

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ФАКУЛЬТЕТ РАДІОФІЗИКИ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Кафедра радіотехніки та радіоелектронних систем

«На правах рукопису»

Робота допущена до захисту в ЕК
рішенням кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем
від __ червня 2024 року, протокол № ____.

Завідувач кафедри доктор фіз.-мат. наук, професор

_____ Ігор АНІСІМОВ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему:

«DEBIAN/LINUX АВТОМАТИЗОВАНА WEBSDR СИСТЕМА ДЛЯ 70-СМ
ДІАПАЗОНУ НА БАЗІ ШИРОКОСМУГОВОГО SDR-ПРИЙМАЧА R820T2»

Виконав:

студент 4-го курсу

денної форми навчання

спеціальності 172 - Телекомунікації та радіотехніка

ОПП «Інформаційна безпека телекомунікаційних систем і мереж»

Деркач Іван Олександрович _____

Науковий керівник:

канд. фіз.-мат. наук, завідувач навчальної лабораторії радіоелектроніки,

Мойсеєнко Владислав Анатолійович _____

Рецензент:

канд. фіз.-мат. наук, асистент кафедри нанофізики та наноелектроніки,

Малишев Володимир Юрійович _____

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

Студент _____ Іван ДЕРКАЧ

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 52 с., 3 табл., 44 рис., 22 джерела.

Ключові слова: SDR, KRAKENRF, WEBSDR, UHF АНТЕННА (UHF ANTENNA), 70CM (70CM), GROUND PLANE, DEBIAN, RTL-SDR, EZNEC, СМУГОВИЙ ФІЛЬТР.

Об'єкт розроблення – WebSDR сервер на базі ОС Debian, та відповідна приймальна система для UHF діапазону, що складається з антени типу Ground Plane та RTL-SDR донгла, сполучених між собою кабелем RG-58.

Мета роботи – розробка та демонстрація роботи WebSDR сервера, демонстрація практичного моделювання антени за допомогою програмного забезпечення ENZEC Pro+ v.7.0.

У роботі розглянуто процес створення автоматизованої системи WebSDR на базі широкосмугового SDR-приймача R820T2. Проведено аналіз сучасних технологій та існуючих рішень у цій сфері.

На персональному комп'ютері моделі TC-105 з ОС Debian v.12 було встановлено та налаштовано для публічного використання користувачами WebSDR сервер, який в подальшому може модернізуватися для роботи одночасно в декількох діапазонах. В такому разі до системи можуть інтегруватися додаткові SDR приймачі, збільшуватись кількість антен чи застосовуватись засоби фільтрації, приклад якої описано в даній роботі, та розділення вхідних сигналів, таких як дуплексери.

Продемонстровано роботу в рамках 70-см діапазону частот та спроектовано необхідну для роботи антену. Розрахунки проводились за допомогою програмного забезпечення EZNEC, результати моделювання приведені в ході виконання роботи. На базі розрахунків було сконструйовано та перевірено реальний прототип антени.

Також описано метод комп'ютерного моделювання фільтрів на прикладі схеми зі смугою пропускання в діапазоні 433-435 МГц (LPD діапазон).

ЗМІСТ

Перелік скорочень та умовних позначень.....	4
Вступ.....	5
1. Складові WebSDR систем.....	7
1.1. WebSDR системи, їх актуальність в Україні та світі.....	9
1.1.2. R820T2.....	10
1.1.3. KrakenRF.....	13
1.4. Gqrx.....	15
1.5. UHF Ground Plane.....	16
1.6. Узгодження лінії передачі.....	20
2. Проектування та реалізація WebSDR системи на базі R820T2.....	23
2.1. Моделювання антени за допомогою EZNEC.....	23
2.2. Тестування моделі з використанням R&S ZNH-26.....	31
2.3. Смуговий фільтр сигналу.....	35
2.4. Інсталяція та конфігурація ОС Debian 12.0 “Bookworm”.....	40
2.5. Запуск WebSDR сервера.....	43
Висновки.....	48
Перелік джерел посилання.....	51

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

SDR – Software Defined Radio

НВЧ – надзвичайно високі частоти

UHF – ultra high frequency

ОС – операційна система

РЕР – радіоелектронна розвідка

РЕБ – радіоелектронна боротьба

COFDM – Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

КСХ – коефіцієнт стоячої хвилі

□ – довжина хвилі

ВСТУП

Викладена робота має за мету демонстрацію комплексного рішення щодо організації WebSDR систем, спрощення та систематизація здобуття всіх необхідних навичок. Кількість наявних навчальних матеріалів у відкритому доступі є доволі обмеженою, майже відсутні повноцінні мануали щодо запровадження комплексних рішень для прототипів подібних проектів.

Впровадження таких систем в умовах ескалації збройних конфліктів може значно підтримати існуючі методи їх вирішення. На прикладі повноцінних проектів, таких як KrakenRF, можна продемонструвати високу функціональність та простоту використання професійного обладнання, що дозволяє покривати велику площу, забезпечуючи постійне пасивне радіоспростереження в широкій смузі частот одночасно зі здатністю до точної радіопеленгації

Книги та статті, так чи інакше пов'язані з цією ідеєю, в більшості своїй є базовими мануалами, викладені на форумах в довільній формі чи лише в англійському варіанті, що може стати перешкодою для певних користувачів. Серед інших доступних ресурсів більша кількість спрямована на окрему частину повноцінної системи чи орієнтована на досвідчених користувачів, не розкриваючи повністю базові аспекти, корисні для новачків.

Представлено систему прийому радіоповідомлень на базі радіоприймача R820T2 (RTL-SDR Blog V3 Dongle) з подальшим виведенням даних на сервер WebSDR. В якості приймального пристрою розраховано та сконструйовано всенаправлену антену типу Ground Plane для UHF діапазону частот, на відміну від типових для дециметрового діапазону радіохвиль директивних антен, таких як Уда Ягі. Саме їх зазвичай обирають українські радіоаматори, через що у відкритих ресурсах дійсно бракує наукових пояснень щодо конструювання першої.

Так само було описано й принципову схему смугового фільтра, котрий забезпечить значне зменшення кількості завад для сигналу. Смуговий фільтр допомагає виділити потрібний діапазон частот, забезпечуючи кращу селективність і знижуючи рівень небажаних сигналів та шумів. Це, у свою чергу, покращує якість

прийому і підвищує точність обробки даних. Крім того, використання смугового фільтру сприяє зменшенню взаємних перешкод між різними системами, що працюють в одному діапазоні, і забезпечує стабільність та надійність роботи радіочастотного обладнання. В умовах інтенсивного радіочастотного середовища, характерного для сучасних комунікаційних систем, смуговий фільтр є ключовим елементом для забезпечення ефективної і якісної роботи UHF приймачів.

1.СКЛАДОВІ WEBSDR СИСТЕМ

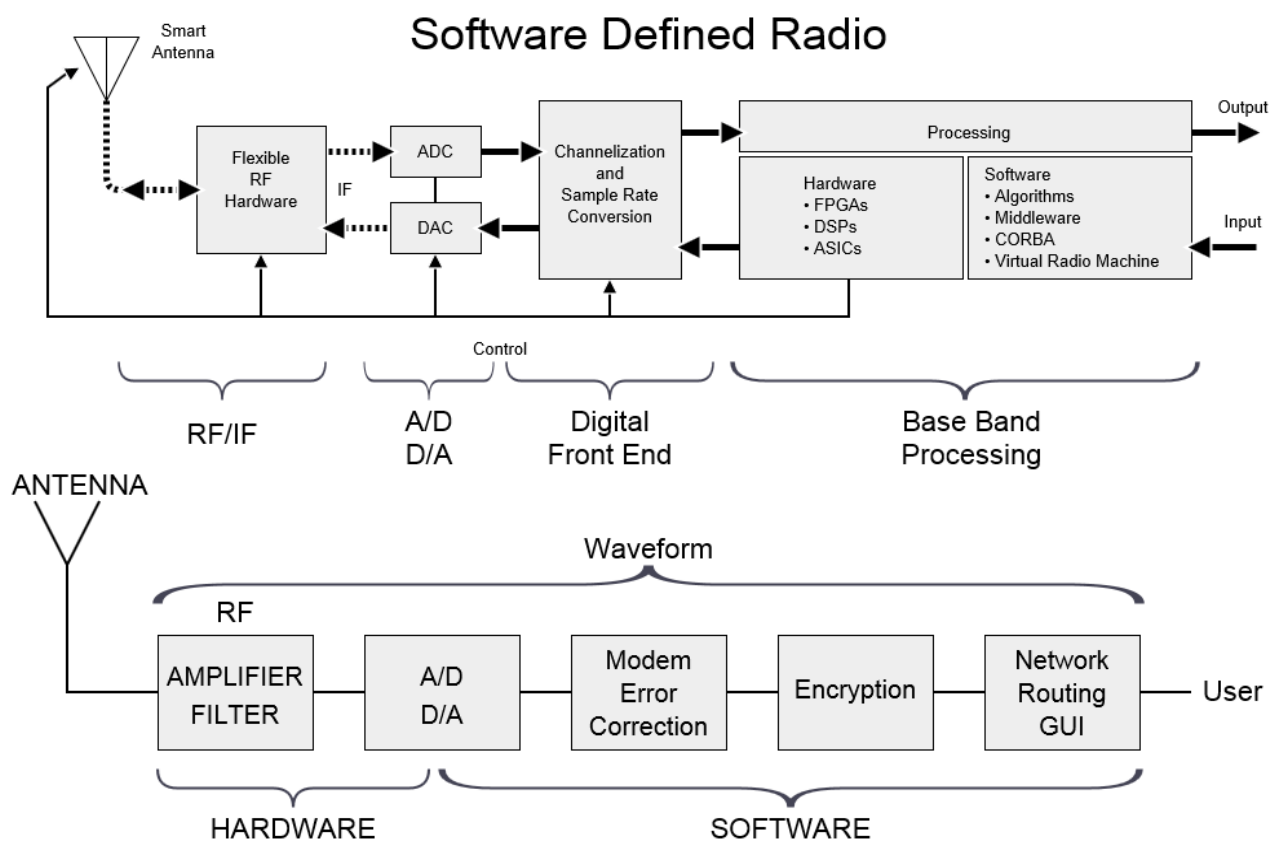
SDR описується як радіо, в якому деякі або всі функції фізичного рівня визначаються програмно. Технологія SDR використовує програмне забезпечення, а не традиційне обладнання, для виконання функцій обробки радіосигналів. Фільтри, синхронізатори, модулятори/демодулятори та частотні тюнери, що використовуються у звичайних системах, можуть бути написані у програмному забезпеченні. Програмно-визначені пристрої можуть бути реконфігуровані для адаптації до мінливих вимог до продукту.

