або Zero-IF з використанням кристала 28,8 МГц і включає підтримку FM / DAB / DAB + Radio. Вбудований в вдосконалений АЦП (аналого-цифровий перетворювач) RTL2832U відрізняється високою стабільністю при портативному прийомі.

Сучасний RTL2832U оснащений фірмовими алгоритмами Realtek (заявку на отримання патенту), включаючи чудову оцінку каналу, відхилення інтерфейсу в суміщеному каналі, прийом по довгому луна-каналу і придушення імпульсного шуму, і забезпечує ідеальне рішення для широкого діапазону додатку для ПК-ТВ, такі як USB -ключ і MiniCard / USB, і вбудована система через інтерфейс USB. [5]

2.3 Скануючий пристрій на базі трансивера SDR BladeRFx40

BladeRF x40 - це програмно-кероване радіо (SDR) USB 3.0, призначене для того, щоб досліджувати і експериментувати з міждисциплінарними аспектами радіочастотного зв'язку (можливий зовнішній вигляд такого радіо представлений на рис. 2.6). Для користувачів, які хочуть виконувати обробку на хості, USB 3.0 SuperSpeed є ідеальним інтерфейсом з високою пропускнуою здатністю і низькою затримкою автономного рішення. bladeRF працює автономно, використовуючи FPGA для обробки сигналів. Він має вбудовану 40KLE Altera Cyclone 4 FPGA, готову для програмування [17].

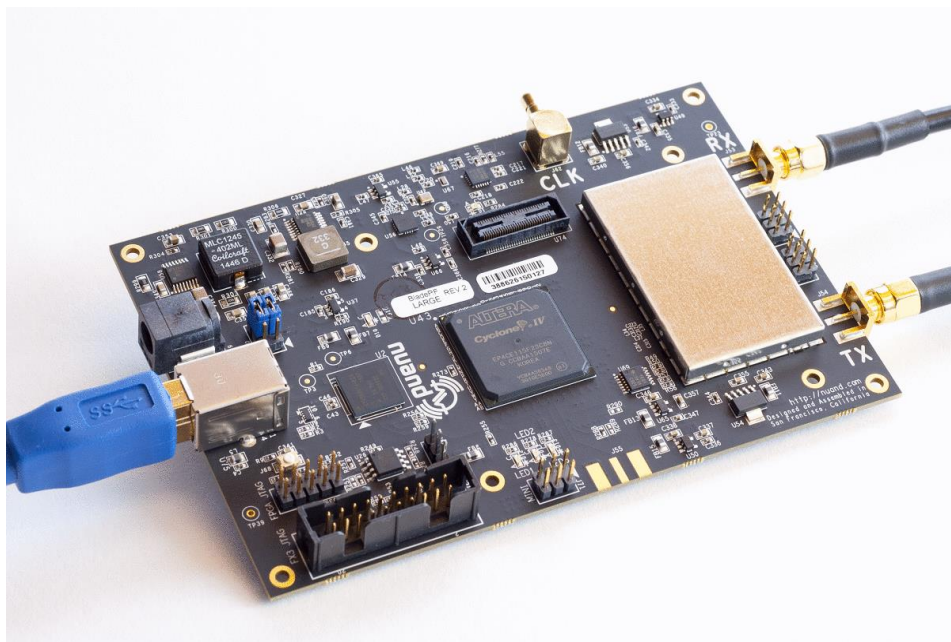


Рис. 2.6. Програмно-обумовлене радіо BladeRFx40

У стандартній комплектації bladeRF може налаштовуватися на частоту від 300 МГц до 3,8 ГГц без необхідності використання додаткових плат. Поточні драйвери з відкритим вихідним кодом забезпечують підтримку GNURadio серед іншого, дозволяючи зручно використовувати bladeRF. Це дає bladeRF гнучкість, що дозволяє йому діяти в якості призначеного для користувача радіомодема, пікосоти GSM і LTE, приймача GPS, передавача ATSC або комбінованого клієнта Bluetooth / WiFi без необхідності використання будь-яких плат розширення [18].

Технічні характеристики

- 12-бітна квадратурна вибірка в повнодуплексному режимі 40MSPS;
- Заводське калібрування VCTCXO, налаштована в межах 1 Гц від 38,4 МГц;
- РЧ-екрани з кришкою, для підвищення чутливості та ізоляції системи;
- Гнучка тактова архітектура для довільних частот дискретизації;
- Порт розширення GPIO (плата розширення GPIO);
- Спалах SPI, що дозволяє працювати без голови;
- Розширене частотне покриття з використанням плати перетворювача XB-200;
- Типова потужність передачі + 6 дБм;
- USB 3.0 SuperSpeed SDR з живленням від шини;
- Діапазон частот 300 МГц - 3,8 ГГц;
- Незалежна RX / TX 12-бітна 40MSPS квадратурна вибірка;
- Здатний досягати повнодуплексних каналів 28 МГц;
- 16-розрядний ЦАП, відкалібрований на заводі 38,4 МГц +/- 1 стр / хв VCTCXO;
- Вбудований 200 МГц ARM9 з вбудованою SRAM 512 КБ (доступний порт JTAG);
- Вбудована 40KLE Altera Cyclone 4 E FPGA (мається порт JTAG);
- 2x2 MIMO налаштовується за допомогою кабелю SMB, розширюється до 4x4;
- Стабільна підтримка програмного забезпечення Linux, Windows, Mac і GNURadio [18],[17],[16].

2.3.1 Архітектура BladeRFx40

Архітектура програмно-обумовленої радіосистеми BladeRFx40 представлена на рис. 2.7. З самого початку в реалізації радіосистеми bladeRF передбачалося, що вона буде з високим ступенем інтеграції, і що буде можливість її повного перепрограмування. Прошивку мікроконтролера USB 3.0 (Cypress FX3) можна змінювати, як Altera Cyclone IV ПЛІС VHDL. Всі «шматочки» з яких складається bladeRF можна перетворювати, аж до логіки ПЛІС. Altera Cyclone IV ПЛІС забезпечує інтерфейс між FX3 і радіочастотним приймачем. ПЛІС може виступати в якості прискорювача будь-якого типу і має можливість доступу до вбудованої пам'яті, підсилювачів (18x18) і багатьом загальним логічним елементам, що мають можливість до програмування. LimeMicro LMS6002D є повністю інтегрованим радіочастотним приймачем. Використовується для харчування в пікосоті і здатний взаємодіяти з різними стандартами і технологіями [19].

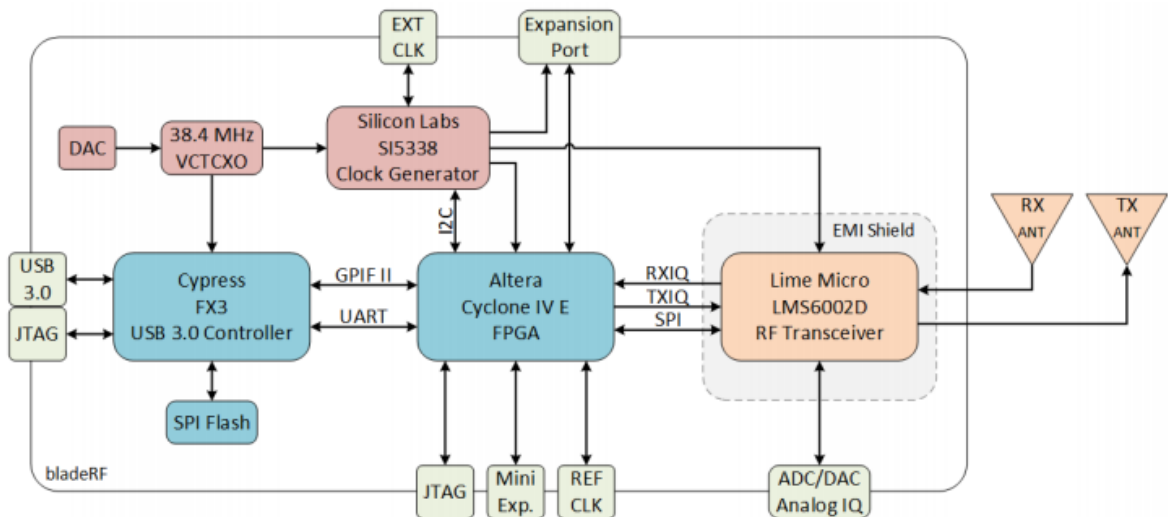


Рис. 2.7. Архітектура програмно-обумовленої радіосистеми BladeRFx40

2.4 Використання RTL2832U та BladeRFx40 з різним програмним забезпеченням

2.4.1 Використання RTL2832U та BladeRFx40 з SDRSharp

SDRSharp - одна з популярних і простих у використанні програм під Windows для роботи з RTL2832 (і деякими іншими SDR). Інтерфейс SDR Sharp – примітивний (див. рис. 2.8, 2.9). Тут є всього лише одне вікно. У лівій частині розташовуються настройки, а в правій графіки. Графік у вигляді кривої лінії відображає рівень сигналу на обраних частотах. Чим вище рівень сигналу, тим, відповідно, надійніше з'єднання на цій частоті і є ймовірність, що саме там ведеться трансляція чогось відмінного від шуму. Але далеко не завжди високий рівень означає осмислену або ж взагалі трансляцію. Допомогти розібратися з тим - є там хоч якийсь сигнал або ж це просто шум, допоможе нижній графік, виконаний за методологією «водоспад» [15].

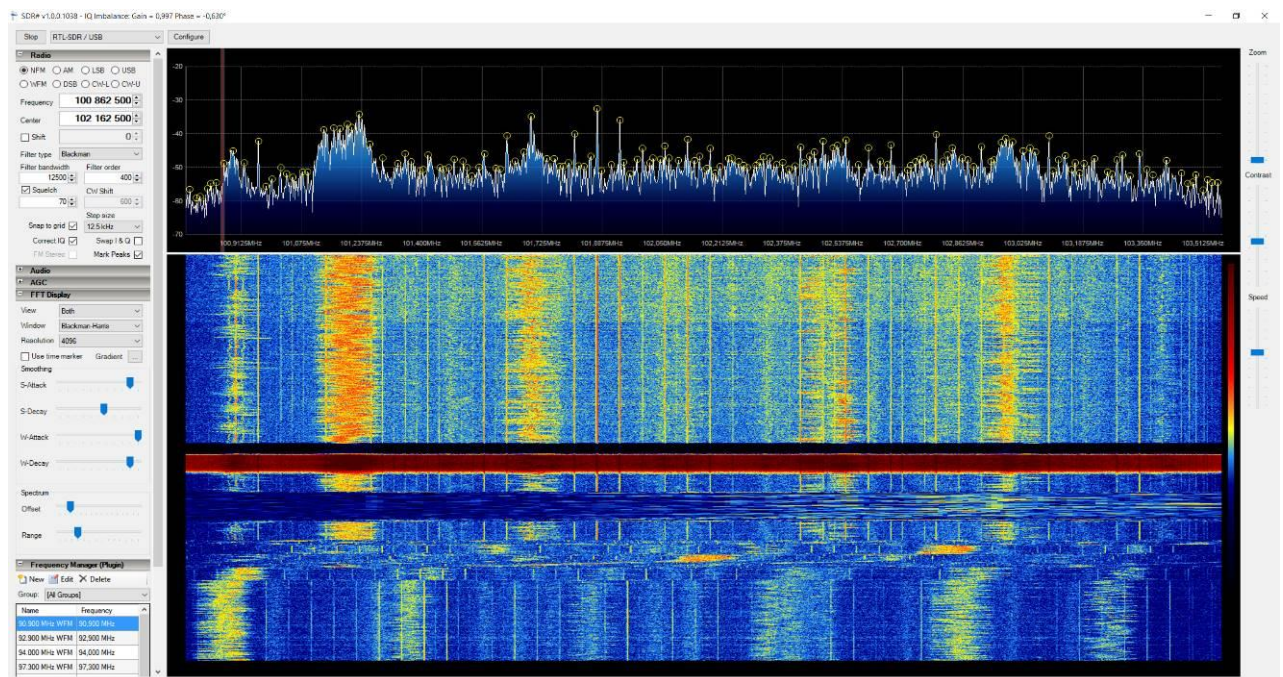


Рис. 2.8 Інтерфейс SDR Sharp

Водоспад відображає наявність корисного сигналу на кожній з відображених частот. Шум зазвичай показується синім або холодним спектром, а корисний сигнал кольоровим або теплим. На різних частотах і при

різних типах кодування сигналу, ширина і теплота ділянок відмінна. Так, наприклад, якщо намагатися зловити сигнал FM радіостанції або телевізійний сигнал, то теплий потік буде добре помітний і досить широкий.. А ось якщо ловити джерела простіше, та ті які виходять в ефір епізодично, наприклад, користувачів портативних радіостанцій або пілотів авіалайнерів, то за ними доведеться дуже уважно полювати і ловити пролітають найтонші кольорові смужки. У лівій частині вікна програми зосередилися опції настройки прийому. Особливу увагу, при спробі настройки на потрібну частоту варто звертати на тип кодування:

- NFM - частотна модуляція, часто використовуються портативними радіостанціями.
- AM - амплітудна модуляція. З нею працюють деякі радіостанції на середніх і довгих хвилях, цивільні авіалайнери і багато інших.
- LSB -однополосна модуляція (амплітудна модуляція з однієї нижньої бічної смугою), різновид амплітудної модуляції. Застосовується зараз, в основному, тільки в аматорського радіозв'язку.
- USB - майже повний аналог попереднього, але застосовується верхня бічна смуга. Застосовується до сих пір на деяких морських і військових кораблях. Як і LSB, характеризується зниженим енергетичним вимогам для передавача.
- WFM - широкосмугова частотна модуляція (музичні радіостанції).
- DSB - різновид амплітудної модуляції, а саме балансна амплітудна модуляція з придушенням несучої (double side band).
- CW (або CWL-L / CW-U) - лінійна частотна модуляція. Застосовується для трансляцій радіотелеграфу.
- RAW - чистий сигнал, без обробки. Може бути корисний для передачі сигналу в інші модулі [15].