SDR працюють подібно до настільних комп'ютерів, де одна апаратна платформа може виконувати багато функцій на основі завантажених програмних додатків (рис.1.1). SDR використовують високошвидкісні перепрограмовані пристрої, такі як цифрові сигнальні процесори (DSP), польові програмовані вентильні матриці (FPGA) або процесори загального призначення (GPP), що виконують завдання, які у звичайних радіосистемах виконує апаратне забезпечення.

Програмні алгоритми фільтрації системи налаштовують параметри радіо, такі як режими роботи, частота і модуляція, усуваючи потребу в апаратних компонентах. Такий тип проектування призводить до того, що радіостанція може приймати і передавати різні радіопротоколи, елементарно змінюючи програмне забезпечення, забезпечуючи гнучкість, необхідну для ефективного використання радіочастотного спектру і розширення можливостей радіостанції без необхідності оновлення апаратного забезпечення.

Програмно-визначені системи (ПЗ) забезпечують гнучкість у переналаштуванні для адаптації до мінливого середовища та вимог. Не дивно, що сьогодні програмне забезпечення стало найбільшим компонентом електронних систем, що вимагає більше ресурсів для розробки, ніж апаратне забезпечення. Однак, оскільки базова електроніка стає все складнішою завдяки швидкій еволюції процесорів та гетерогенній природі вбудованих систем, розробка програмного забезпечення також стала викликом. Традиційні підходи, за яких програмні

додатки тісно пов'язані з апаратним забезпеченням, більше не є прийнятними. Будь-яка модифікація апаратного забезпечення (розвиток продукту, застарівання, впровадження сторонніх технологій) вимагає значної адаптації, яка схильна до помилок і займає багато часу. Необхідна зміна парадигми в розробці програмного забезпечення для гетерогенних вбудованих і розподілених систем (HEDS). Військові системи повинні бути набагато більш гнучкими, щоб адаптуватися до постійної і швидкої еволюції систем супротивника [2].



SDR et WF by SDR_et_WF.JPG: Topituukderivative work: McSush (talk) - SDR_et_WF.JPG. Licensed under Copyrighted free use via Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SDR_et_WF.svg#/media/File:SDR_et_WF.svg

Рисунок 1.1 – Пояснення принципу роботи SDR [2].

SDR є доволі доступним рішенням для радіолюбителів та чудовим доповненням до освітніх програм, що передбачають ознайомлення з основами радіоелектроніки та зв'язку. Для модифікації системи інженерам достатньо внести зміни до програмного забезпечення, не чіпаючи апаратну частину.

Фактично, більшість доступних комерційних платформ SDR конвертують радіосигнали в цифрові зразки і застосовують програмно визначений механізм для

процесів модуляції та демодуляції для передачі інформації в режимі реального часу. Межа між аналоговим та цифровим світом для системи комунікації лежить в аналогово-цифровому перетворювачу та цифро-аналоговому перетворювачу, де інформація сигналу переводиться між неперервним сигналом та дискретним набором значень. Як правило, радіоприймач може бути налаштований на вибір центральної частоти, частоти дискретизації, смуги пропускання та інших параметрів для прийому та передачі цікавлячих нас сигналів. [7].

1.1. WebSDR системи, їх актуальність в Україні та світі

Завдяки широкому спектру застосувань, доступності та численним перевагам програмно-визначене радіо набуває великої популярності у світі. Сайт webdr.org демонструє нам величезну кількість постійно працюючих точок доступу. Технологія WebSDR надає безліч можливостей для радіоаматорів. Вона дозволяє експериментувати з різними частотами радіообміну, обмінюватись досвідом. Моніторинг радіо спектру в режимі реального часу дозволяє постійно стежити за перешкодами, аналізувати отримані сигнали.

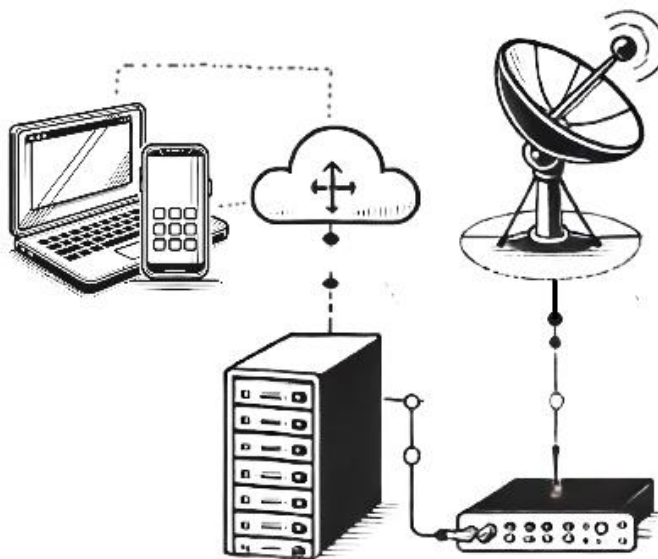


Рисунок 1.2 – Концептуальне зображення WebSDR системи.

З наведених джерел бачимо, що раніше в межах України відслідковували кілька робочих станцій WebSDR [3], нині їх кількість стала ще меншою, що можна відслідковувати на мапі [1] (рис. 1.3). Технологію й досі можна назвати недостатньо

обізнаною, існуючі станції мають обмежений функціонал та працюють нестабільно. Через відсутність необхідних інформаційних кампаній зацікавленість серед потенційних користувачів стрімко падає. Тим не менш, зарубіжні видання [4;5] неодноразово описували використання SDR технологій українською стороною воєнного конфлікту в останні роки.

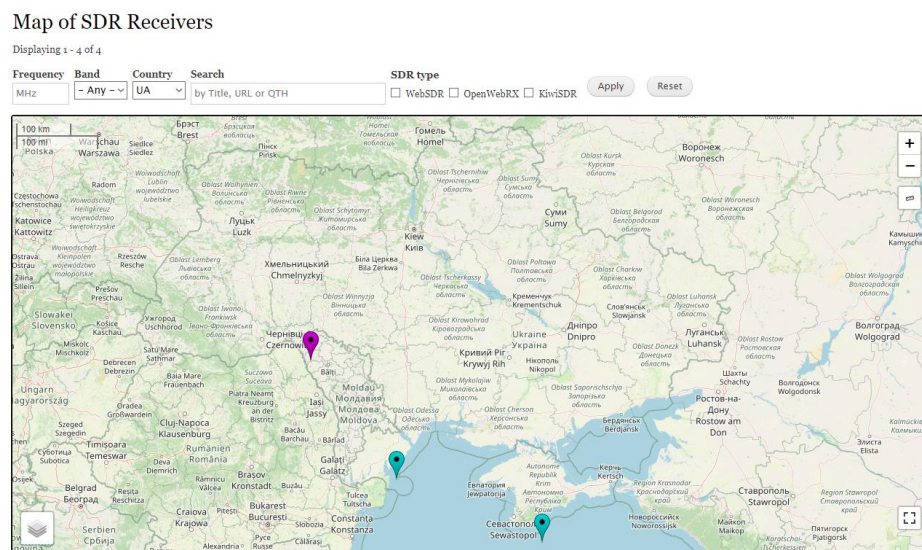


Рисунок 1.3 – Мапа з сайту World of Receivers and Transmitters. Фільтр встановлено на приймачі з України.

Проте й досі не можна сказати що ця технологія відома широкій публіці в Україні. Окремі радіоаматори мають власні невеликі любительські станції, поступово технологію залучають у воєнну сферу з метою доповнення вже існуючих систем. Асоційовані програми проводяться рядом країн, проте ЗСУ наразі не мають чіткого підходу до систематичного впровадження SDR технологій.

Аналіз існуючих програм та пристроїв PER та РЕБ на базі SDR технологій показує наявність практично підкріпленого інтересу до активного впровадження SDR технологій, комплексування методів і підвищення мети інтеграції від окремих дискретних приладів до багатоканальних систем збору даних з єдиним центром обробки і представлення інформації [19].

1.1.1. R820T2

RTL-SDR Blog V3 Dongle RTL2832U (рис. 1.4) є одним з найпопулярніших SDR-приймачів на ринку. Його вартість доволі низька (близько 40\$), при значній

простоті використання та універсальності. Прийом сигналів підтримується у широкому діапазоні 500 кГц - 1766 МГц.



Рисунок 1.4 – RTL-SDR Dongle V3.

Донгл підключається до комп'ютера через USB інтерфейс, більшість програмного забезпечення для роботи має доволі зручний та інтуїтивно зрозумілий GUI. Можна обирати серед великого різноманіття програм: Gqrx, SDR Sharp, GNU Radio тощо. Таким чином можна обрати середовище залежно від індивідуальних потреб та уподобань, типу операційної системи.

RTL2832U - це високопродуктивний DVB-T COFDM демодулятор з підтримкою інтерфейса USB 2.0, будучи тим самим сумісним з більшістю сучасних комп'ютерів. Він підтримує режими 2К або 8К з шириною смуги пропускання 6, 7 та 8 МГц. Параметри модуляції, такі як швидкість кодування та інтервал захисту, визначаються автоматично. Він використовує фірмові алгоритми Realtek для подавлення шумів, оцінки каналів тощо. Підтримуються тюнери з виходом IF (Проміжна частота, 36.125 МГц), low-IF (4.57 МГц), або Zero-IF, використовуючи кристал на 28.8 МГц [6].

Приймач оснащений 8-бітовим аналогово-цифровим перетворювачем, що забезпечує доволі непогану точність прийнятого сигналу. В окремих випадках така роздільна здатність може виявитись недостатньою, хоча це можна вважати скоріше окремим виключенням з правил.

RTL2832U має широкий спектр застосувань. Радіоаматори використовують його для прийому аматорських радіостанцій, експериментів з різними модуляціями та частотами. Він також використовується для аналізу радіоспектру, виявлення сигналів та радіоперешкод, проведення наукових досліджень. Прийом FM-радіо, авіаційних сигналів і цифрового телебачення є ще одними популярними застосуваннями цього приймача.

Тим не менш, він має і свої недоліки. Обмежена роздільна здатність 8-бітного АЦП може бути недостатньою для деяких завдань, що вимагають високої точності. Крім того, приймач може бути чутливим до електромагнітних завад, особливо в умовах високого рівня радіоперешкод. Вузкий динамічний діапазон може призводити до проблем з прийомом слабких сигналів на фоні сильних завад.

Максимальна частота дискретизації становить 3.2 МГц, хоча приймач на практиці може працювати нестабільно на такій швидкості, пропускаючи відліки. За необхідності лише візуалізувати спектр це є цілком нормально, проте може стати проблемою у випадках, коли ми хочемо його декодувати.

Принципова схема роботи з datasheet наведена на рис. 1.5. Також в ньому наведена велика кількість більш детальної інформації щодо функціональності модуля, опису PIN-роз'ємів та реєстру.

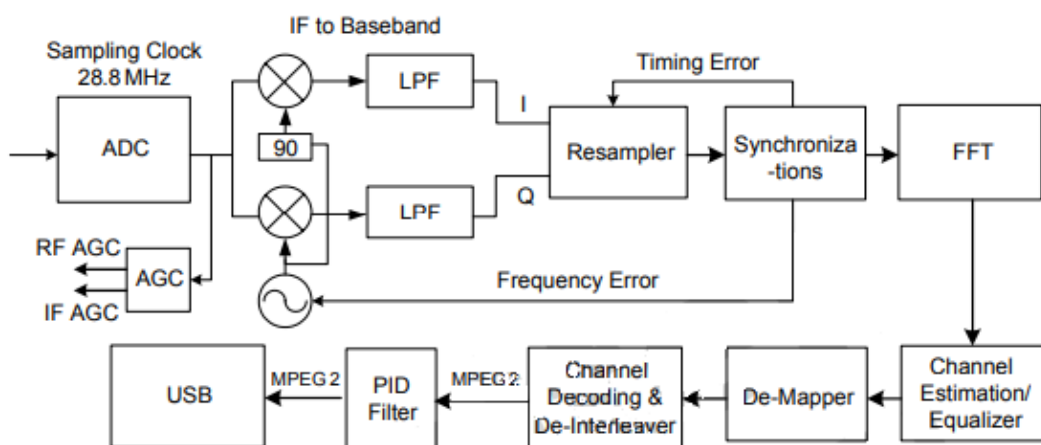


Рисунок 1.5 – Блок-схема для RTL2832U [6].

1.1.2. KrakenRF

KrakenRF (KrakenSDR) – потужний SDR пристрій, котрий за рахунок широкого спектру можливостей привернув до себе неабияку увагу професійних користувачів (рис. 1.6). Пристрій базується на схемі, що включає в себе 5 RTL-SDR, що неабияк розширює можливості платформи. Декілька когерентних каналів точно синхронізують вхідні дані з декількох антен, дозволяючи застосовувати прилад в радіопеленгації, пасивній локації та створенню аналогів антенних решіток. Технічні характеристики передбачають роботу в частотах від 24 МГц до 1766 МГц за частоти дискретизації 2.56 MS/s та роздільної здатності АЦП 8 біт.



Рисунок 1.6 – KrakenRF в комплекті з 5 антенами.

KrakenSDR – універсальний пристрій, що відкриває нові можливості для широкого спектру задач радіочастотних технологій. Завдяки своїй багатофункціональності, цей пристрій стає надзвичайно цінним інструментом у різних галузях, від пошуково-рятувальних операцій чи створення систем пасивної радіорозвідки в умовах воєнного часу до наукових досліджень.

Однією з найважливіших функцій KrakenSDR є здатність до пеленгування, тобто визначення місцезнаходження джерела сигналу шляхом триангуляції його напрямку за допомогою автоматичного картографування та токалізації передавача. Це особливо корисно в пошукових операціях, де швидке і точне виявлення сигналу передавача може врятувати життя. У системах безпеки пеленгування допомагає

виявляти нелегальні або підозрілі радіопередавачі, забезпечуючи захист від можливих загроз.

Система має можливість формування променя шляхом контролю фаз і амплітуд сигналів, прийнятих кожною антеною. Це дозволяє посилювати прийом сигналу з певного напрямку, одночасно мінімізуючи перешкоди з інших напрямків. Така функціональність особливо важлива в умовах сучасного переповненого радіочастотного середовища, де одночасно на різних частотах працюють численні передавачі. Здатність сфокусуватися на конкретному сигналі дозволяє забезпечити чіткість і якість зв'язку, що є критичним як у військових так і у цивільних застосуваннях.

Крім того, KrakenSDR може використовуватися в пасивних радіолокаційних системах. Ці системи застосовують існуючі радіочастотні сигнали, такі як сигнали від радіомовних веж, для виявлення і відстеження об'єктів. Використання пасивного радара є економічно ефективним і непомітним для противника способом здійснення радіолокаційного спостереження без необхідності випромінювання власних радіосигналів. Це знижує ризик виявлення системи і забезпечує безперервний моніторинг великих територій.

Завдяки когерентним каналам, пристрій дозволяє експериментувати з системами MIMO (Multiple Input Multiple Output), які є ключовими для сучасних бездротових мереж. Це дозволяє інженерам та дослідникам розробляти нові технології зв'язку, підвищувати пропускну здатність мереж і забезпечувати надійність передачі даних у складних радіочастотних умовах.

KrakenSDR є потужним і універсальним інструментом, який відкриває безліч можливостей для використання у різних сферах. Його функціональність робить його незамінним інструментом для фахівців у різних галузях. Саме напрям реалізації таких систем як KrakenSDR демонструє напрям розвитку нових технологій і підвищення ефективності існуючих систем, що надійно і точно працюють у найскладніших радіочастотних умовах.

1.4. Gqrx

Одним з найпопулярніших програмних інструментів для роботи з SDR є Gqrx, інтерфейс показано на рис. 1.7. Це надійне та багатofункціональне програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом, яке надає користувачам простий у використанні інтерфейс для прийому та аналізу радіосигналів.

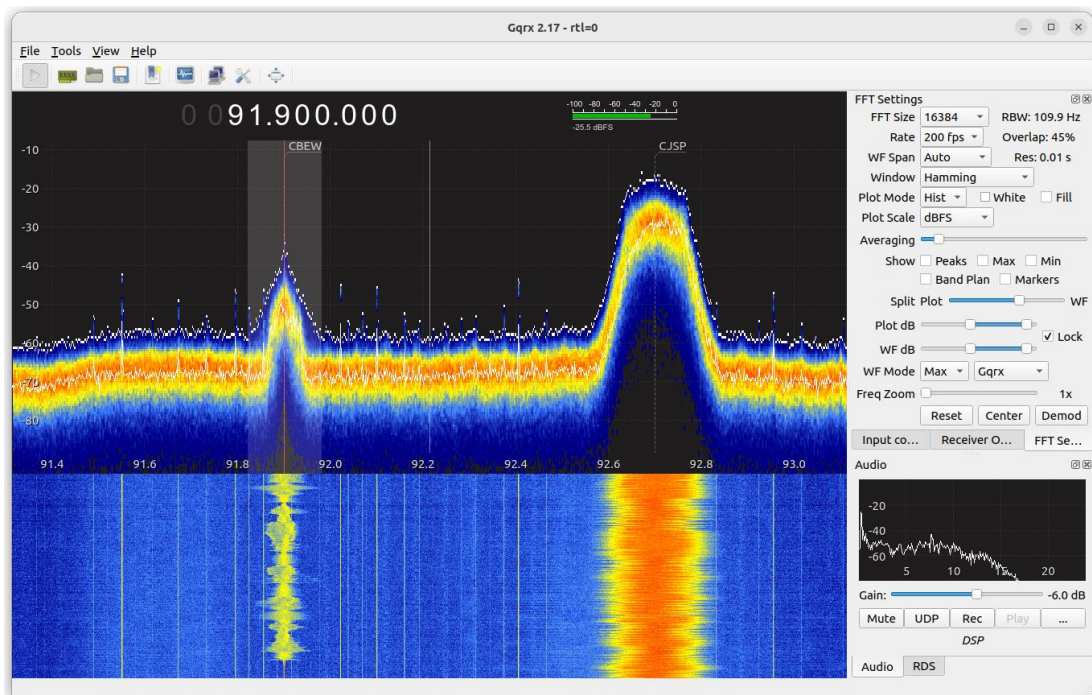


Рисунок 1.7 – GQRX GUI [13].

Gqrx було розроблено Александром Сцете (Alexandru Csete), радіоаматором з позивним OZ9AEC, і з моменту свого створення воно стало популярним серед радіоаматорів та дослідників у всьому світі. Це програмне забезпечення базується на GNU Radio та Qt, що забезпечує високу гнучкість та потужність. Gqrx підтримує широкий спектр SDR пристроїв, включаючи RTL-SDR, HackRF, Funcube Dongle, BladeRF та LimeSDR.

Однією з найбільших переваг Gqrx є його інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Користувачі можуть легко налаштовувати параметри прийому, змінювати частоти, вибирати тип модуляції та аналізувати спектр сигналів у режимі реального часу. Це робить Gqrx доступним як для новачків, так і для досвідчених користувачів.

Програма надає широкий спектр інструментів для обробки сигналів, включаючи фільтрацію, демодуляцію та запис сигналів.

Крім того, програма працює на різних операційних системах, включаючи Linux, macOS та Windows, що забезпечує широку доступність для користувачів. Активна спільнота користувачів та розробників забезпечує її постійну підтримку та оновлення, що робить її ще більш надійною та функціональною.

1.4. UHF Ground Plane

UHF діапазон визначається як частина сигналу від 300 МГц до 3 ГГц, хоча інколи частоти вище 900 МГц називають мікрохвильовими. Для UHF діапазону вартість виготовлення антен є мізерною через невеликі розміри. Так само це змінює й конструктивні особливості, майже позбавляючи нас необхідності враховувати міцність підтримки антени. При моделюванні таких антен можна використовувати їх положення у вільному просторі, за умови якщо фактично вони будуть розміщуватись на висоті більше $\lambda \times 10$.

Слід зауважити що при узгодженні антени потребується неабияка точність. Враховуючи те, що UHF антена доволі чутлива до найменших змін, слід приділяти велику увагу точності збору. Найменші предмети, що можуть виступити завадою для сигналу, можуть значно вплинути на розрахункові значення антени. Насправді таку антену краще за все розміщувати якомога вище. Таким чином досягається краща пряма видимість в різних напрямках від точки випромінювання до перших перешкод.

Антенна є важливим мостом між електричним сигналом, що передається, та електромагнітною хвилею, яка рухається повітрям або вакуумом. У цьому контексті детальне вивчення антен є необхідним, оскільки їх характеристики можуть значно впливати на якість зв'язку та область покриття. Важливо розуміти та правильно обирати антенні системи, які будуть відповідати конкретним потребам, враховуючи вимоги до напрямку випромінювання, відстані передачі, мобільності та інших факторів.

Антенна Ground Plane, як бачимо на рисунку 1.8, являє собою всенаправлений вертикальний випромінювач, розташований над штучним радіочастотним ґрунтом,

що може складатися з чвертьхвильових радіалів або листа високопровідного металу. Мінімальна кількість радіалів – 3, в цілому їх набір можна й надалі збільшувати, проте використовувати більше 6 не має великого сенсу. Радіали антени в різних варіантах побудови розміщуються під кутом від 0° до 45° до землі (90° - 135° до випромінювача), що впливає на узгодження антени, зокрема регулює КСХ. Довжина їх підлаштовується в межах 0.17λ - 0.28λ . В свою чергу вертикал зазвичай має довжину близько $\lambda/4$, оскільки використання вертикалів довжиною $\lambda/2$ та $5/8\lambda$ потребує інсертації додаткової схеми узгодження імпедансу з індуктивностями чи ємностями.