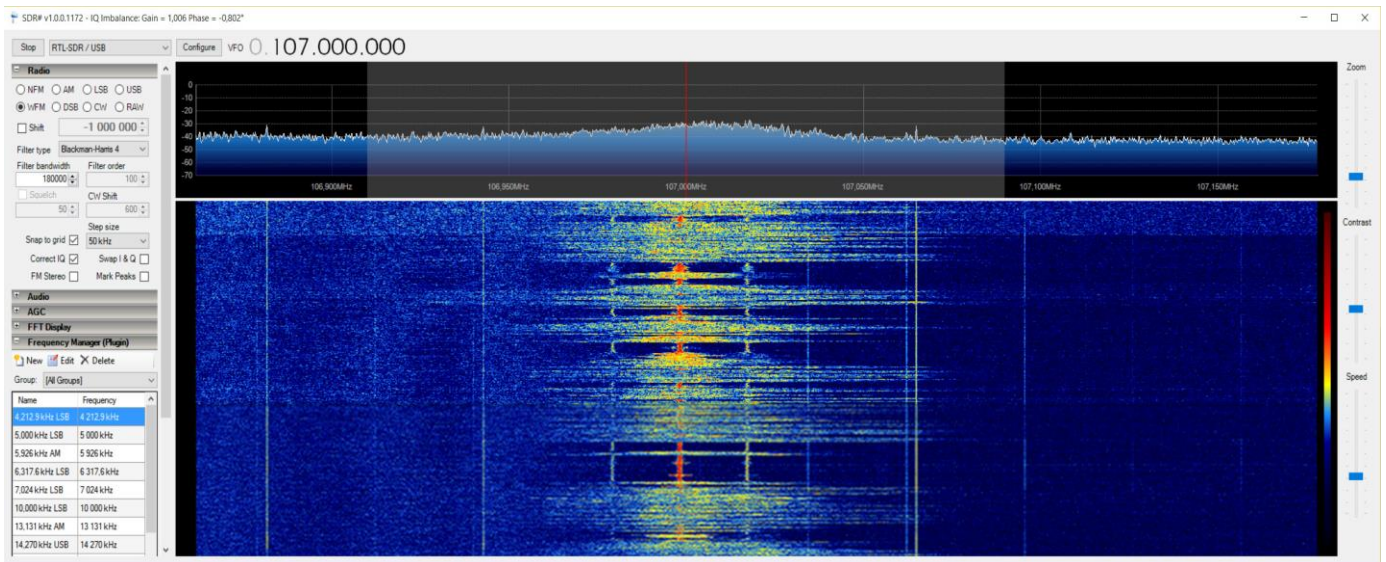


Рис. 2.9 Інтерфейс SDR Sharp більш нової версії

SDR-Console V3 - це програма SDR загального призначення, подібна до інших програм, таких як SDR#, HSDR і SDRUno. Однак SDR-Console V3 відрізняється тим, що є одним з найбільш багатофункціональних продуктів з перевагами, такими як розширені варіанти цифрової обробки та шумопридушення, формування списків обраних частот, запис та відтворення IQ із зворотним і швидким перемотуванням вперед, вбудований CW-Skimmer і супутниковий трекер, незалежний приймач управління з матричним поданням, експортування історії сигналів, планувальник запису, віддалений сервер і в подальшому підтримка SDR з можливістю передачі.

- **Головний екран програми SDR Console**

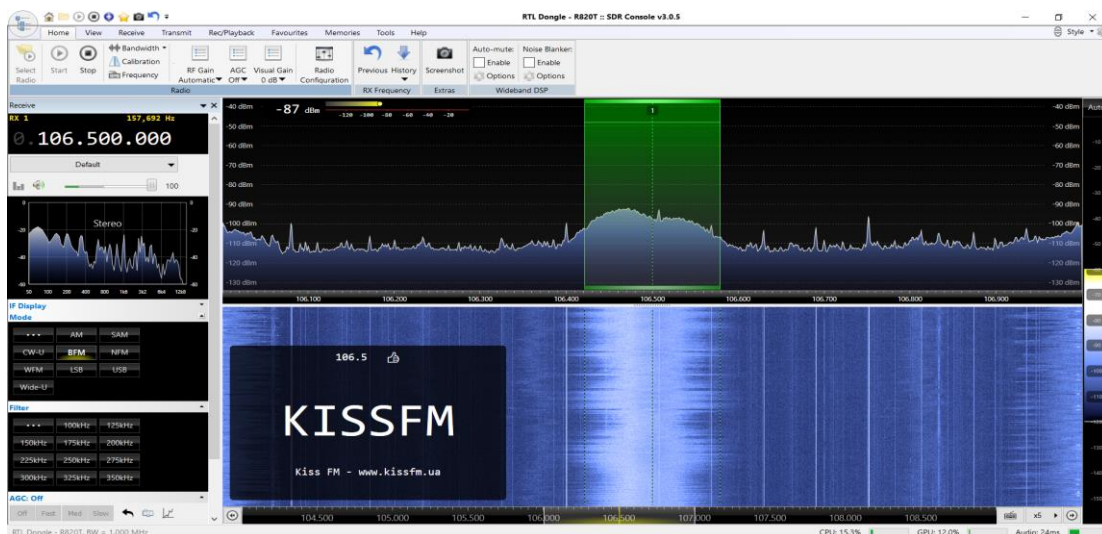


Рис. 2.10. Вигляд головного екрану програмного забезпечення SDR Console

Чорне вікно вгорі - аналізатор спектру прийнятої смуги частот. У цьому вікні крім індикації спектра за допомогою мишки можливо змінювати частоту налаштування.

Чорне вікно внизу - водоспад. Також дозволяє змінювати частоту прийому за допомогою мишки.

[STOP / PLAY] - кнопка запуску / зупинки прийому.

- *Елемент панелі управління – RADIO*



Рис.2.11. Вікно налаштування частоти прийому сигналу та відображення спектру демодульованого сигналу.

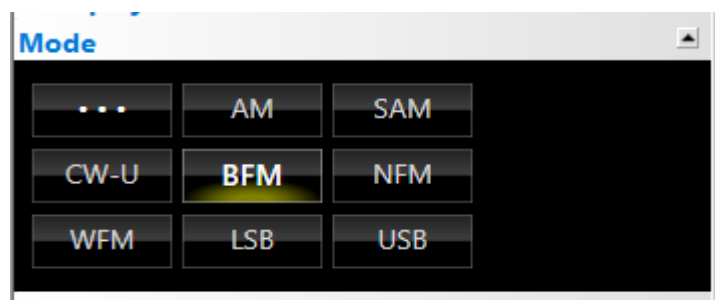


Рис. 2.12. Вікно вибору виду модуляції.

AM – амплітудна модуляція

SAM – широтно-імпульсна модуляція

CW-U – Односмугова модуляція

BFM –Трансляція ЧМ

NFM – вузький ЧМ

WFM – Широкий ЧМ

LSB – Односмугова нижня бічна смуга

USB – Односмугова верхня бічна смуга

2.4.2 Використання RTL2832U та BladeRFx40 з GNURadio

GnuRadio є вільним і відкритим джерелом програмного забезпечення, що розширює інструментарій та забезпечує можливості програмного радіомовлення. Він використовується в основному в якості програми управління SDR пристрою, яка готує дані для обробки сигналу. Операція обробки сигналу закінчується пізніше спеціалізованим модулем. GNURadio пропонує легко пераштовуєму радіосистему, що дозволяє користувачам створювати різні пристрої без необхідності покупки декількох дорогих радіостанцій. Його можна використовувати для створення додатків, отримання даних з цифрових потоків або передавати дані в цифрові потоки. Потім ці потоки передаються з використанням апаратних засобів.

GnuRadio має фільтри, каналні кодери, елементи синхронізації, еквалайзери, демодулятори, вокодер, декодери і багато інших елементів (блоків). Також GnuRadio включає в себе спосіб підключення цих блоків і управління передачею даних від одного блоку до іншого. Якщо знайти блок, який відсутній, можна легко створити і додати його. Будь-який тип даних може передаватися від одного блоку до іншого (наприклад, біти, байти, вектори або більш складні типи даних).

При створенні програмних симуляторів, для розробки можливо використовувати візуальне середовище GNURadio Companion або бібліотеки, написані на мовах C ++ і Python. Блоки створюються в C ++, а графі будуються і працюють на Python. В основному C ++ використовується для низкорівневого програмування, в той час як, Python для високорівневого, для того, щоб створювати графі і блоки з більш високим рівнем. На рис.2.14 наведена загальна структура GnuRadio.

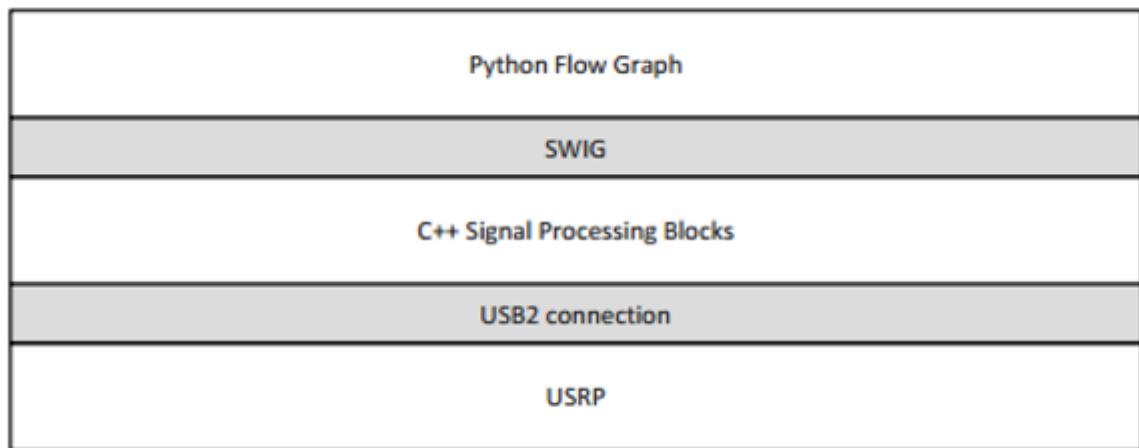


Рисунок 2.14 - Загальна структура GNURadio.

2.4.2.1 Архітектура GNURadio

Всі схеми в GNURadio будуються з блоків. Блок - це елементарна одиниця обробки сигналу, "чорний ящик" з декількома входами і виходами. Виходи одних блоків можна з'єднувати з однотипними входами інших блоків, будуючи блок-схеми. Блоки можна з'єднувати як програмно (всередині програм на Python або C++) так і в графічному редакторі (GNURadio companion). Алгоритм обробки сигналу всередині блоку реалізується на C++ (з асемблерними вставками), для всіх блоків існує обов'язок на Python.

Блоки діляться на джерела (sources), споживачі (sinks), проміжні і т.д. Також є велика бібліотека графічних віджетів, оформлених у вигляді блоків (підтримуються Wx- і QT-віджети).

Джерела не мають входів, зате мають виходи. До джерел відносяться інтерфейси SDR-приймачів, програмні генератори сигналів, інтерфейси до мікрофонів звукової картки, файли із записами сигналів.

Споживачі (sinks) не мають виходів, але мають один або кілька входів. До споживачів відносять інтерфейси SDR-передавачів, виходи звукової карти. Деякі графічні віджети також відносяться до споживачів (наприклад аналізатор спектру, осцилограф).

Є споживачі і джерела, що конвертують сигнал в/з TCP або UDP-потік даних. За допомогою таких блоків можна розділити обробку сигналу на кілька машин.

Типовий представник проміжних блоків - фільтр. Є повний набір стандартних фільтрів. Також фільтри можуть конвертувати частоту вибірки сигналу (децимація). Ще один клас проміжних блоків - детектори.

Є також допоміжні блоки - наприклад, що представляють глобальні змінні або віджети для настройки глобальних змінних.

Для прикладу розберемо, як зробити працюючий FM-приймач із стандартних компонент GNUradio. Блок-схема найпростішого приймача показана на рис. 2.15.

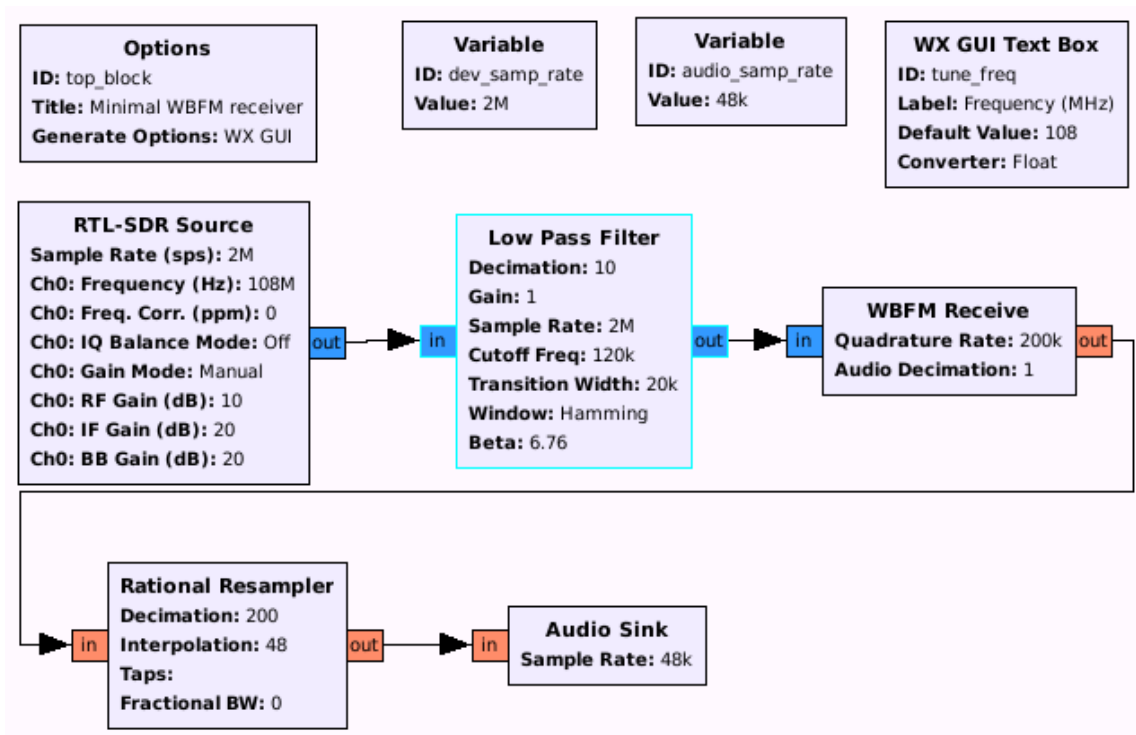


Рисунок 2.15 - Блок-схема FM-приймача

Він складається з джерела (RTL-SDR), фільтра нижніх частот (селектор сигналу однієї станції), FM-детектора, ще ресемплера і споживача - аудіокартки. Частота настройки і частота вибірки задаються глобальними змінними. Для зручності роботи додано віджети налаштування і віджет відображення спектра сигналу. Щоб перетворити цю схему в приймач АМ-

сигналу, досить замінити детектор. Можна здійснити одночасний прийом двох FM станцій, якщо вони будуть потрапляти в смугу частот 1 МГц. Для цього можна використовувати блок зсуву частоти frequency XLATE.

Висновки до розділу:

У другому розділі дипломної роботи була розглянута SDR технологія в загальному вигляді, тобто були розглянуті основні відомості про технологію, принцип роботи а так само види SDR - радіо. У нашому випадку були розглянуті SDR приймачі на базі чіпсета RTL2832U і BladeRFx40, були проаналізовані їх характеристики та архітектура побудови. Принцип роботи таких приймачів полягає в тому, що демодуляція сигналу, тобто все те, що звичайний радіоприймач робить за допомогою апаратної конфігурації, в СДР робиться на комп'ютері за допомогою математичних алгоритмів, без зміни апаратної частини.

Проаналізувати отриманий сигнал допомагає ПК з певним програмним забезпеченням, а саме SDRSharp, SDR Console і GNURadio, до якого буде підключений SDR приймач.

За допомогою використання SDR приймача, ПК і програмного забезпечення яке працює з SDR приймачами, ми змогли створити свою систему радіомоніторингу, в якій замінили скануючий приймач (наприклад такий як аналізатор спектру). Така система буде більш мобільна, гнучкіша в налаштуванні, і що не менш важливо, більш вигідна в матеріальному плані.

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИСТРОЮ МОНІТОРИНГУ СПЕКТРУ ДЖЕРЕЛ РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ РІЗНИХ ДІАПАЗОНІВ

3.1 Система моніторингу на базі використання SDR приймачів

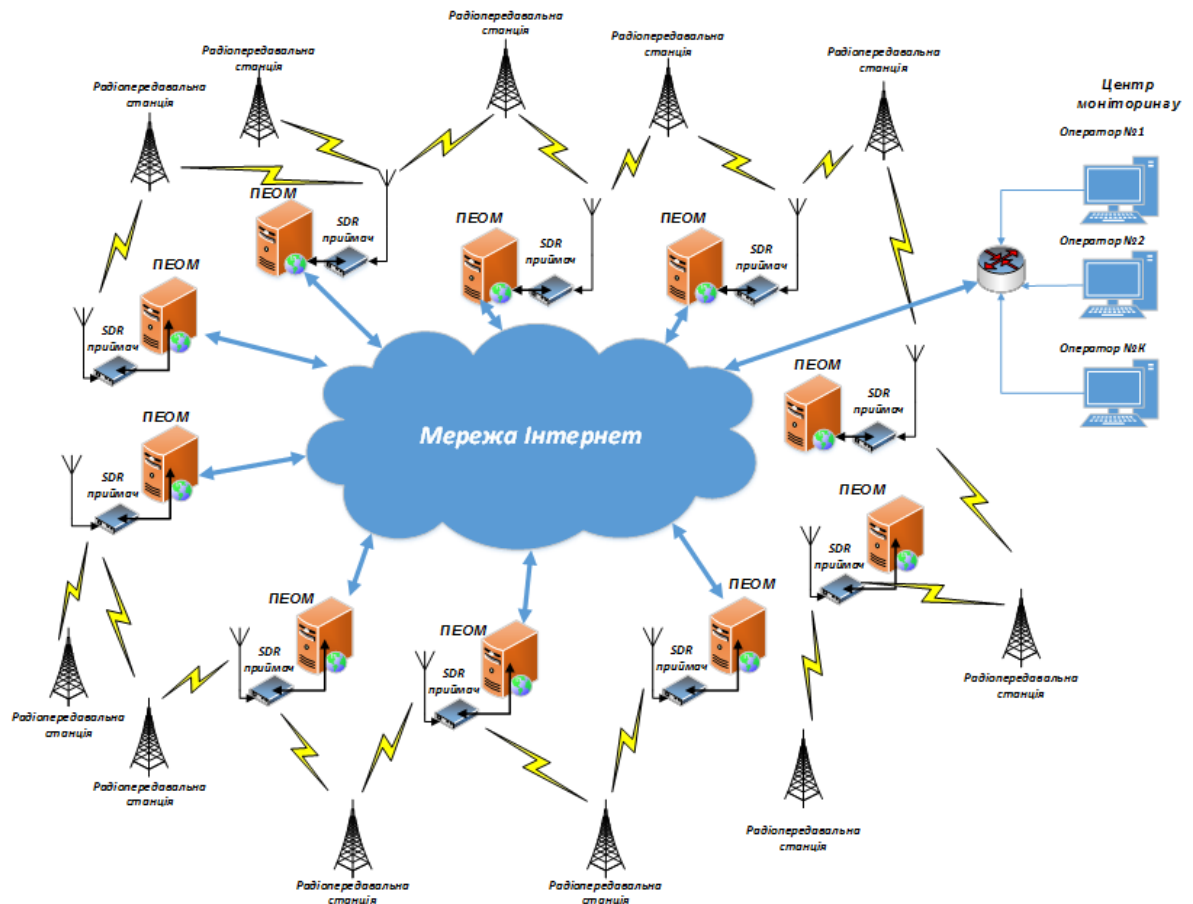


Рис. 3.1. Система моніторингу на базі використання SDR приймачів

Система моніторингу на базі використання SDR приймачів (див. рис. 3.1), включає мережу SDR приймачів, яка розподілена по певній території, наприклад території району, області, або навіть всієї країни. Така мережа складається з антени і безпосередньо з самого SDR модуля який підключається до сервера або персонального комп'ютера, який в свою чергу має доступ до мережі інтернет.

Кожен SDR приймач буде мати свої індивідуальні характеристики, тобто буде налаштований на свій певний діапазон робочих частот в межах яких буде здійснюватися моніторинг радіоспектра. За допомогою відповідного програмного забезпечення встановленого на персональний комп'ютер можна налаштувати цей SDR приймач таким чином, щоб він транслював свої дані в мережу інтернет, з відповідною швидкістю, роздільною здатністю і тд.

Кожен з SDR приймачів приймає сигнали різних станцій в своєму діапазоні частот, який задається індивідуально для кожного SDR приймача. Через мережу інтернет отримані дані від кожного з SDR приймача надходять в центр моніторингу, в складі якого є кілька робочих станцій, кілька операторів, які віддалено і по черзі підключаються до певних SDR приймачів і зчитують з них інформацію яка на комп'ютерах операторів відображається у вигляді спектрів сигналів відповідних діапазонів. Далі оператор має можливість скористатися програмним демодулятором, і демодулювати отримане повідомлення в цифровому або аналоговому форматі і витягти необхідну інформацію, при цьому є можливість моніторингу зайнятості ділянки спектра різних діапазонів.

3.1.1 Пошук online SDR

Певним аналогом системи моніторингу яка показана на рис.3.1, є мережа на базі SDR приймачів яка організована радіоаматорами. Щоб підключитися до цієї мережі, і зчитати інформацію з відповідних SDR пристроїв активних в цій мережі, ми скористаємося програмою SDRSharp.

Це програмне забезпечення можна знайти на сайті Airspry.com. На цьому сайті нам потрібно знайти Windows sdr software package, в цьому пакеті і буде перебувати SDR sharp версії 1.0.0.1732. Ця програма дозволяє працювати як SDR пристроями, які підключені безпосередньо до персонального комп'ютера, так і SDR пристроями які підключені до віддалених комп'ютерів.

Таким чином, через мережу інтернет ми маємо можливість зчитувати, і обробляти інформацію з цих SDR приймачів.

Для знаходження SDR приймача, який підключений до віддаленого ПК, нам потрібно зайти на сайт Airspry.com і відвідати розділ «Online SDR». У цьому розділі ми можемо бачити умовну карту світу, як показано на рис.3.2, де маркерами певних кольорів будуть позначатися онлайн SDR приймачі, які будуть встановлені в тих чи інших країнах. Маркери створені різними кольорами, спеціально для того, щоб швидко можна було дізнатися стан того чи іншого SDR приймача без детального розгляду його характеристик [26].

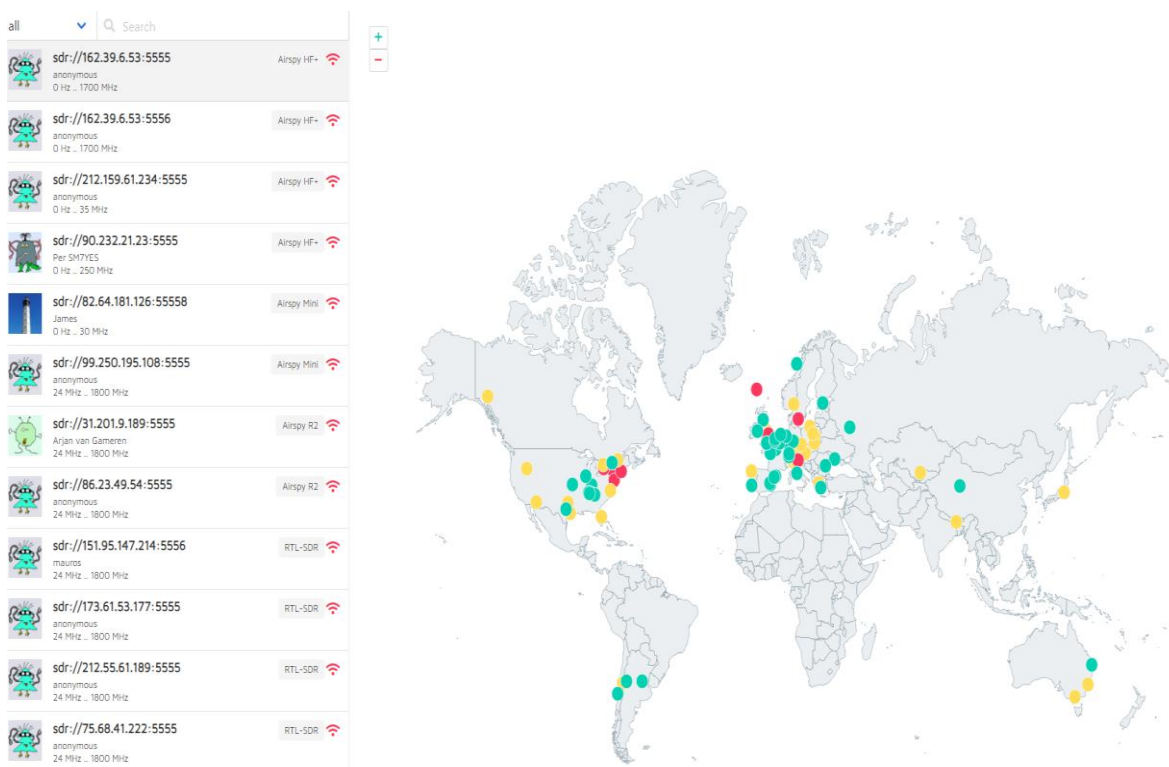


Рис.3.2. Інтерфейс пошуку online SDR

- Busy (червоний) - SDR приймач зайнятий, тобто хтось із користувачів вже підключений до нього.
- Unreachable (жовтий) - SDR приймач недоступний (відключений від мережі).
- Ready (зелений) - SDR приймач готовий до використання.

Візьмемо до прикладу певну станцію, яка буде доступна. Якщо ми натиснемо на один з маркерів, то з спливаючого зліва вікна ми можемо побачити:

- адресу інтернет мережі із зазначенням відповідного порту;
- власника і назву цього пристрою;
- назву використовуваної антени;
- версію сервера;
- операційну систему;
- максимальну кількість клієнтів, які можуть бути підключені;
- клієнтів які вже підключені;
- максимальну тривалість сесії, в перебігу якої ми можемо віддалено працювати з SDR приймачем;
- марку віддаленого пристрою;
- роздільну здатність;
- мінімальну частоту настройки;
- максимальну частоту настройки;
- максимальну смугу частот яка відображається;
- частоту оновлення відеоінформації;
- максимальну смугу частот яка передається по каналу зв'язку;
- максимальну швидкість передачі звітів синфазного і квадратурного каналів приймача.

3.2. Вивчення інтерфейсу програми SDRsharp

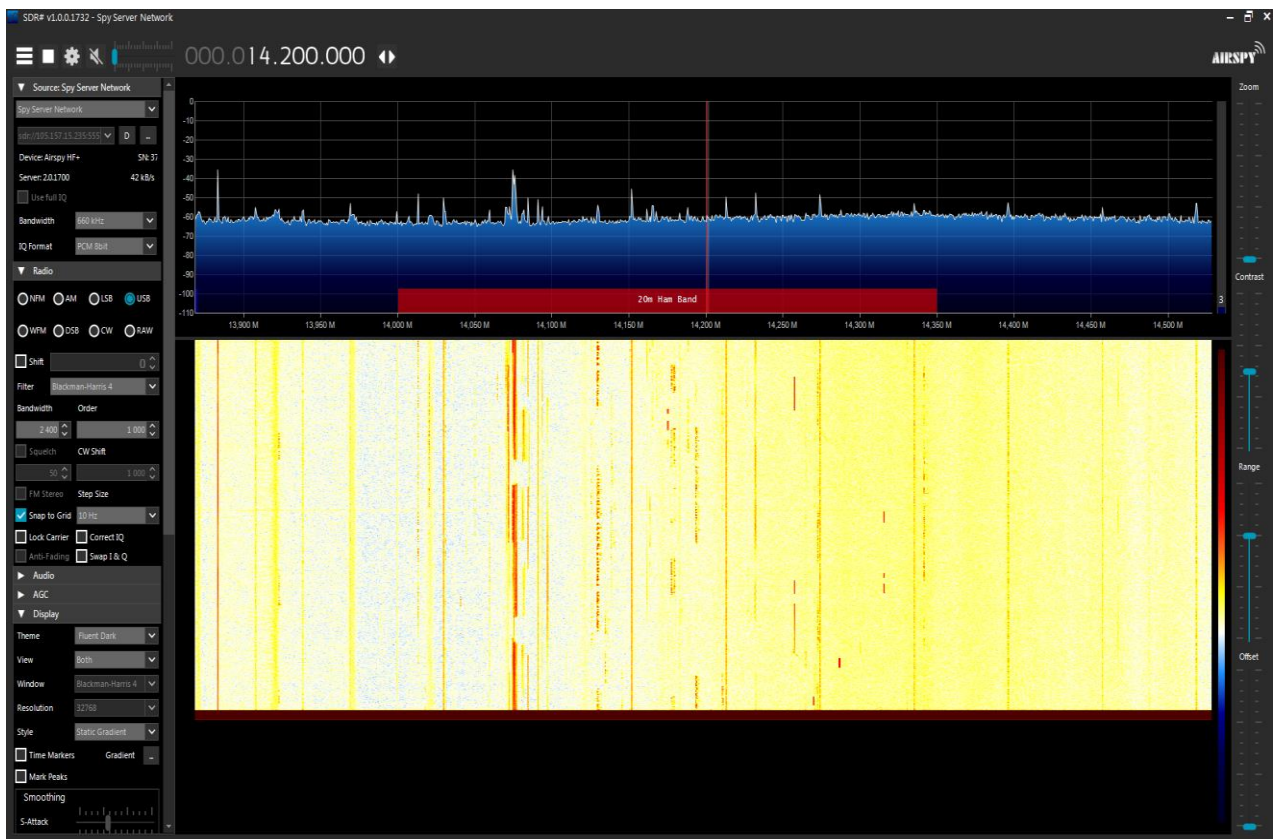


Рис.3.3 Інтерфейс SDRSharp

SDRSharp - одна з найпопулярніших програм для роботи з SDR приймачами. Інтерфейс цієї програми примітивний (див. рис.3.3). У лівій частині екрана ми маємо налаштування, які включають в себе:

- назву та серійний номер пристрою;
- сервер;
- смугу частот, в якій транслюється спектр (смугу частот можна змінити);
- IQ format - формат подання, від цього параметра залежить швидкість передачі даних.

У вкладці «Radio» ми можемо змінювати види модуляції при детектуванні сигналу:

- NFM – вузькополосна частотна модуляція;
- AM - амплітудна модуляція;

- LSB - односмугова модуляція (нижня бічна);
- USB - вузькосмугова модуляція (верхня бічна смуга);
- WFM - широкосмугова частотна модуляція;
- DSB - двосмугова модуляція;
- CW - безперервний сигнал;
- RAW - чистий сигнал без обробки.