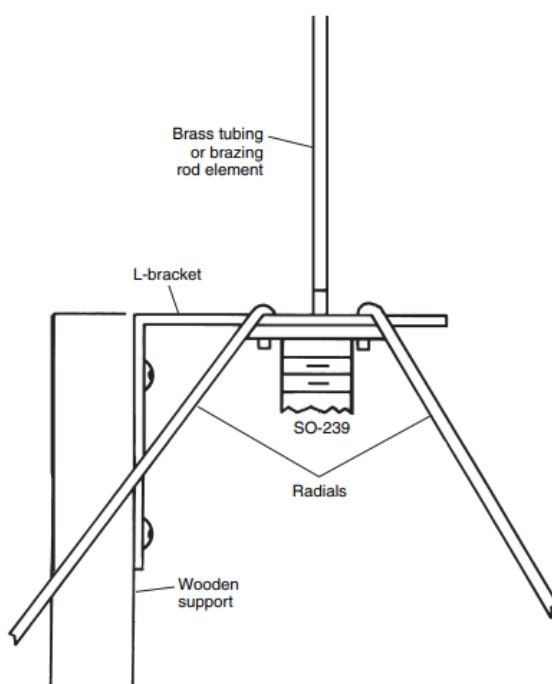


Рисунок 1.8 – Конструкція антени “Ground Plane”.

Також буде відрізнятися й напрямок поширення сигналу відносно горизонту. Для $5/8\lambda$ він буде максимально пролягати до нього, натомість чвертьхвильові вертикали мають більш рівномірну напрямленість випромінювання, що продемонстровано на рис. 1.9.

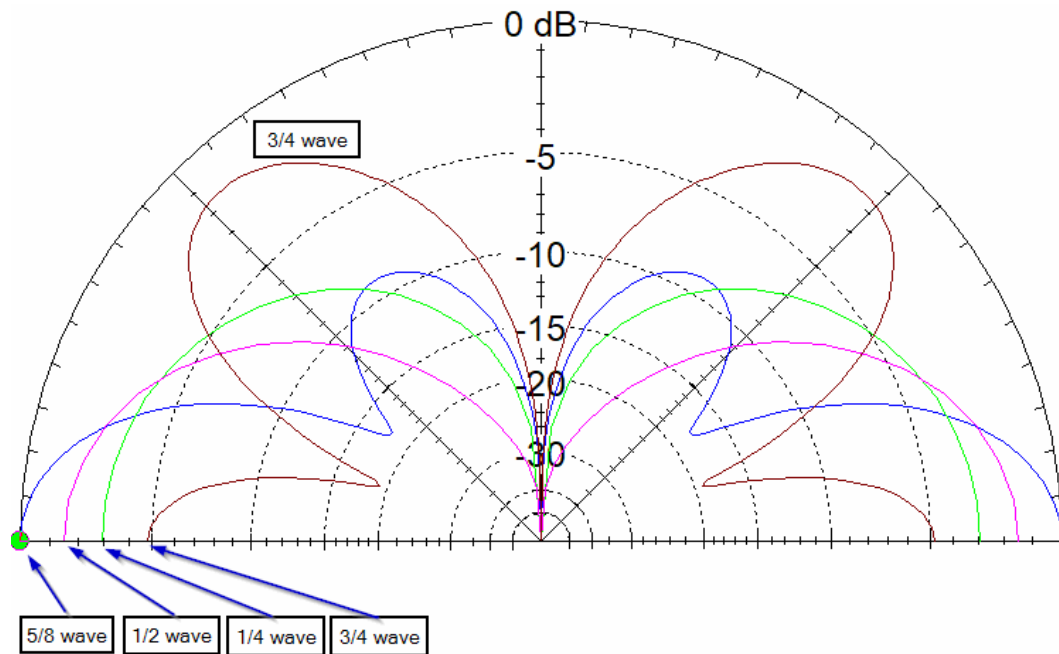


Рис. 1.9 – Графіки поширення енергії, що поширюються антенами типу “Ground Plane” [14].

Фідерну лінію антени буде прокладено всередині трубки з гетинаксу. Оголена жила коаксіального кабелю припаюється до центрального випромінювача, а екран кабелю – до мідної пластини з закріпленими на ній радіалами.

Розрахунок параметрів антени є доволі примітивним. Оскільки нас цікавлять UHF частоти, застосуємо розрахунок для антени, що буде оперувати в смузі від 430 МГц до 440 МГц, з резонансом в околі 433 МГц, що дозволить покрити більшість поширених стандартів радіомовлення, згідно [16] та представленої та представленої на рис. 1.10 інформації.

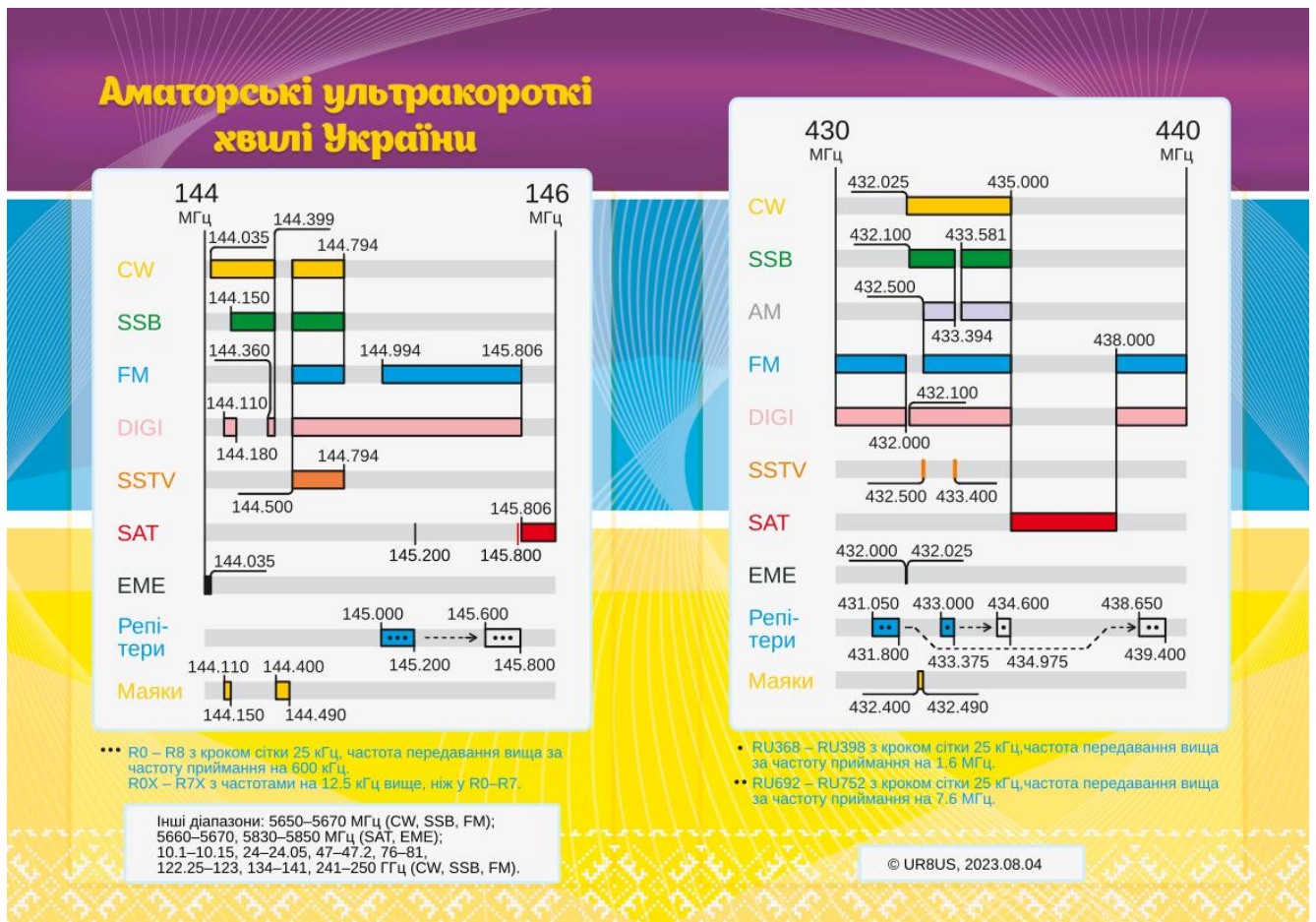


Рисунок 1.10 – Аматорські УКХ в межах України [16].

В розрахунках скористаємося наступною формулою для довжини хвилі :

$$\lambda = \frac{300}{f (\text{MHz})} = \frac{300}{433} \quad (1.1)$$

де c - швидкість світла.

Тоді $\lambda = 0.69284$ м.

Спираючись на цей розрахунок можемо сказати що орієнтовна розмірність елементів антени буде наступною:

- Радіали - 11.8-19.4 см.
- Випромінювач - 17.3 см.

В якості матеріалу для кабелю будемо застосовувати монолітний мідний кабель 6мм^2 (діаметром 2.76мм).

Для досягнення максимальної відповідності потужності що передається . приймається джерелом / приймачем слід приділити увагу узгодженню антени. І в

деяких випадках вони можуть не бути цілком ідентичними. Наприклад, в деяких приймальних системах мінімальний рівень шуму досягається за дещо відносно меншого імпедансу антени, тоді як трансмітери навпаки можуть потребувати більший імпеданс антени відносно лінії передачі.

1.5. Узгодження лінії передачі

Коефіцієнтом стоячої хвилі називають оцінку узгодження лінії передачі, визначається за формулою

$$КСХ = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}, \quad (1.2)$$

де Γ - коефіцієнт відбивання.

КСХ є показником ефективності передачі енергії від передавача до антени. Він визначає відношення максимальної амплітуди стоячої хвилі до мінімальної амплітуди стоячої хвилі на лінії передачі.

Коли сигнал передається від передавача до антени через коаксіальний кабель або іншу лінію передачі, частина енергії може бути відбита назад до передавача, якщо імпеданс антени не відповідає імпедансу лінії передачі. Це відбивання створює стоячі хвилі на лінії передачі, які можна спостерігати як зміни амплітуди напруги або струму вздовж довжини кабелю.

Фізично, високе значення КСХ означає, що енергія, яка не поглинається антеною, повертається назад до передавача, створюючи стоячі хвилі. Ці хвилі можуть викликати резонансні ефекти на певних частотах і призводити до втрат у системі передачі. Тому його вимірювання та мінімізація є критично важливими для забезпечення ефективної роботи радіочастотних систем, максимізації передачі енергії та захисту обладнання від потенційних ушкоджень.