Також програма надає великий номінал обробки інформації. Є можливість обробки аудіо сигналу, можна виставити відповідні фільтри, які пропонує програма. Є можливість змінювати інтерфейс, його забарвлення а також «тему». Можливо включити зменшення шуму на різних ділянках, наприклад на виході демодулятора, на каналі проміжної частоти, на основній смузі частот і т.д. На додаток ми маємо можливості:

- можливість попереднього налаштування окремих смуг частот;
- можливість дигностики сигналу і зміни його рівня;
- можливість демодуляції відеосигналу аналогового телебачення;
- можливість частотного сканування;
- відображення параметрів мультиплексованого сигналу, телефонічного. сигналу з полярною модуляцією, комплексного телефонічного сигналу з пілот – тоном;

Посередині екрана ми можемо бачити:

- вікно аналізатора спектра;
- різницю між нижньою і верхньою частотою;
- служби для яких виділені певні діапазони частот, наприклад Shortwave Broadcas, 20m Ham Band (як показано на рис) і т.п.;
- смугу частот.

3.3. Дослідження прийому спектрів сигналів радіомовлення різних діапазонів

Для того щоб «зловити» хоч якийсь сигнал, нам потрібно вибрати будь-який з доступних онлайн SDR приймачів. Вибираємо доступний приймач. У центрі екрана ми бачимо смугу частот, так само нам потрібно вибрати певний спектр сигналу, спектр можна вибрати за допомогою параметра «Zoom», в правій частині екрана. Далі ми вибираємо вид модуляції, після чого можна пробувати прийняти якийсь сигнал. Для кращої чутності можна поставити фільтри на звук.

Діапазон коротких хвиль

Короткі хвилі (також декаметрові хвилі) - діапазон радіохвиль з частотою від 3 МГц (довжина хвилі 100 м) до 30 МГц (довжина хвилі 10 м).

Короткі хвилі відбиваються від іоносфери з малими втратами. Тому, шляхом багаторазових відображень від іоносфери і поверхні Землі, вони можуть поширюватися на великі відстані. Короткі хвилі використовуються для радіомовлення, а також для аматорської та професійної радіозв'язку. Якість прийому при цьому залежить від різних процесів в іоносфері, пов'язаних з рівнем сонячної активності, пори року і часу доби. Так днем краще поширюються хвилі меншої довжини, а вночі - більшою. Для зв'язку між наземними станціями і космічними апаратами вони непридатні, тому що не проходять крізь іоносферу.

На коротких хвилях спостерігаються завмирання - зміна рівня сигналу, вони проявляються як короткочасне зниження амплітуди несучої частоти або зовсім пропажа останньої. Завмирання виникають через те, що радіохвилі від передавача поширюються до приймача різними шляхами, і надходять з різною фазою і, інтерферуя на антені приймача, можуть послаблювати один одного [22]. На рис. 3.4. ми можемо бачити прийом сигналу на діапазоні коротких хвиль

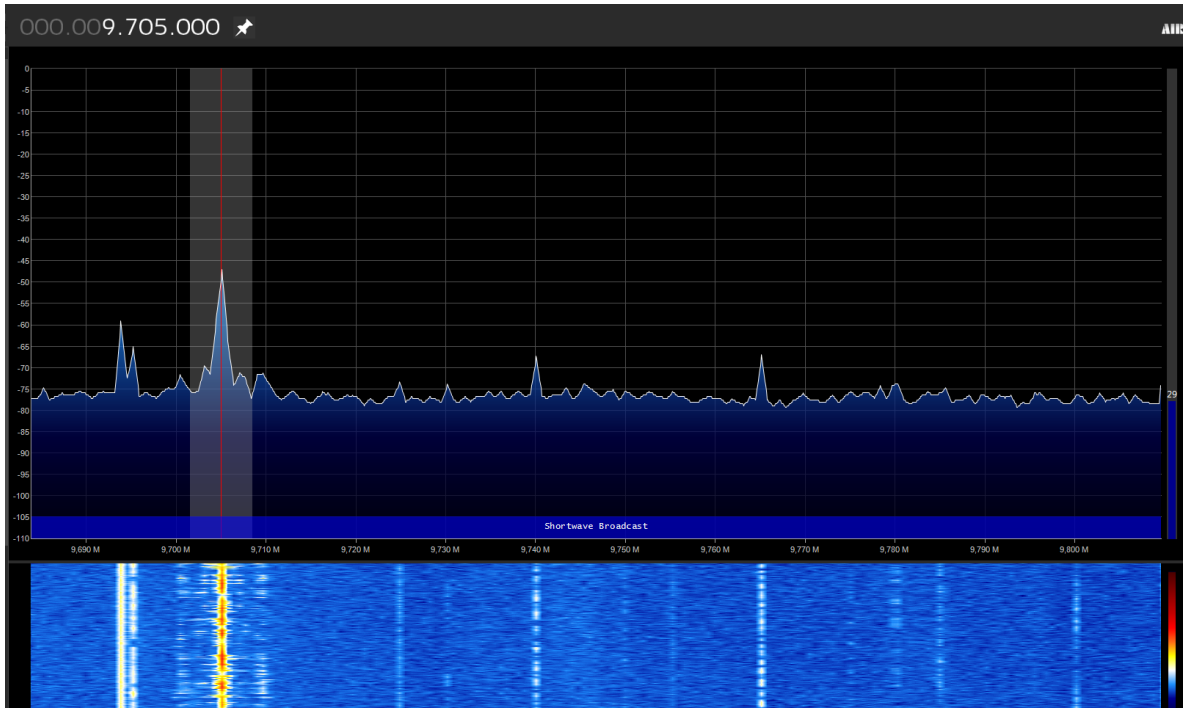


Рис.3.4. Прийом сигналу на діапазоні коротких хвиль

Також на рис.3.5 нижче, можна побачити певний діапазон частот для радіоаматорів (40m Ham Band)

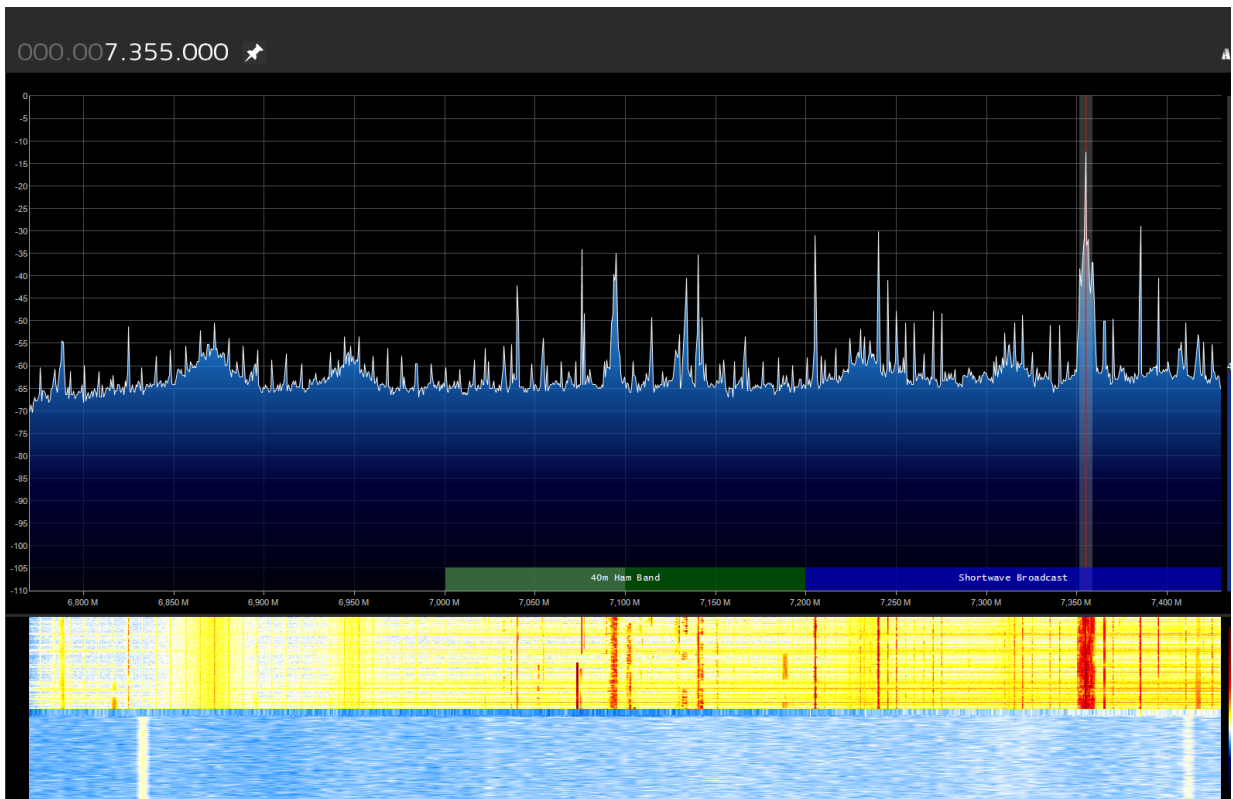


Рис.3.5. Діапазон частот для радіоаматорів

Діапазон довгих хвиль

Довгі хвилі (також кілометрові хвилі, англ. Longwave (LW), Low frequency («Низькі частоти», LF), фр. Ondes longues, Basse fréquence («Низькі частоти»), grandes ondes («великі хвилі», GO)) - діапазон радіохвиль з частотою від 30 кГц (довжина хвилі 10 км) до 300 кГц (довжина хвилі 1 км).

Довгі хвилі поширюються на відстані до 1-2 тисяч км за рахунок дифракції на сферичній поверхні Землі. Потім їх поширення відбувається за рахунок направляючого дії сферичного хвилеводу, не відбиваючись.

Діапазон використовується для радіомовлення на частотах 148,5-283,5 кГц (раніше 148,5-408 кГц), для радіотелеграфного зв'язку, радіонавігаційних служб і для зв'язку з підводними човнами (9-148,5 кГц).

Ділянка 135,7-137,8 кГц використовується для аматорського радіозв'язку. У цьому діапазоні використовується сферхвувзькосмуговий (смуга до одиниць Гц) телеграфний зв'язок з повільною амплітудної маніпуляцією (довжина точок і тире може становити, залежно від ширини смуги, десятки секунд і навіть хвилини). У місці прийому це еквівалентно багаторазовому збільшенню потужності передавача і дозволяє за допомогою малопотужного передавача встановити сеанс зв'язку з усією земною кулею. Швидкість передачі інформації при цьому дуже мала (в кращому випадку одиниці біт в хвилину), тому в ефір передаються тільки позивні, а прийом ведеться із записом для подальшої розшифровки (слуховий прийом неможливий).

Крім того, довгі хвилі можуть використовуватися в далекій радіонавігації.

Довгі хвилі здатні обігнути земну кулю [23].

На рис. 3.6 ми можемо бачити прийом сигналу на діапазоні довгих хвиль.

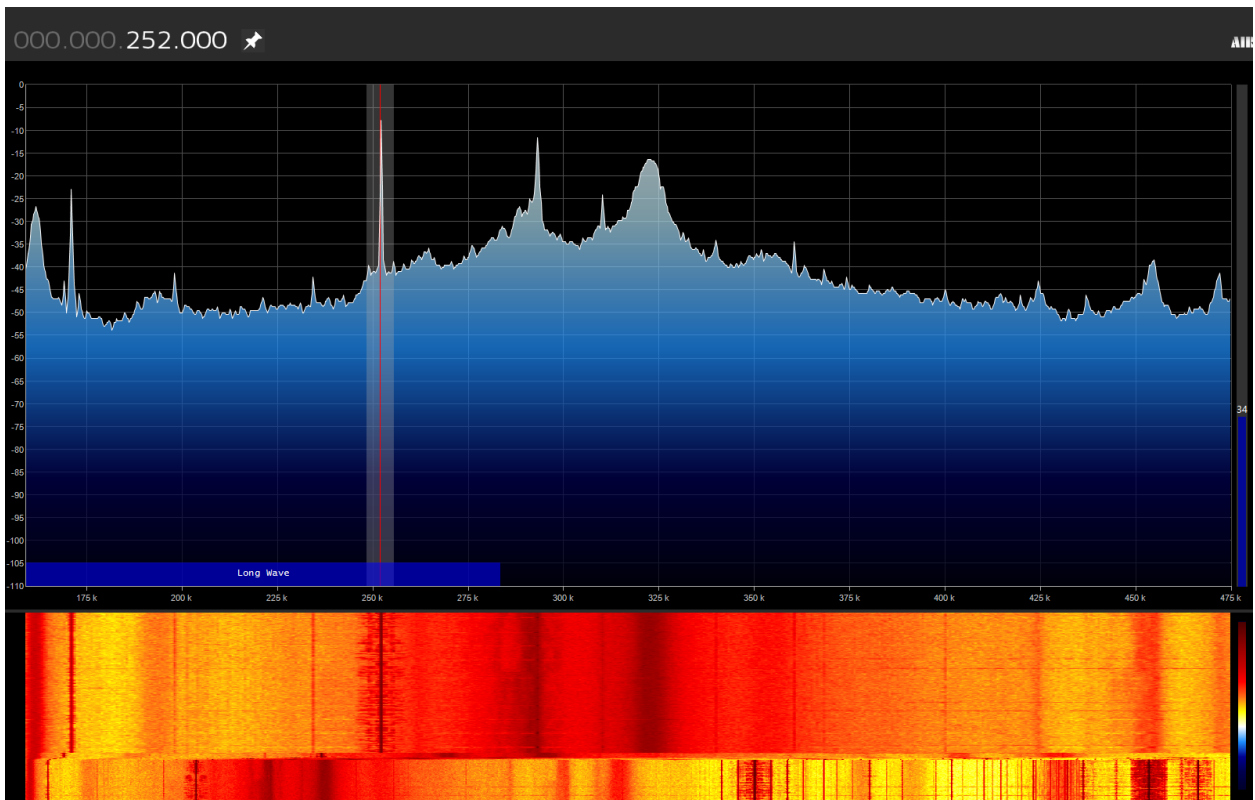


Рис.3.6 Прийом сигналу на діапазоні довгих хвиль

Діапазон середніх хвиль

Середні хвилі (також гектометрові хвилі) - діапазон радіохвиль з частотою від 300 кГц (довжина хвилі 1000 м) до 3 МГц (довжина хвилі 100 м).

Середні хвилі (поряд з короткими) - найбільш використовуваний діапазон для радіомовлення (526,5-1606,5 кГц) з амплітудною модуляцією. Сітка частот мовних станцій в Європі становить 9 кГц, в Північній і Південній Америці - переважно 10 кГц, більшість радіостанцій і раніше використовують модуляцію з двома бічними смугами і неподавленою несучою (тип АЗЕ). Діапазон 160 м (1,8 ... 2,0 МГц) виділено для аматорського радіозв'язку.

Середні хвилі здатні поширюватися на досить великі відстані - сотні і тисячі кілометрів - завдяки огибання земної поверхні, а також (переважно в нічний час) відбиваючись від іоносфери.