Являє собою реальне число величиною $1 \leq КСХ \leq \infty$, де $КСХ = 1$ означає повністю узгоджену систему. Такого результату можна досягти лише при значенні $\Gamma = 0$.

Параметри розсіювання (або S-параметри) описують електричну поведінку мереж при дії на них різних збурень електричними сигналами. Ними користуються при високих частотах сигналу, через високу складність застосування інших

параметрів. Елементи матриці розсіювання демонструють зв'язок між поданою на вхід чи вихід, та відбитою хвилею:

$$[\mathbf{b}] = [\mathbf{S}][\mathbf{a}], \quad (1.3)$$

де \mathbf{a} - вхідні сигнали, \mathbf{b} - вихідні.

Дво-портові мережі (рис. 1.10) описуються за допомогою чотирьох значень: S_{11} , S_{12} , S_{21} , S_{22} .

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} - \text{коефіцієнт відбиття від першого входу}; \quad (1.4)$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} - \text{зворотна передавальна функція}; \quad (1.5)$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} - \text{пряма передавальна функція}; \quad (1.6)$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} - \text{коефіцієнт відбиття від другого входу}; \quad (1.7)$$



Рисунок 1.10 – \mathbf{a} - вхідні впливи, \mathbf{b} - вихідні / відбиті значення

Аналіз параметрів розсіювання активних та пасивних мереж можна виконати за допомогою приладу, що має назву Vector Network Analyzer (VNA). Фактично він являє собою дво- або чотирьохканальний приймач, що обробляє амплітуду і фазу хвиль, що проходять крізь нього чи відбиваються від мережі. Розгортки сигналу конвертуються в цифрові значення, що використовуються для розрахунку параметрів відбиття, КСХ, імпедансу тощо.

Бюджетним варіантом такого приладу є NanoVNA, проте в рамках цієї роботи я мав змогу скористатися більш прогресивним обладнанням від Rohde & Schwarz – портативним векторним аналізатором мереж ZNH, зображеним на рисунку 1.11.



Рисунок 1.11 – Rohde & Schwarz ZNH-26.

Пристрій працює в діапазоні частот 3 кГц - 26,5 ГГц, доволі компактний та автономний. З його допомогою можна вимірювати характеристики антен та S-параметри. Він вирізняється високою точністю, простотою в експлуатації та широким діапазоном частот. Аналізатор ідеально підходить для встановлення та обслуговування антенних систем, вимірювань на кабелях та тестування компонентів у мобільних та стаціонарних умовах.

Інтерфейс на основі сенсорного екрана та доволі габаритні клавіші полегшують його експлуатацію. Пристрій оснащений 7-дюймовим кольоровим сенсорним екраном з функціями мультитач, що дозволяє користувачам швидко налаштовувати параметри та управляти маркерами за допомогою жестів, подібних до смартфонів.

Базова версія R&S ZNH забезпечує вимірювання кабелів та антен з одного порту і повні двохпортові вимірювання S-параметрів приладів. Пристрій підтримує додаткові режими вимірювань, такі як вимірювання потужності, імпульсні вимірювання, векторний вольтметр, вимірювання хвильових коефіцієнтів, змішана характеристика S-параметрів, аналіз у часовій області. [20]

2. ПРОЕКТУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ НА БАЗІ R820T2

2.1. Моделювання антени за допомогою EZNEC.

Розглянута надалі модель буде передбачати зв'язок в двох типових для 70-см діапазона стандартах: LPD (433-435 МГц) та PMR (Близько 446 МГц). Отриманий прототип демонструє гарні характеристики в необхідних нам частотах, що гарантує стабільний прийом сигналу з мінімальними втратами, близькими до ідеальних. Окрім цього можна скористатись вже існуючими користувацькими проектами, провівши перерахунок на необхідну нам частоту. Такий підхід дозволяє зекономити час при розробці нових антенних систем.

Перейдемо до безпосереднього моделювання. Інтерфейс програми зображено на рисунку 2.1.

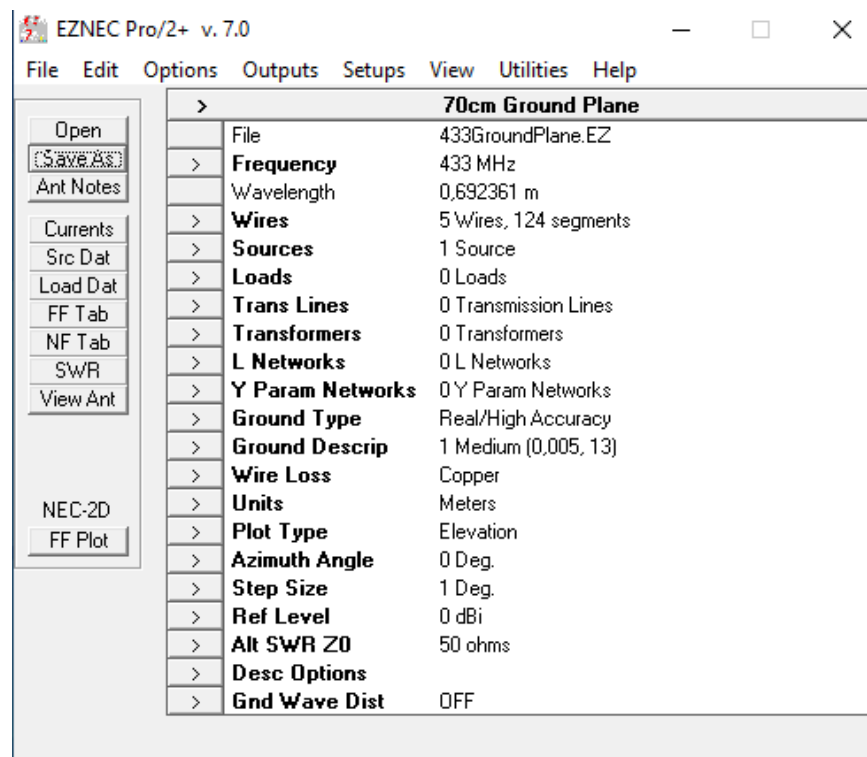


Рисунок 2.1 – Інтерфейс програми EZNEC.

Користуючись вже існуючими проектами від інших користувачів, будь-яку антену можна легко підлаштувати від власні потреби. Для цього слід скористатися вкладкою “Frequency” (рис. 2.2) в проекті вже робочої антени. Підтвердивши

необхідність перерахунку антени та змінивши частоту в робочому полі вікна, довжина елементів буде змінена. При цьому на новій частоті ми отримуємо такий самий КСХ як і до внесених правок.

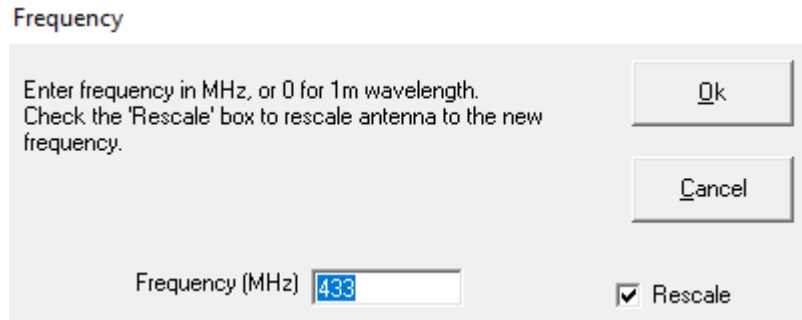


Рисунок 2.2 – Вкладка “Frequency”.

Нижче, на рисунках 2.3 - 2.7 наведено найбільш корисні пункти меню при моделюванні найпростіших антен:

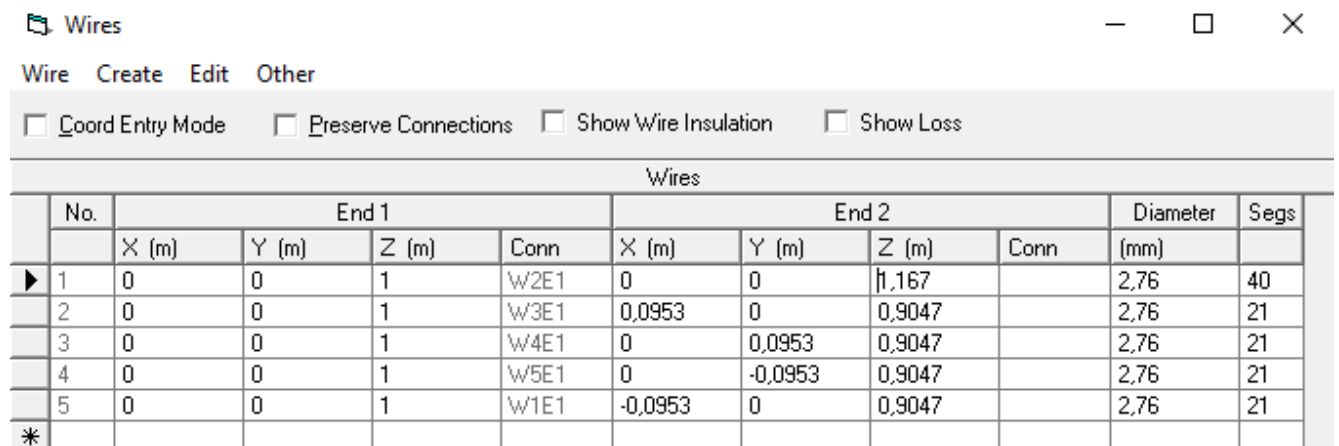


Рисунок 2.3 – “Wires” – таблиця налаштування параметрів елементів.

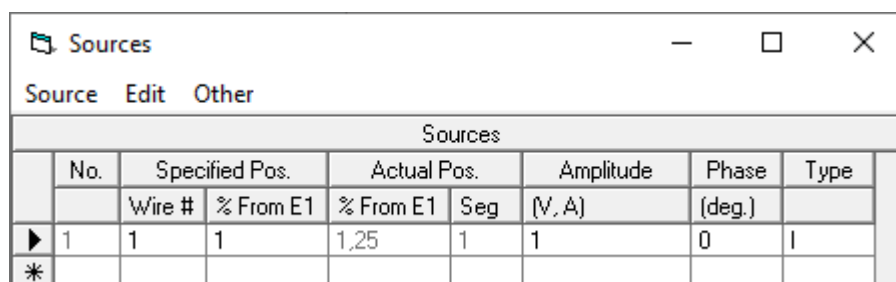
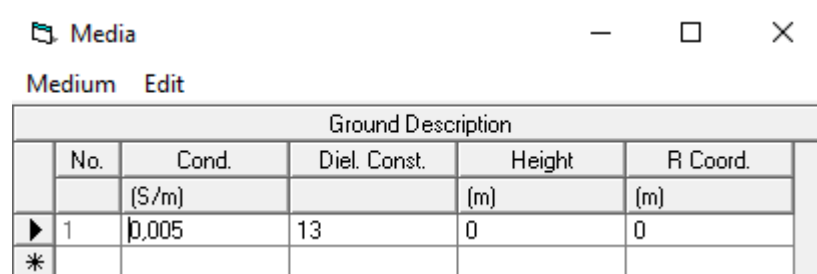


Рисунок 2.4 – “Sources” – джерела.