Частоти 455, 465 і 500 кГц є спеціальними - вони використовуються в якості проміжних в більшості супергетеродинних приймачів довгих, середніх і коротких хвиль. Частота 500 кГц, крім того - стандартна частота для подачі сигналів лиха [25].

На рис. 3.7. ми можемо бачити прийом сигналу на діапазоні середніх хвиль

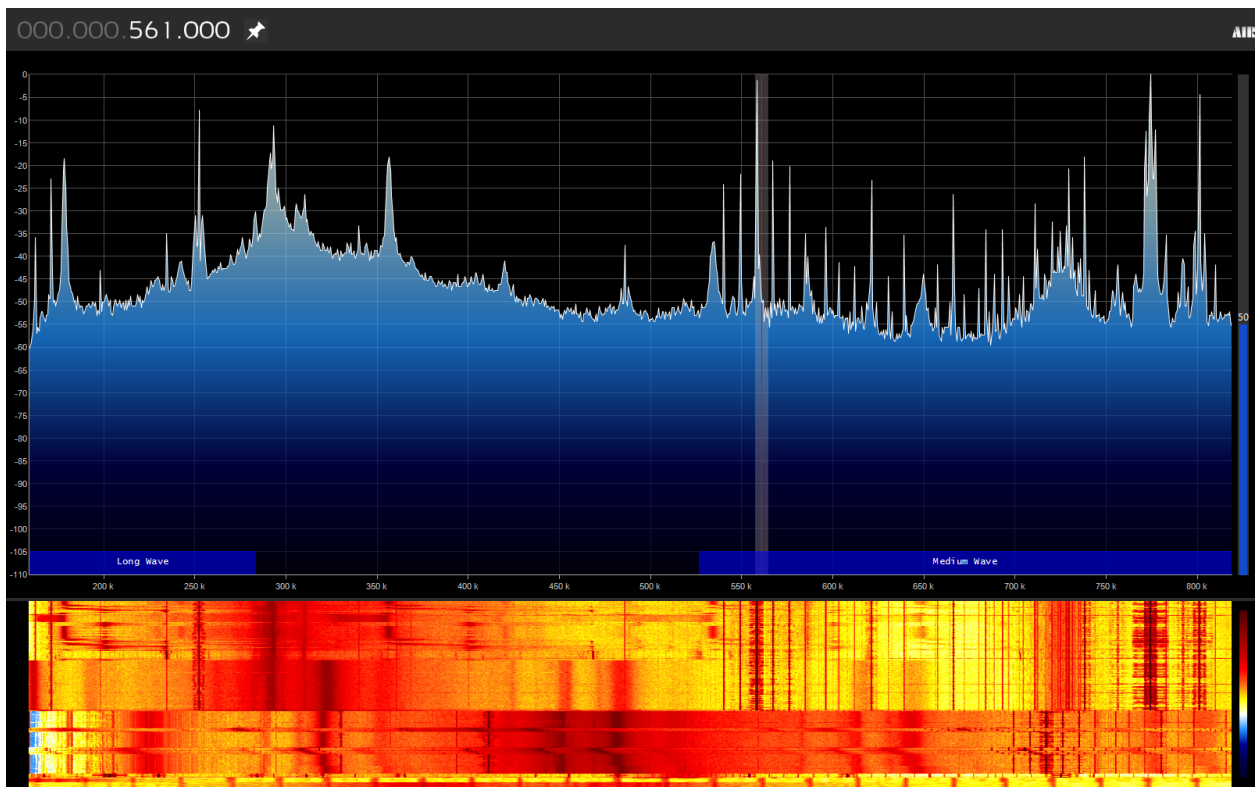


Рис.3.7 Прийом сигналу на діапазоні середніх хвиль

Діапазон метрових хвиль

Метрові хвилі (МВ) - діапазон радіохвиль з довжиною хвилі від 10 до 1 м, що відповідає частоті від 30 до 300 МГц (дуже високі частоти, ДВЧ; англ. Very high frequency, VHF)

Метрові хвилі поширюються в межах прямої видимості [en] на відстані до декількох десятків кілометрів. Характеристики поширення метрових хвиль істотно залежать від рельєфу місцевості і типу підстильної поверхні. Вплив атмосфери Землі виражається в розсіянні метрових хвиль слабкими неоднорідностями іоносфери і тропосфери, відображенні метрових хвиль від іонізованих слідів метеорів і штучно іонізованих областей в атмосфері, що

призводить до дальнього (на відстані до 2 тис. Км) поширенню метрових хвиль [22].

На рис. 3.8. ми можемо бачити прийом сигналу на діапазоні метрових хвиль.

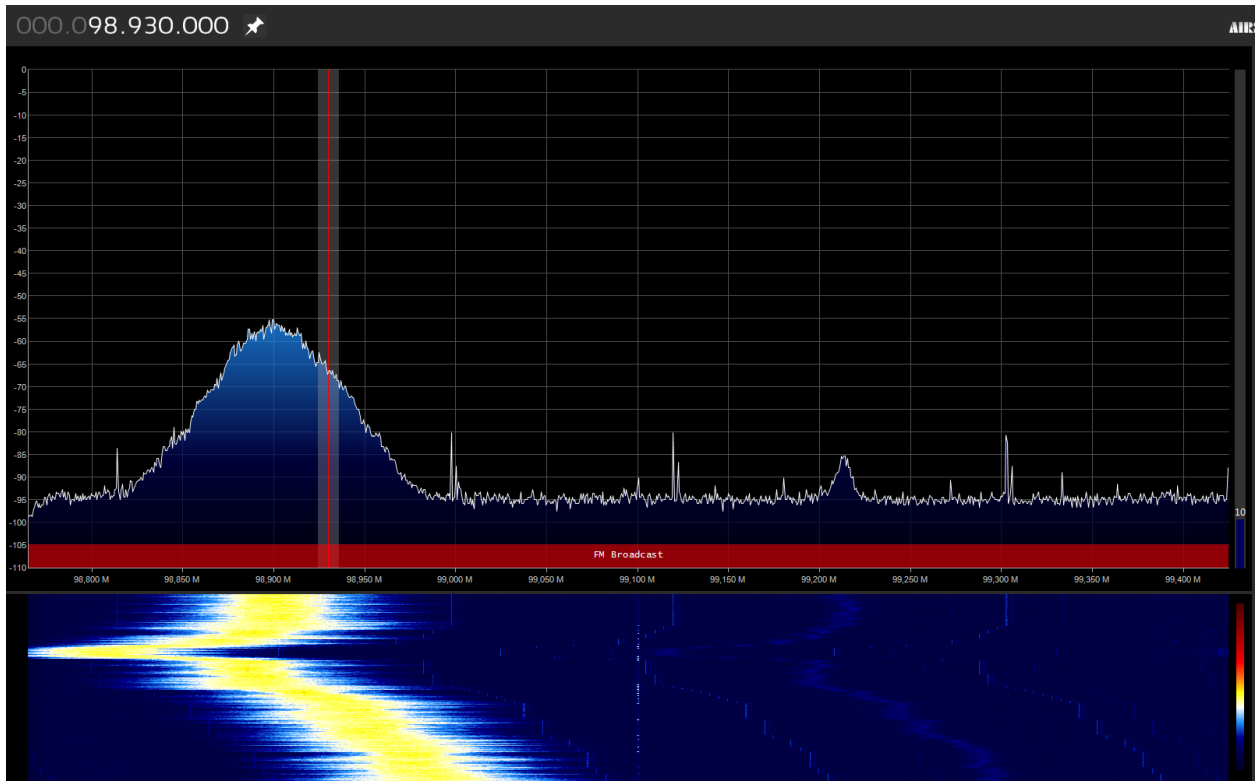


Рис.3.8 Прийом сигналу на діапазоні метрових хвиль

3.4.Результати частотного моніторингу з використанням SDR приймача RTLSDR Astrometa DVB-T2 та програмного забезпечення RTLSDR Scanner

Недоліком частотного моніторингу з використанням програми SDRSharp є те, що при використанні RTLSDR приймача максимальна смуга огляду в частотній області не може перевищувати 2,3 МГц, що робить необхідним операторові дистанційно переналаштовувати центральну частоту цієї смуги огляду в межах, що визначаються параметрами конкретного SDR пристрою, що задіяний для здійснення моніторингу. Дещо збільшити смугу огляду до 20 МГц та більше можна при використанні більш складних SDR приймачів типу HackRF, BladeRF або USRP, проте при дистанційному

моніторингу частотного ресурсу за допомогою таких пристроїв необхідно мати високошвидкісний доступ до мережі Інтернет, оскільки при передаванні в реальному часі IQ відліків для смуги огляду 20 МГц з використанням форматів PCM8 або PCM16 мінімальна швидкість передавання/приймання через мережу Інтернет повинна бути не менше 160 Мбіт/с (320 Мбіт/с для PCM16), що досить проблематично.

Розширити смугу огляду можна за допомогою використання наявної у вільному доступі програми RTLSDR Scanner для операційної системи Windows, що дозволяє перетворити RTLSDR приймач у панорамний аналізатор спектру. На рис.3.9. зображено інтерфейс цієї програми.

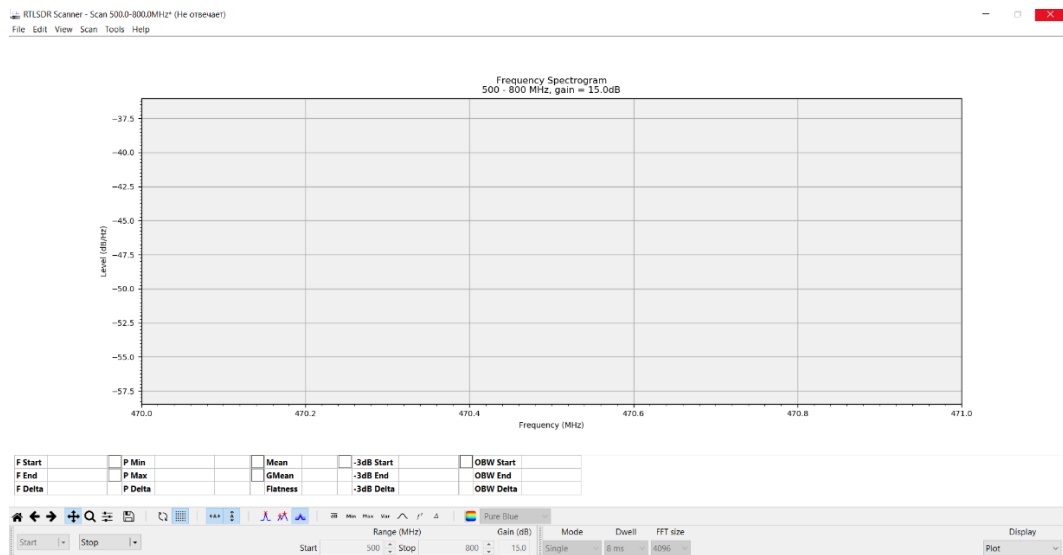


Рис.3.9. Інтерфейс програми RTLSDR Scanner

Програма RTLSDR Scanner дозволяє будувати спектри прийнятих сигналів в діапазоні робочих частот RTLSDR приймача з розрізнявальною здатністю, що визначається параметрами dwell, FFT. Програма має лінійку інструментів, за допомогою якої можна згладжувати отриманий спектр, диференціювати спектр, автоматично знаходити мінімальні та максимальні значення спектрів, виконувати автоматичне масштабування спектру тощо. Ничже на рис.3.2 зображена спрощена структурна схема приймальної системи, що використовувалася для частотного моніторингу ефіру в приватному секторі Голосіївського району м. Києва, а на рис.3.11. –

фотографія антени метрового (МХ) та дециметрового (ДМХ) діапазонів типу «хвильовий» канал та RTLSDR приймач Astrometa DVB-T2, що використовувалися для моніторингу.

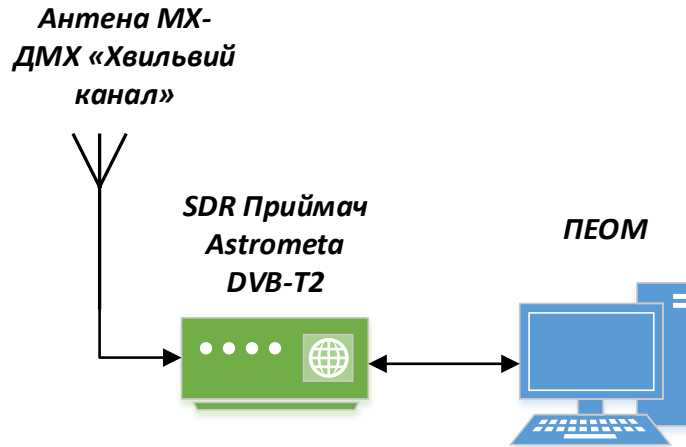


Рис.3.10. Спрощена структурна схема локальної системи моніторингу використання частотного ресурсу на базі RTLSDR приймача Astrometa



Рис.3.11. а) Антенa МХ-ДМХ «Хвильовий канал» ; б) RTLSDR приймач Astrometa DVB-T2

На рис.3.12 та рис.3.13 відповідно показано спектр сигналів радіомовних станцій УКХ діапазону 100-108 МГц та 103-104 МГц відповідно.

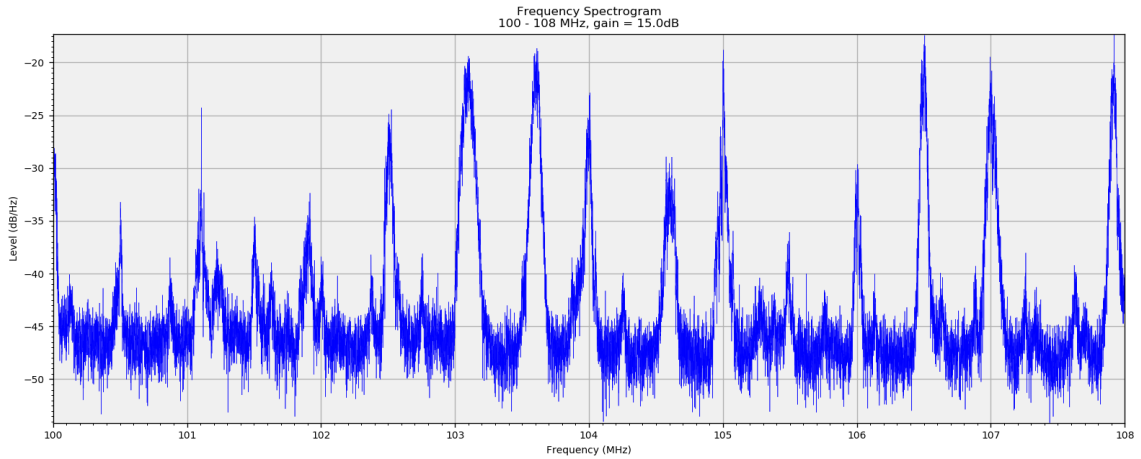


Рис.3.12. Спектр сигналів радіомовних станцій УКХ діапазону 100-108 МГц

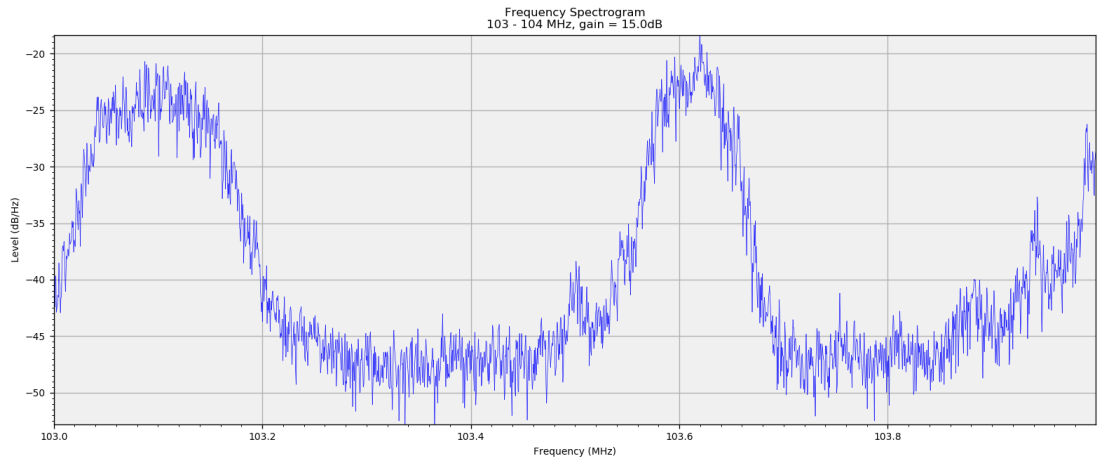


Рис.3.13. Спектр сигналів радіомовних станцій УКХ діапазону 103-104 МГц

На рис.3.14 зображено ділянку спектру 210-230 МГц, у середині якої знаходиться спектр радіосигналу цифрового радіомовлення стандарту DAB+.

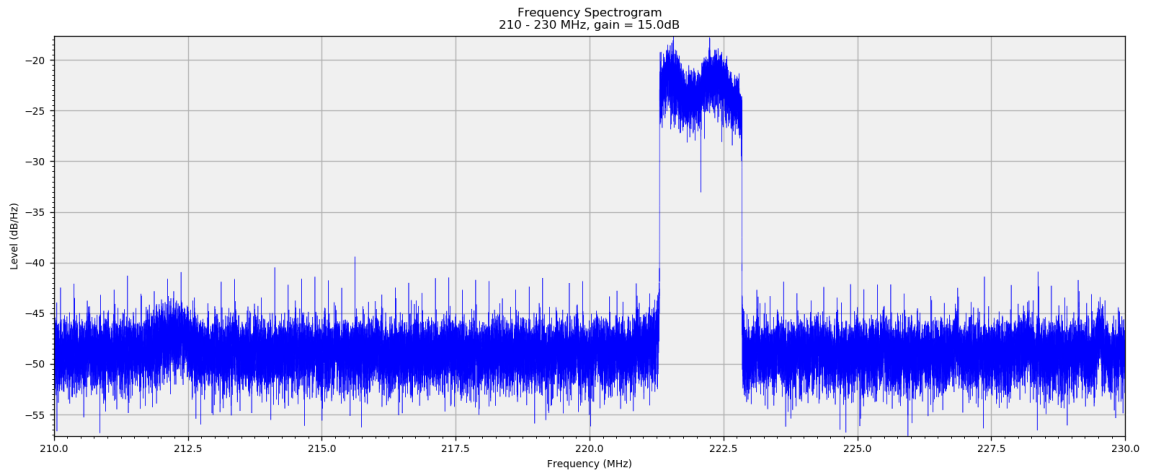


Рис.3.14 Спектр сигналу цифрового радіо в діапазоні 210-230 МГц

На рис.3.15 зображено ділянку спектру 500-550 МГц, у середині якої знаходяться спектри радіосигналів цифрового телемовлення стандарту DVB-

T2 (26 ТВК, $f = 514$ МГц; 29 ТВК, $f = 538$ МГц) та аналогового ТВ мовлення (27 ТВК, $f = 522$ МГц).

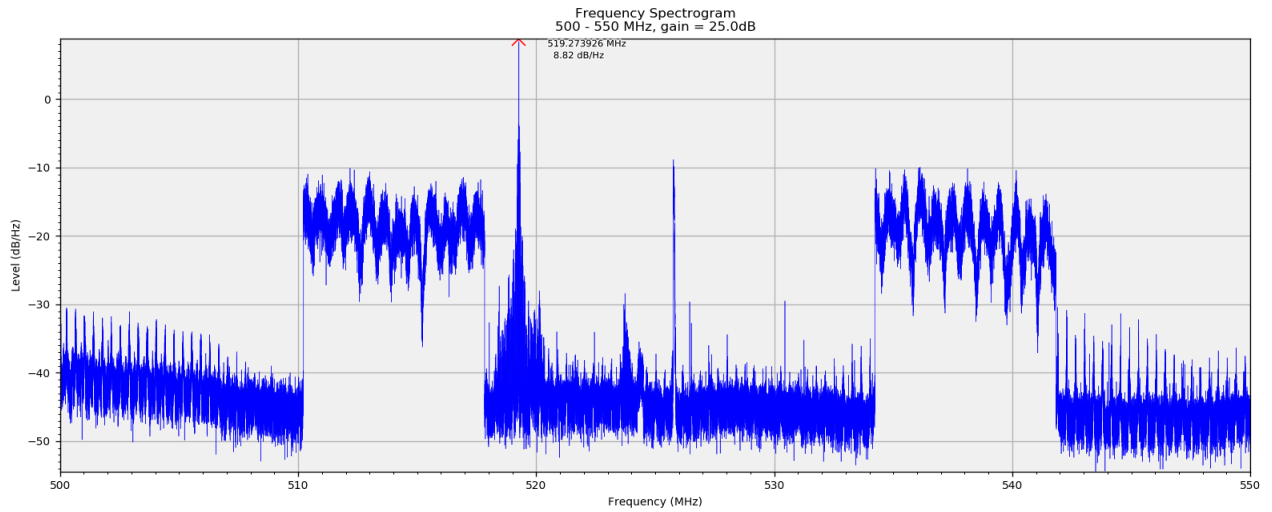


Рис.3.15 Ділянка спектру 500-550 МГц з сигналами аналогового та цифрового ефірного ТВ

На рис.3.16 зображено ділянку спектру 550-600 МГц, у середині якої знаходяться спектри радіосигналів цифрового телемовлення стандарту DVB-T2 (31 ТВК, $f = 554$ МГц) та аналогового ТВ мовлення (35 ТВК, $f = 586$ МГц).

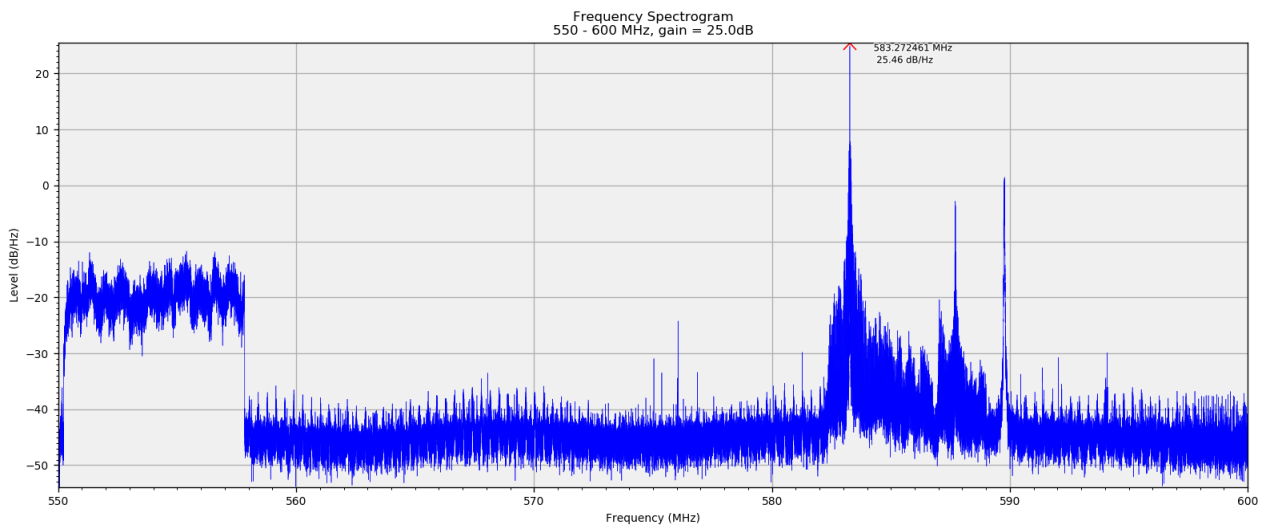


Рис.3.16 Ділянка спектру 550-600 МГц з сигналами аналогового та цифрового ефірного ТВ

Відповідно на рис.3.17 показано ділянку спектру 600-660 МГц із розташованими в ній спектрами сигналів цифрового ТВ стандарту DVB-T (41 ТВК, $f = 634$ МГц; 43 ТВК, $f = 650$ МГц), а на рис.3.18 – ділянку спектру 660-710 МГц зі спектром цифрового ТВ стандарту DVB-T2 (49 ТВК, $f = 698$ МГц).

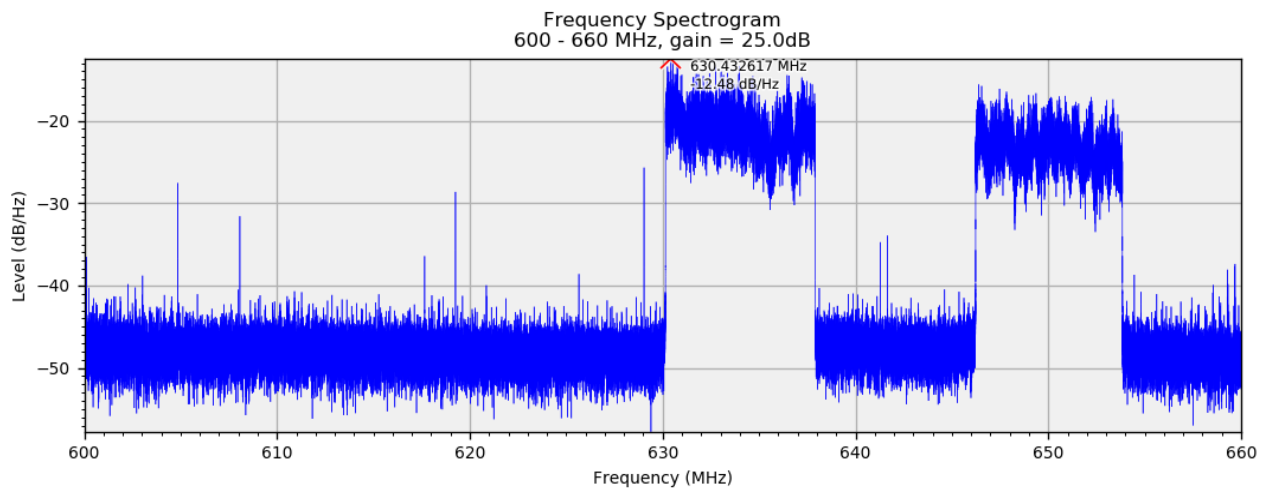


Рис.3.17 Ділянка спектру 600-660 МГц з сигналами цифрового ефірного ТВ

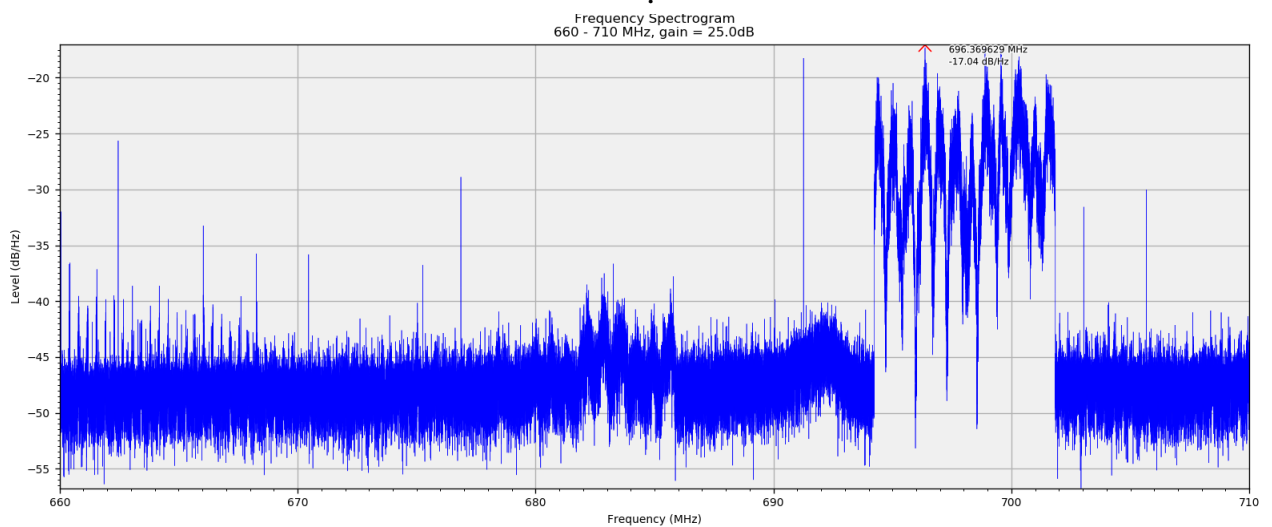


Рис.3.18 Ділянка спектру 660-710 МГц з сигналом цифрового ефірного ТВ

На рис.3.19 показано ділянку спектру 710-760 МГц з розташованим в ній спектром сигналу аналогового ТВ мовлення, а на рис. 3.20 – ділянку спектру 810 – 910 МГц з розташованим в ній спектром сигналу 4G LTE.

На рис.3.21 показано ділянку спектру 910-1000 МГц з розташованим в ній спектром сигналу GSM, а на рис.3.22 крупним планом зображено ділянку спектру 935-940 МГц технології GSM.