The screenshot shows a window titled 'Media' with a menu bar containing 'Medium' and 'Edit'. Below the menu bar is a table titled 'Ground Description' with the following columns: No., Cond., Diel. Const., Height, and R Coord. The table contains one data row with values 1, 0.005, 13, 0, and 0 respectively. A cursor is visible over the first row, and a '*' symbol is in the bottom-left corner of the table area.

Ground Description				
No.	Cond.	Diel. Const.	Height	R Coord.
	(S/m)		(m)	(m)
1	0.005	13	0	0
*				

Рисунок 2.5 – “Ground type and description” – тип землі та її параметри.

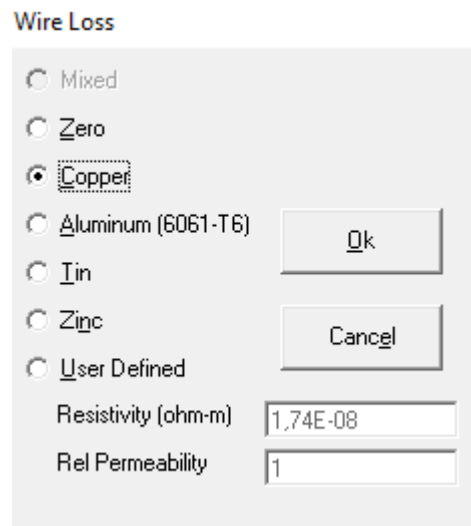


Рисунок 2.6 – “Wire loss” – матеріал елементів.

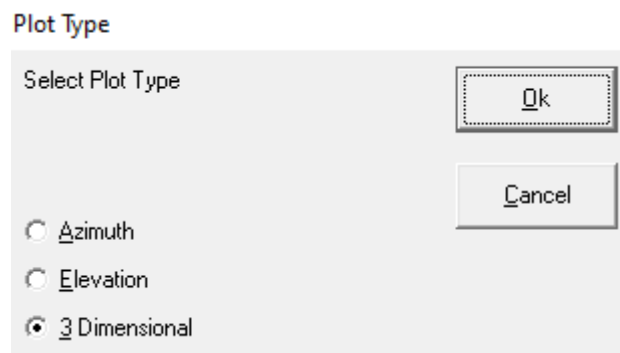


Рисунок 2.7 – “Plot type” – дозволяє перемикатись між 2D і 3D типом відображення діаграми направленості.

Оцінка результатів проводиться у вкладках “SWR” (Рис. 2.9), “View Ant” (Рис. 2.8) та “FF Plot” (Рис. 2.12), сутність яких інтуїтивно зрозуміла без необхідності освідомлення.

Повернемося до вкладки “Wires”, що відповідає рис. X. Антена піднята над землею на висоту 1м. Діаметр елементів становить 2.76 мм. В ході оптимізації КСВ вони були відредаговані для отримання резонансу в околі 433 МГц, а саме:

- Довжина випромінювача: 16,7 см
- Довжина радіалів: 13,5 см.

При конструюванні антени ми будемо орієнтуватись саме та такі розміри елементів.

- Джерело розміщене на початку вертикального елемента;
- Обраний тип землі: реальна;
- Матеріал елементів: мідь.

Нижче, на рисунку 2.8, наведена модель антени з вкладки “View Ant”.

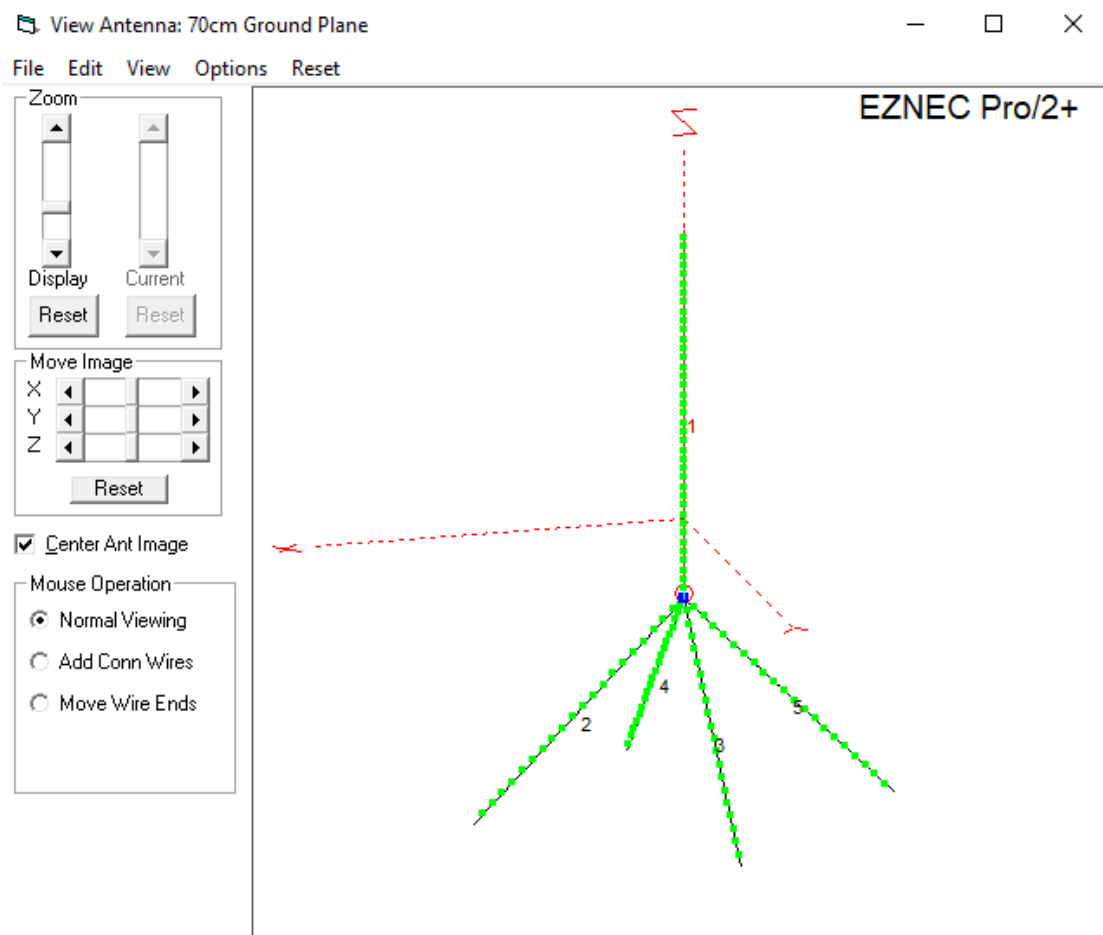


Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд антени.

Обравши вкладку SWR запускаємо тестування антени в проміжку 400 МГц - 470 МГц з кроком в 0.5 МГц та оцінюємо результати для різних точок (Рисунки 2.9-2.11).

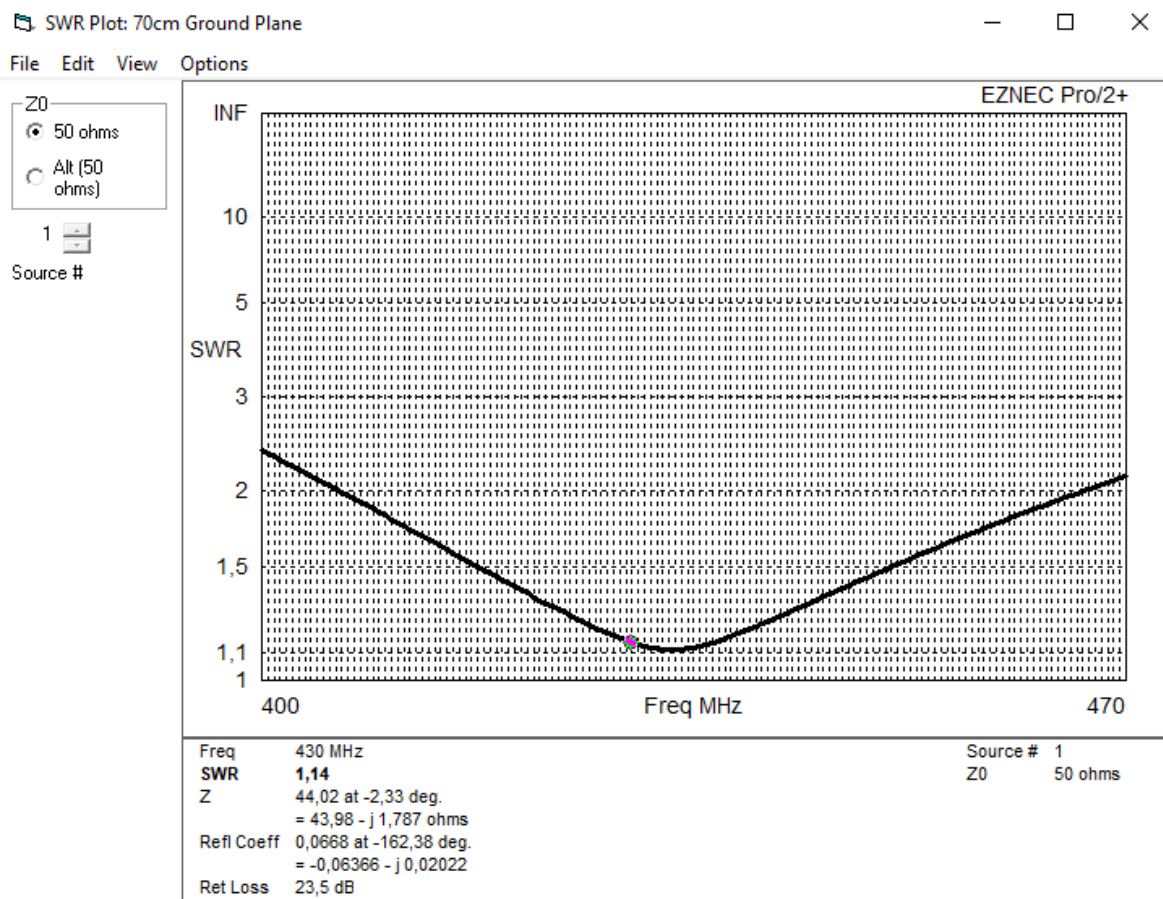


Рисунок 2.9 – SWR 430 MHz = 1.14.

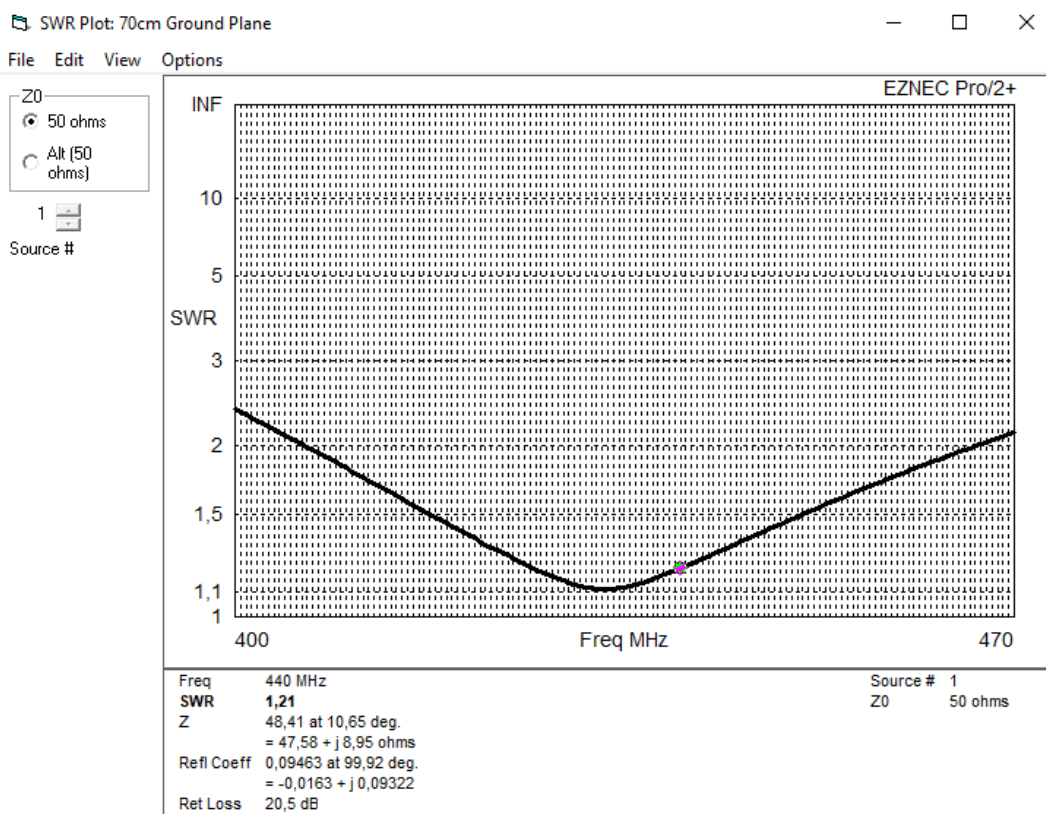


Рисунок 2.10 – SWR 440 MHz = 1.21.

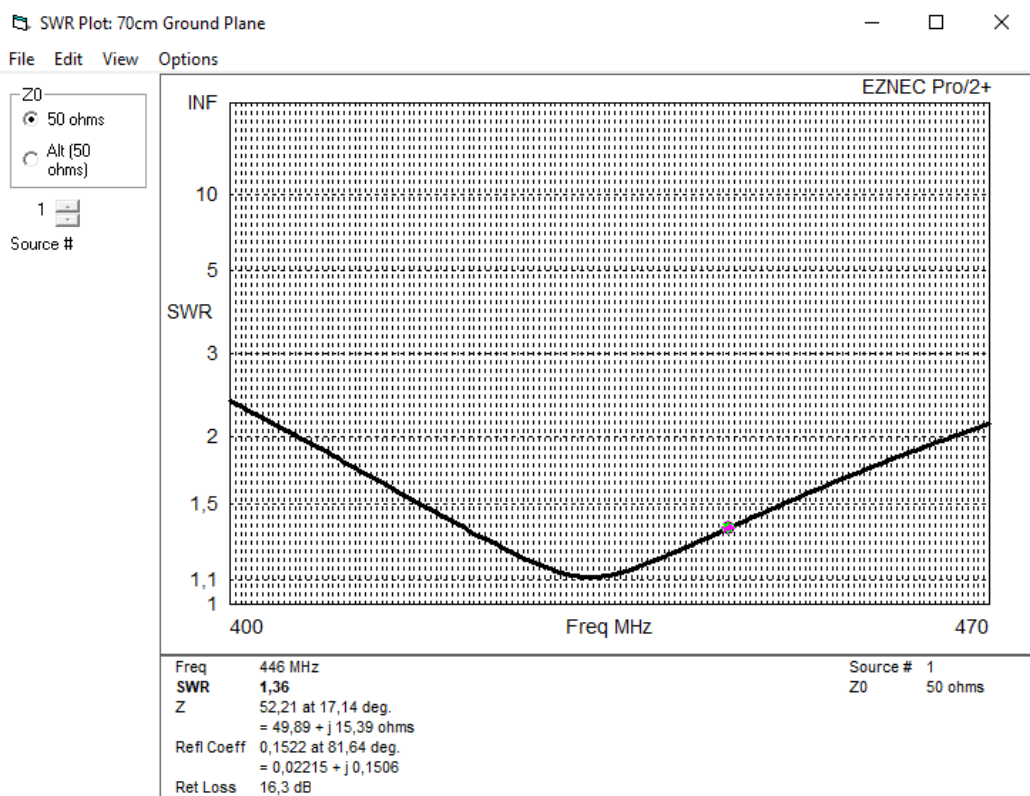


Рисунок 2.11 – SWR 440 MHz = 1.36.

Такі значення КСХ для обраних частот цілком задовольняють потреби нашого проекту. Перейдемо до оцінки діаграми направленості за рисунком 2.12. Розглянемо 3D графік з поперечним перерізом.

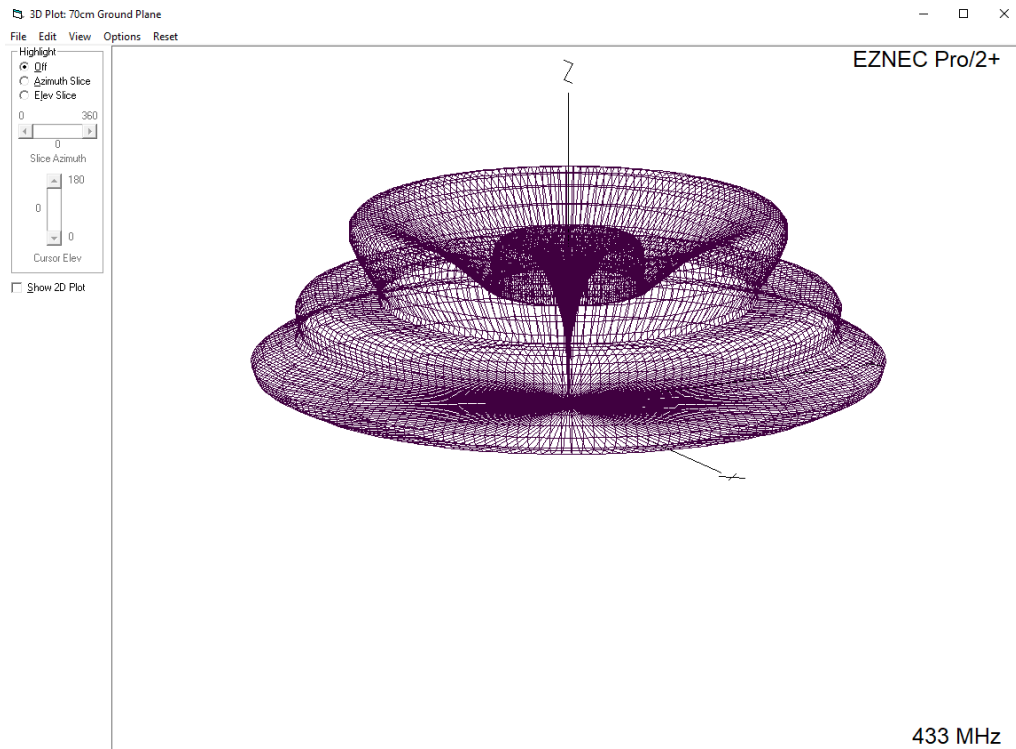


Рисунок 2.12 – 3D діаграма направленості.

Як бачимо, вона вийшла доволі нерівномірною. Через вкладку View оцінимо втрати на певних ділянках 2D діаграми для більш детального аналізу, а саме розглянемо результати для ефективної робочої ділянки 0 град - 45 град відносно горизонту та занотуємо їх в таблицю 2.1:

Таблиця 2.1 – Затухання сигналу.

Кут азимуту (°)	Затухання (дБ)
5-10	0 - 0.5
5-25	0 - 2.46
20	~ 1.5
30	6
40	~1.5

- за рисунком 2.13, найменшими є втрати на ділянках 5-10° над горизонтом, 20° та 40°. Максимальні значення затухання сигналу в цих точках становлять 1.4 дБ;
- на ділянці 5° - 25° затухання коливається в діапазоні 0 - 2.46 дБ;
- для кута 30° зафіксований значний спад, втрати становлять близько 6 дБ. °

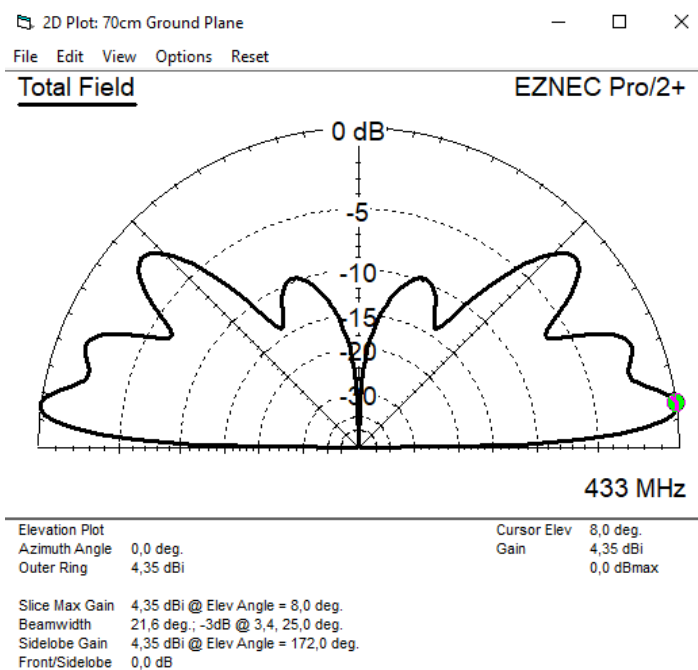


Рисунок 2.13 – 2D діаграма направленості.