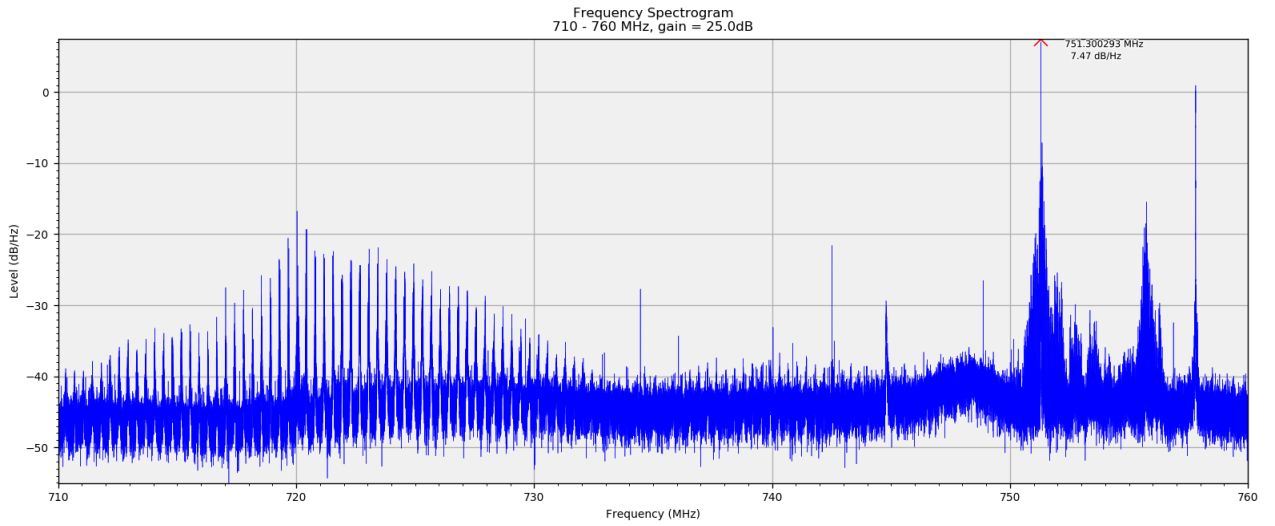


Рис.3.19 Ділянка спектру 710-760 МГц з сигналом цифрового ефірного ТВ

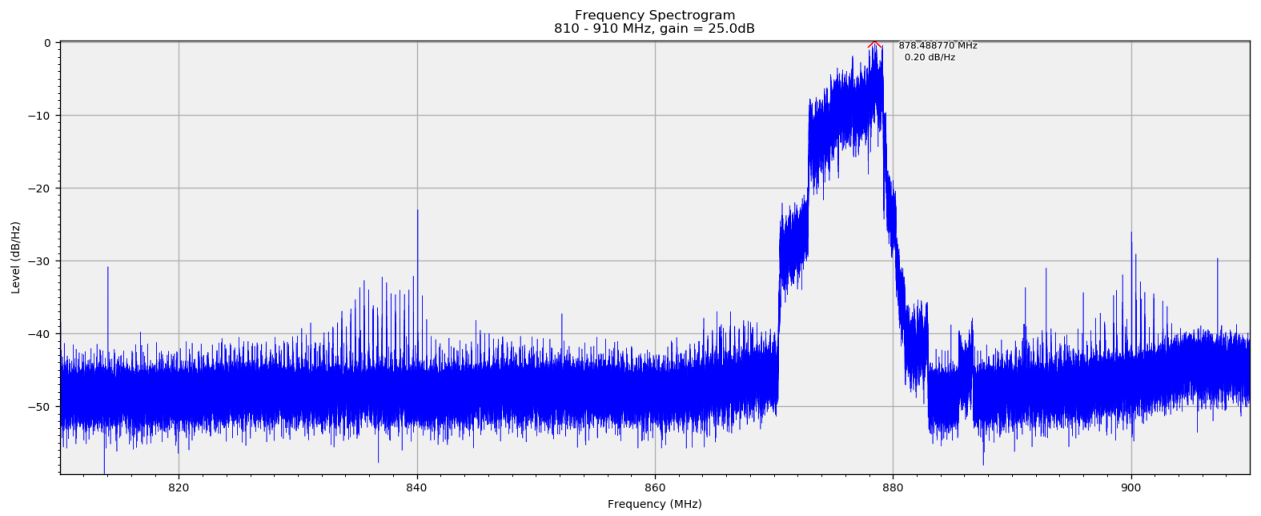


Рис.3.20 Ділянка спектру 810-910 МГц з сигналом 4G LTE

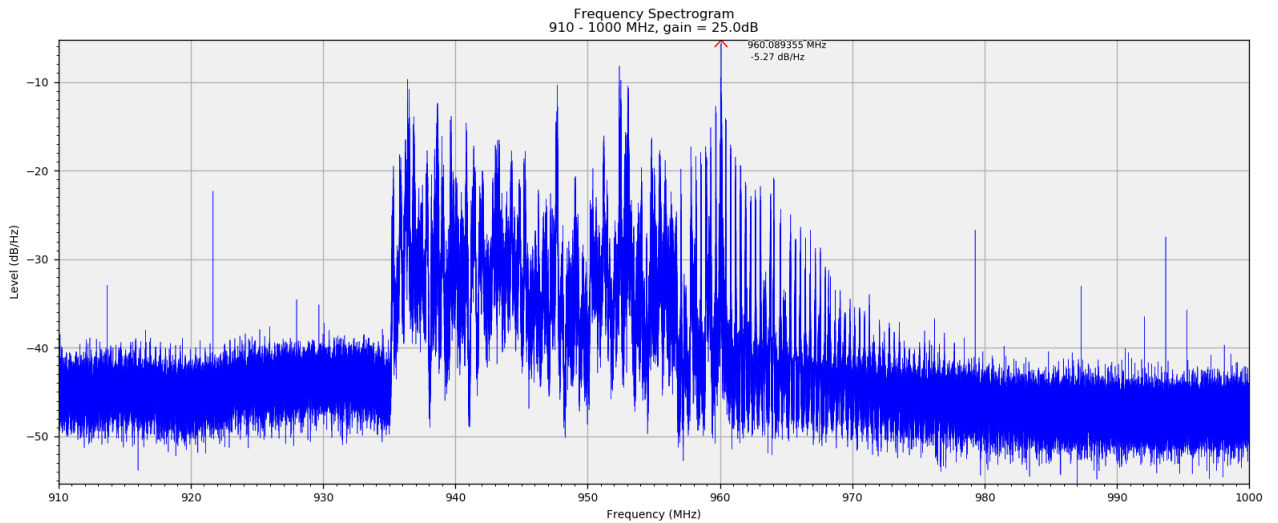


Рис.3.21 Ділянка спектру 910-1000 МГц з сигналом GSM

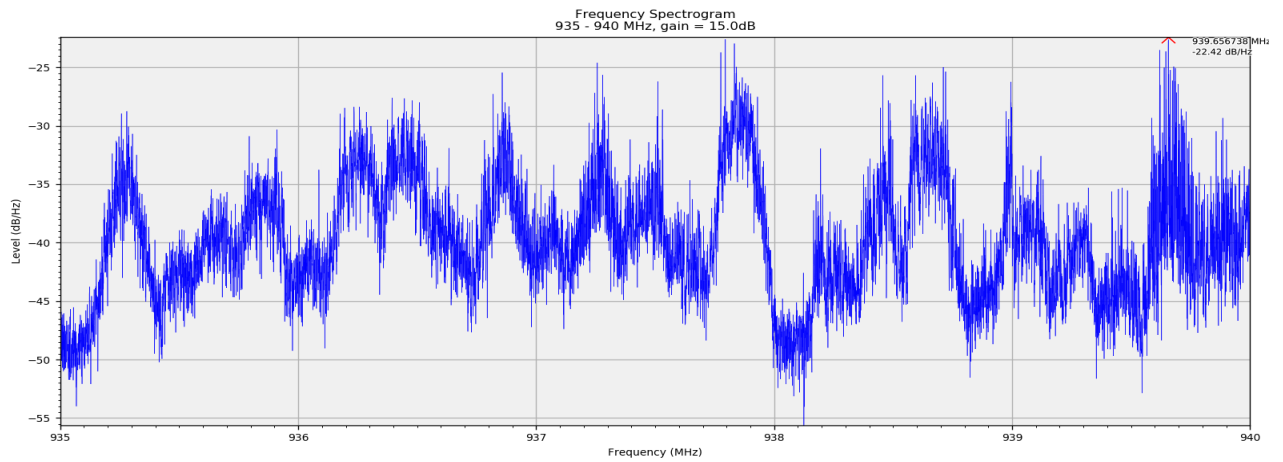


Рис.3.22 Ділянка спектру 935-940 МГц з сигналом GSM

На рис.3.22 відображено ділянку спектра 1500-1600 МГц з невідомими сигналами, а на рис.3.23 – ділянка спектру 1700 – 1800 МГц з сигналами технології 4G LTE-1800.

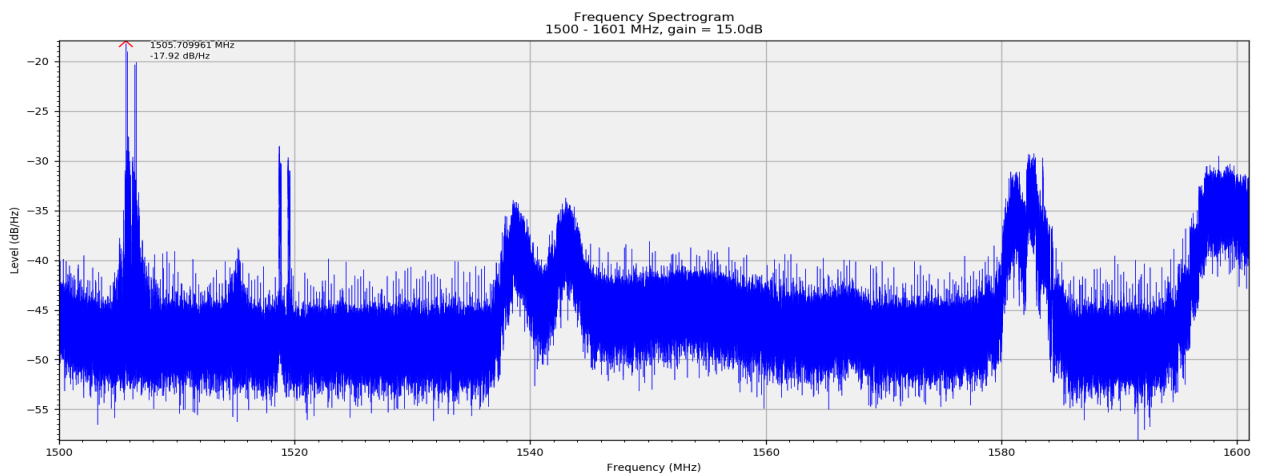


Рис.3.23 Ділянка спектру 1500-1600 МГц з невідомими сигналами

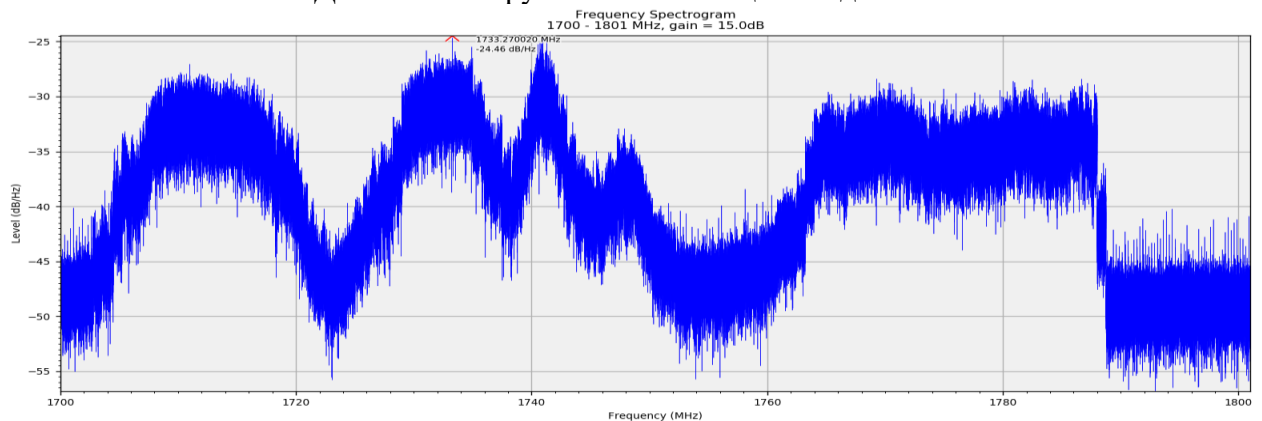


Рис.3.24 Ділянка спектру 1700-1800 МГц з сигналами мобільного зв'язку LTE-1800

Програма RTLSDR Scanner дозволяє будувати 3D моделі спектрів. На рис.3.25 зображено 3D спектр сигналу технології цифрового радіомовлення

DAB+ на частоті 222,064 МГц, в якому вздовж вісі ОУ – відкладено час спостереження за спектром.

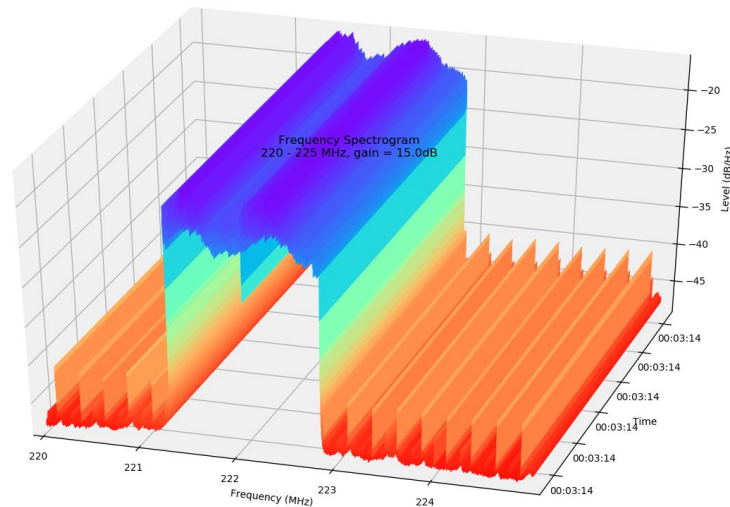


Рис.3.25 3D спектр сигналу цифрового радіомовлення стандарту DAB+

Усі спектри, що зображено на рис.3.12-3.25 побудовано з кроком по частоті $\Delta f = 1$ кГц. При цьому час розгортання спектру на екрані монітору складав від 10 сек для смуги огляду 5 МГц, 1,5 хвилини для смуги частот 50 МГц і біля 3 хвилин для смуги частот 100 МГц. Вказаний час розгортання спектру є досить великим у порівнянні з часом розгортання, що забезпечують професійні аналізатори спектру з великою вартістю, але для дешевого RTLSDR приймача вартістю 10 \$ це цілком допустимо.

Аналогом програми RTLSDR Scanner може бути програма Qspectrumanalyzer, що також написана на мові програмування Python і найбільш повністю розкриває свій функціонал при використанні операційної системи Ubuntu. На рис.3.26 показано спектр сигналів радіомовних станцій УКХ діапазону 100-108 МГц, а на рис.3.27 – ділянку спектру 500-550 МГц, що отримано при використанні програми Qspectrumanalyzer, при цьому роздільна здатність по частоті складає 1 кГц. Порівняння рис.3.12 з рис.3.26 та рис.3.16 з рис.3.27 показує схожість отриманих спектрограм, проте в програмі Qspectrumanalyzer спектри будуються у два рази швидше, ніж в програмі RTLSDR Scanner.

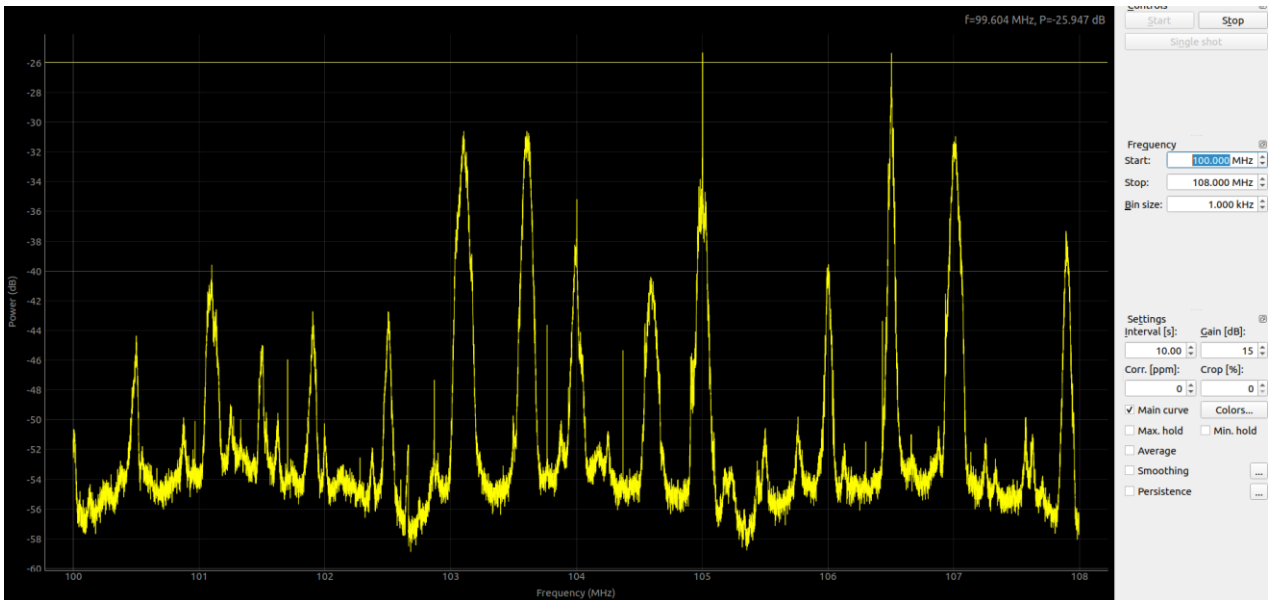


Рис.3.26 Спектр сигналів радіомовних станцій УКХ діапазону 100-108 МГц у програмі QspectrumAnalyzer

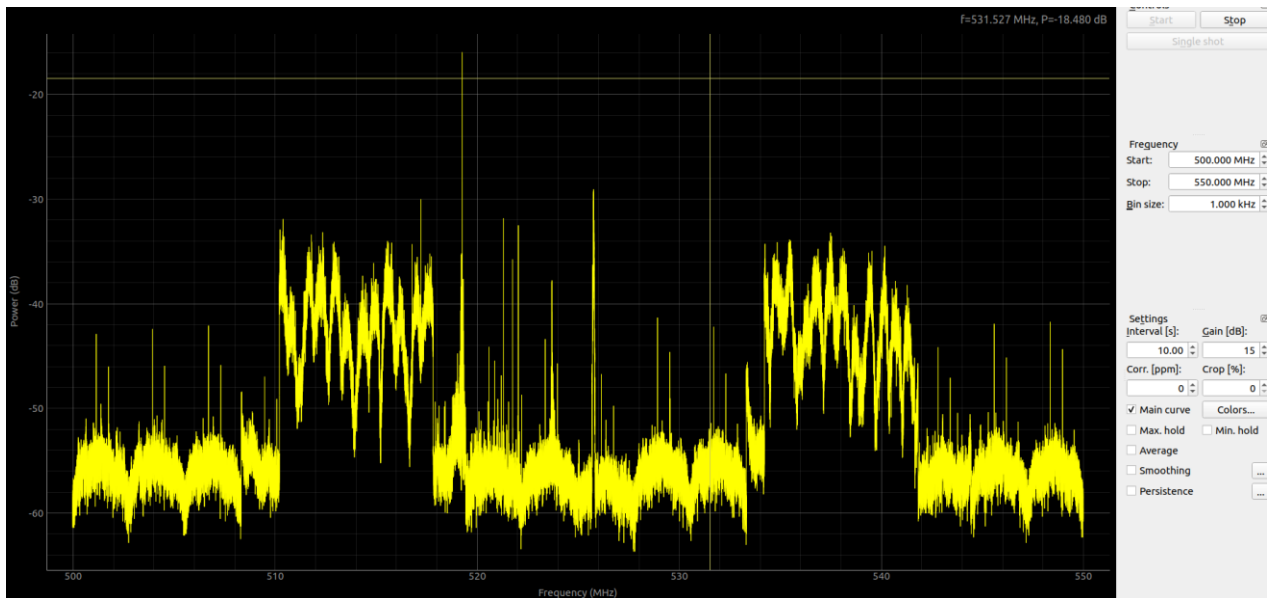


Рис.3.27 Ділянка спектру 500-550 МГц з сигналами аналогового та цифрового ефірного ТВ у програмі QspectrumAnalyzer

Висновки до розділу

У цьому розділі, який був умовно розділений на дві частини, ми розглянули систему моніторингу на базі використання SDR приймачів. Така система досить проста в реалізації, все що потрібно це безпосередньо сам SDR модуль а також антена до нього. Такий SDR модуль може приєднуватися до власного комп'ютера, але при відсутності власного SDR приймача є можливість використовувати SDR онлайн. Такі приймачі знаходяться в різних країнах, в різних містах, і мають різних власників, які дають можливість до них підключитися віддалено, що ми і зробили в першій частині цього розділу. Після підключення до онлайн SDR приймача, ми скористалися програмою SDRSharp, яка дала нам можливість досліджувати прийом спектрів сигналів радіомовлення різних діапазонів, а саме діапазон коротких, довгих, середніх і метрових хвиль.

У другій частині цього розділу ми роздивилися конкретний SDR приймач RTLSDR Astrometa DVB-T2 з використанням програмного забезпечення RTLSDR Scanner. Ця програма дозволяє нам розширити смугу огляду в частотній області, приблизно, до 20 МГц. Наприклад, програма SDRSharp, має максимальну смугу огляду 2,3МГц. Смугу огляду також можна розширити за допомогою використання більш складних SDR приймачів, але щоб провести дистанційний моніторинг з такими SDR модулями, потрібно мати високошвидкісний доступ до Інтернету. Тому вибір припав саме на RTLSDR Scanner, яка є у вільному доступі для операційної системи Windows. Ця програма має лінійку інструментів, за допомогою якої можна згладжувати отриманий спектр, диференціювати спектр, автоматично знаходити мінімальні та максимальні значення спектрів, виконувати автоматичне масштабування спектру тощо, а також може зробити з RTLSDR приймача панорамний аналізатор спектру.

Після підключення до SDR був проведений частотний моніторинг на діапазоні ультракоротких хвиль, а саме на ділянках спектра від 100 до 1800

МГц з кроком $\Delta f = 1$ кГц. При цьому час розгортання спектру на екрані монітору складав від 10 сек для смуги огляду 5 МГц, 1,5 хвилини для смуги частот 50 МГц і біля 3 хвилин для смуги частот 100 МГц. Також було розглянуто аналог програми RTLSDR Scanner - Qspectrumalyzer, яка повністю розкриває свій функціонал при використанні операційної системи Ubuntu. При моніторингу сигналів УКХ діапазону, програма показала схожі результати з RTLSDR Scanner, при цьому спектри в цій програмі будуються в два рази швидше, ніж в RTLSDR Scanner.

ВИСНОВКИ

Метою данної роботи, було створення апаратно-програмного засобу на базі технології SDR для моніторингу джерел радіовипромінювання.

Під час виконання освітньо – кваліфікованої роботи був проведений аналіз існуючої, на сьогоднішній день, літератури, яка стосується систем радіомоніторингу а також програмно - керованого радіо. Було з'ясовано, що системи радіомоніторингу, на базі SDR приймачів, недостатньо популярні в країнах колишнього СНД, це нам говорить про те, що така технологія досить новаторська і актуальна, і має право на розвиток і вдосконалення в Україні.

Спочатку були проаналізовані стандартні системи радіомоніторингу, розглянуті їх завдання, склад апаратури, також був розглянутий конкретний приклад автоматичної системи радіомоніторингу "АРМАДА". Також був проведений огляд і аналіз різних аналізаторів радіовипромінювання, їх різновиди, завдання і сфери застосування.

Після розгляду систем радіомоніторингу, ми перейшли до розгляду програмно - керованого радіо, тобто SDR. Був проведений аналіз всіх основних відомостей про існуючі на даний момент SDR, їх характеристик і можливостей. Для більш детального аналізу були виділені конкретні SDR приймачі, а саме RTL2832U і BladeRFx40. Кожен такий SDR приймач буде мати свої характеристики і свої налаштування. Для роботи з програмно - керованим радіо потрібне певне програмне забезпечення, тому було проаналізовано ПЗ, яке в даний момент є оптимальним рішенням для роботи з SDR, а саме було розглянуто програмне забезпечення SDRSharp, SDR Console, GNURadio. Кожна з програм має як свої плюси так і мінуси, кожна відрізняється своїм інтерфейсом а також шириною лінійки і гнучкістю можливих налаштувань.

Третя частина дипломної роботи - експериментальна. У цьому розділі була сконструйована система радіомоніторингу на базі SDR приймачів, а так само була побудована структурна схема цієї системи. Склад такої системи включає в себе безпосередньо сам SDR модуль, антену до нього а також персональний комп'ютер

на якому буде встановлене певне програмне забезпечення під певну операційну систему. У нашому випадку використовувалося онлайн SDR, таке SDR може надати сайт Airspy.com. На цьому сайті був проаналізований наданий нам інтерфес, а також система підключення до доступних в даний час SDR. Для моніторингу коротких, довгих, середніх і метрових хвиль використовувалася програма SDRSharp і різні доступні онлайн SDR пристрої. Далі був узятий конкретний SDR приймач, а саме RTLSDR Astrometa DVB-T2 який працював з програмою RTLSDR Scanner. Ця програма має перевагу перед SDRSharp, так як має більш широку смугу огляду. Було проведено частотний моніторинг на ділянках спектра від 100 до 1800МГц, тобто на діапазоні ультракоротких хвиль, з кроком $\Delta f = 1$ кГц. Також була розглянута програма Qspectrumalyzer, яка продемонструвала схожі результати порівнянно з RTLSDR Scanner, але при цьому мала перевагу за часом, так як здатна будувати спектри в два рази швидше.

З усього вищесказаного можна стверджувати, що СДР приймач можливо застосовувати в складі систем радіомоніторингу. СДР радіо має більш гнучкі налаштування ніж будь-який інший аналізатор радіовипромінювання, кожен зможе його налаштувати під себе так, як йому буде це зручно. Така система буде більш мобільна ніж стандартна система радіомоніторингу, а також буде більш вигідна в матеріальному плані, що не менш важливо.

Отже поставлені завдання були виконані, меда досягнута.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства (3 – е издание, под редакцией доктора тех. наук А.М. Рембовского, 640с., 2012 г.)
2. Слободянюк П.В., Благодарный В.Г. Радиомониторинг: вчера, сегодня, завтра (Прилуки ООО «Издательство «Аір-Поліграф», 352с., 2010 г.)
3. Чепелев В., Шиляев С. Системы радиомониторинга и их компоненты (Электроника: Наука, Технология, Бизнес, 3/2005.)
4. Автоматизована система радіомоніторингу "АРМАДА": веб-сайт. URL: <http://www.bnti.ru/des.asp?itm=5933&tbl=04.01.01.02.01>. (дата звернення 15.04.2020)
5. Скануючі приймачі: їх групи і можливості: веб-сайт. URL: <https://www.forter.com.ua/news-and-articles/skanirujuschie-prijomniki-ih-gruppy-i-vozmozhnosti/> (дата звернення 23.04.2020)
6. Лабораторний аналізатор спектру Anritsu MS2830A: веб-сайт. URL: http://www.tehcom.com/Companies/Anritsu/MS2830A/Anritsu_MS2830A-040-041-043-044-045.htm (дата звернення 24.04.2020)
7. Кутомірні радіонавігаційні системи: веб-сайт. URL: <https://studfile.net/preview/3642480/> (дата звернення 17.04.2020)
8. Амплітудні методи радіопеленгації: веб-сайт. URL: <http://rateli.ru/books/item/f00/s00/z0000017/st035.shtml>
9. Види аналізаторів спектру: веб-сайт. URL: <https://www.sea.com.ua/izmeritelnye-pribory/analizator-spektra/>
10. RTL – SDR приймач: веб-сайт. URL: <https://habr.com/ru/post/373465/> (дата звернення 27.04.2020)
11. Програмно обумовлена радіосистема: веб-сайт. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Программно_определяемая_радиосистема (дата звернення 28.04.2020)

12. Software Defined Radio - як це працює?: веб-сайт. URL: <https://habr.com/ru/post/451674/> (дата звернення 28.04.2020)
13. Технологія SDR: веб-сайт. URL: <https://multicore.ru/index.php?id=20>
14. Перші кроки з RTL-SDR: веб-сайт. URL: <https://хакеp.ru/2014/10/31/rtl-sdr-first-steps/> (дата звернення 4.05.2020)
15. RTL SDR на основі RTL2832 + R820T: веб-сайт. URL: <https://blog.kvv213.com/2016/02/razbiraemnya-s-rtl-sdr-na-osnove-rtl2832-r820t/> (дата звернення 4.05.2020)
16. Bladerf – x40 – SDR: веб-сайт. URL: <https://www.antratek.com/nuand-bladerf-x40-sdr-software-defined-radio> (дата звернення 4.05.2020)
17. BladeRF– x40: веб-сайт. URL: <https://www.nuand.com/product/bladerf-x40/> (дата звернення 4.05.2020)
18. BladeRF– x40: веб-сайт. URL: <https://www.sparkfun.com/products/14041> (дата звернення 5.05.2020)
19. Архітектура BladeRF– x40: веб-сайт. URL: <https://www.mouser.com/datasheet/2/813/bladeRF-brief-1090533.pdf> (дата звернення 6.05.2020)
20. RTL2832U: веб-сайт. URL: <https://www.realtek.com/en/products/communications-network-ics/item/rtl2832u> (дата звернення 8.05.2020)
21. RTL-SDR V 3: веб-сайт. URL: <https://www.amazon.com/RTL-SDR-Blog-RTL2832U-Software-Defined/dp/B011HVUEME> (дата звернення 8.05.2020)
22. Короткі хвилі: веб-сайт. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Короткие_волны (дата звернення 01.06.2020)
23. Довгі хвилі: веб-сайт. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Длинные_волны
24. Довгі хвилі: веб-сайт. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Метровые_волны (дата звернення 01.06.2020)
25. Середні хвилі: веб-сайт. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Средние_волны#:~:text=Средние%20волны

%20(также%20гектометровые%20волны,5%20кГц)%20с%20амплитудной%20модуляцией. (дата звращения 01.06.2020)

26. Airspy.com: онлайн SDR: веб-сайт. URL: <https://airspy.com/directory/> (дата звращения 02.06.2020)