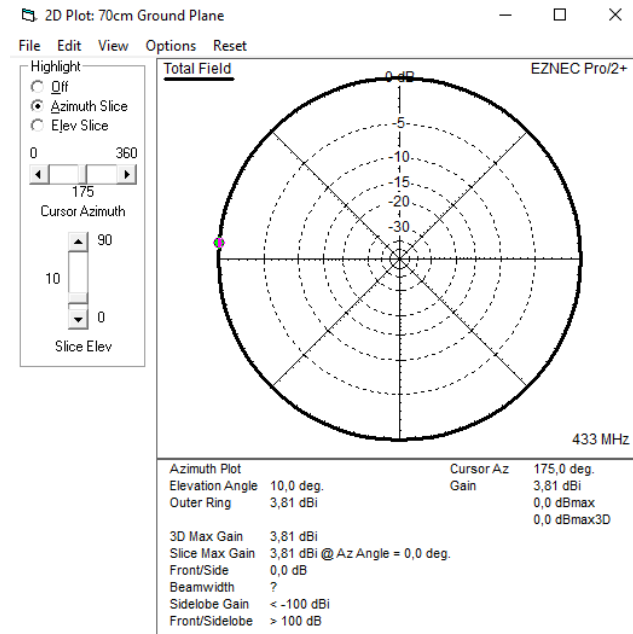


Рисунок 2.14 – Діаграма направленості демонструє рівномірний розподіл сигналу у всіх сторони.

Всі результати вищеописаних розрахунків всередині програми сформовані на основі антени, координати елементів якої відповідають рисунку 2.3. На практиці виготовлення антени включає в себе поступове укорочення елементів орієнтовно до значень, отриманих при комп'ютерному моделюванні.

2.2. Тестування моделі з використанням R&S ZNH-26.

За проведеними раніше розрахунками починаємо побудову реального прототипу. Основою стала трубка з гетинаксу, по центру зроблено отвір для заведення коаксіального кабелю. Трубка фіксується на виносі довжиною 0.5 м. Реальна довжина радіалів та випромінювача – 13 та 18 см відповідно.

При цьому всі елементи антени є з'ємними, що неабияк полегшує її транспортування. Радіали припаяні до клем та фіксуються до опорного диску за допомогою гвинтових з'єднань. Випромінювач в свою чергу накручується на латунну стійку для плат.

Готовий макет зображено на рисунках 2.15, 2.16:

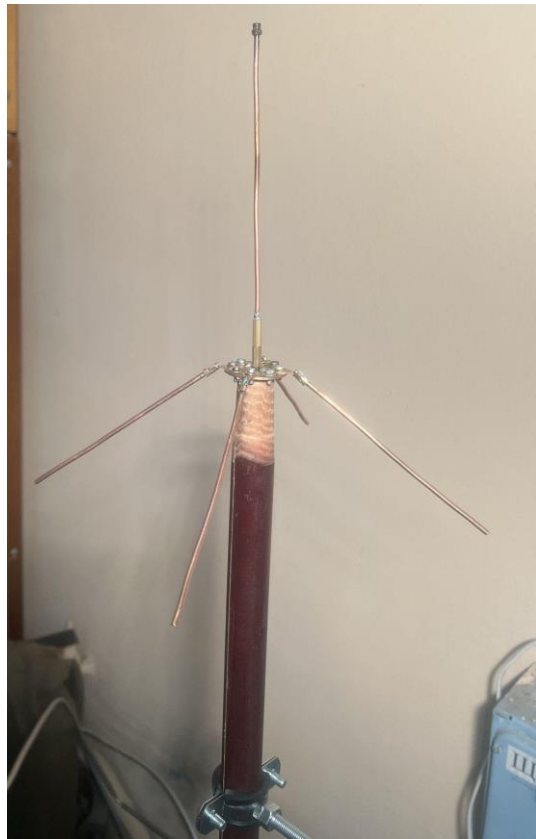


Рисунок 2.15 – Зовнішній вигляд макету.

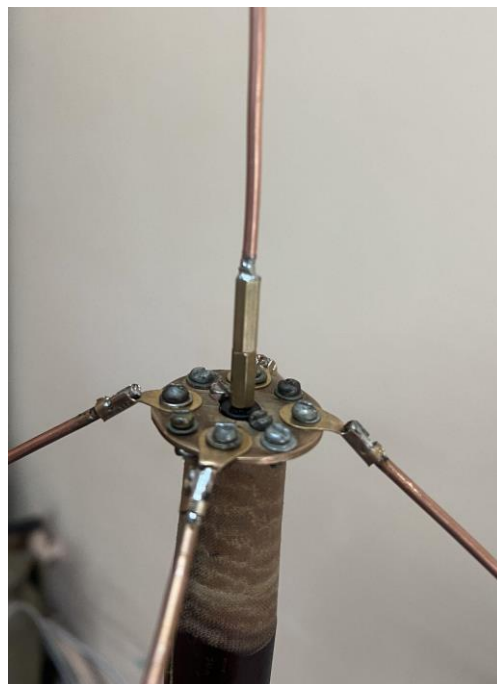


Рисунок 2.16 – Демонстрація кріплення елементів антени.

Перейдемо до аналізу нашої антени на векторному аналізаторі мереж R&S ZNH-26. Встановлено центральну частоту 430 МГц та смугу 300 МГц. Зафіксовано

значення КСХ для мінімумів в рамках діапазону (Рис. 2.17-2.21) та занесено в таблицю 3:

Таблиця 2.2 – Значення КСХ для вибірки частот.

Частота	SWR
373 МГц	1.80
406 МГц	1.47
430 МГц	2.73
442 МГц	1.56
479.5 МГц	2.13

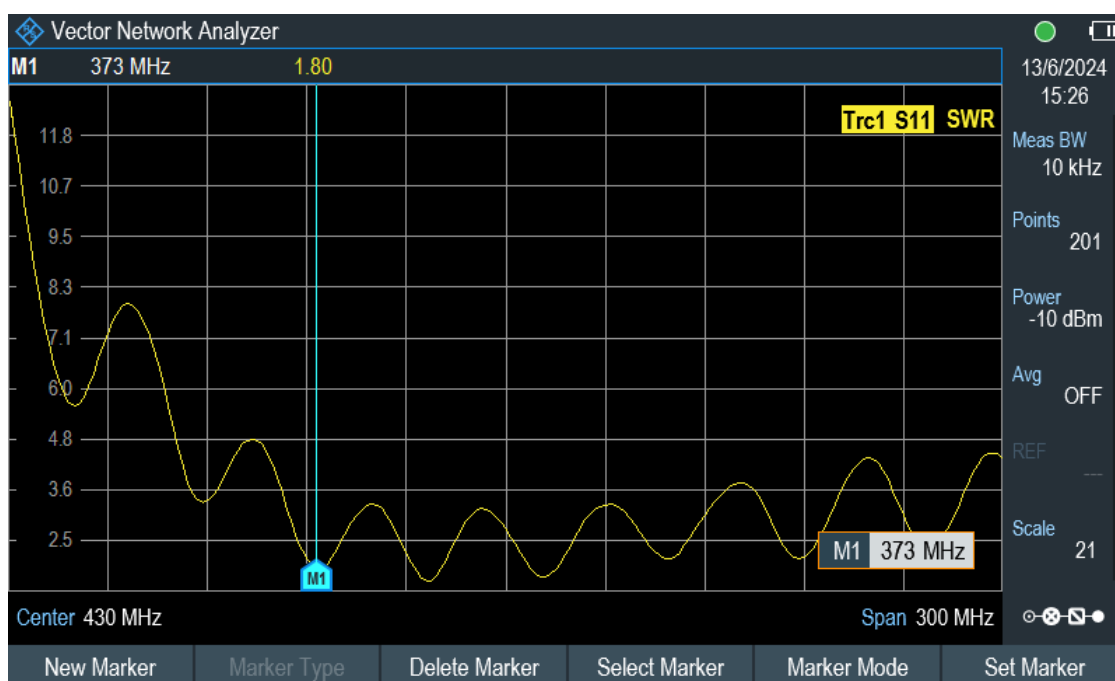


Рис. 2.17. SWR 373 МГц.

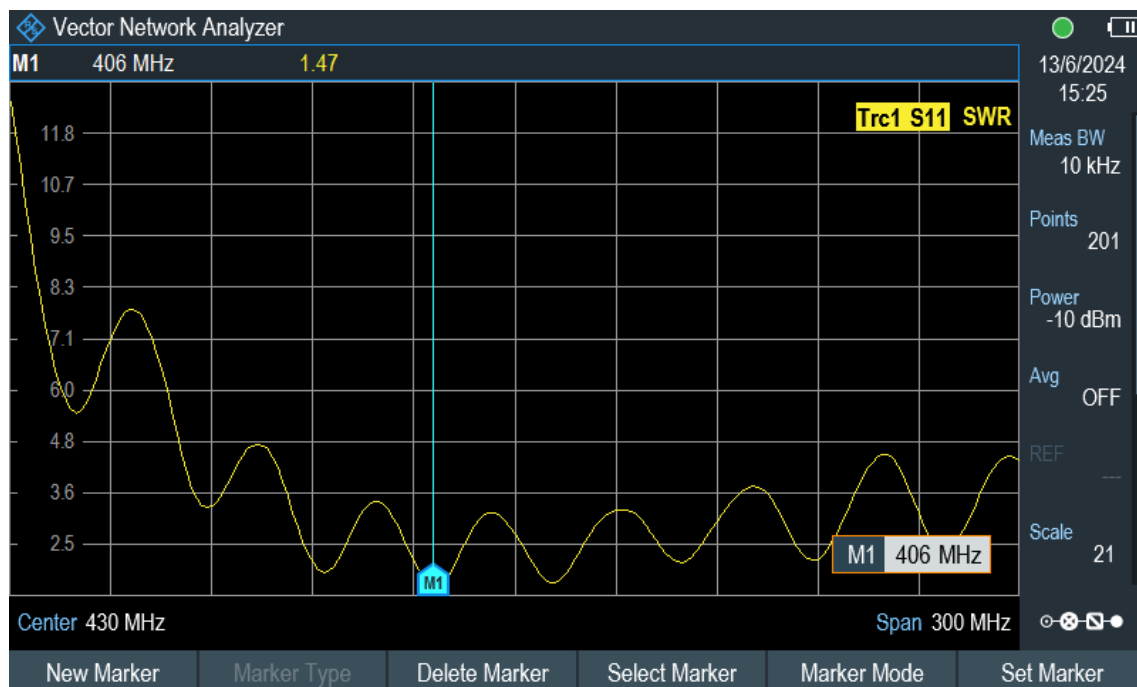


Рис. 2.18. SWR 406 МГц.

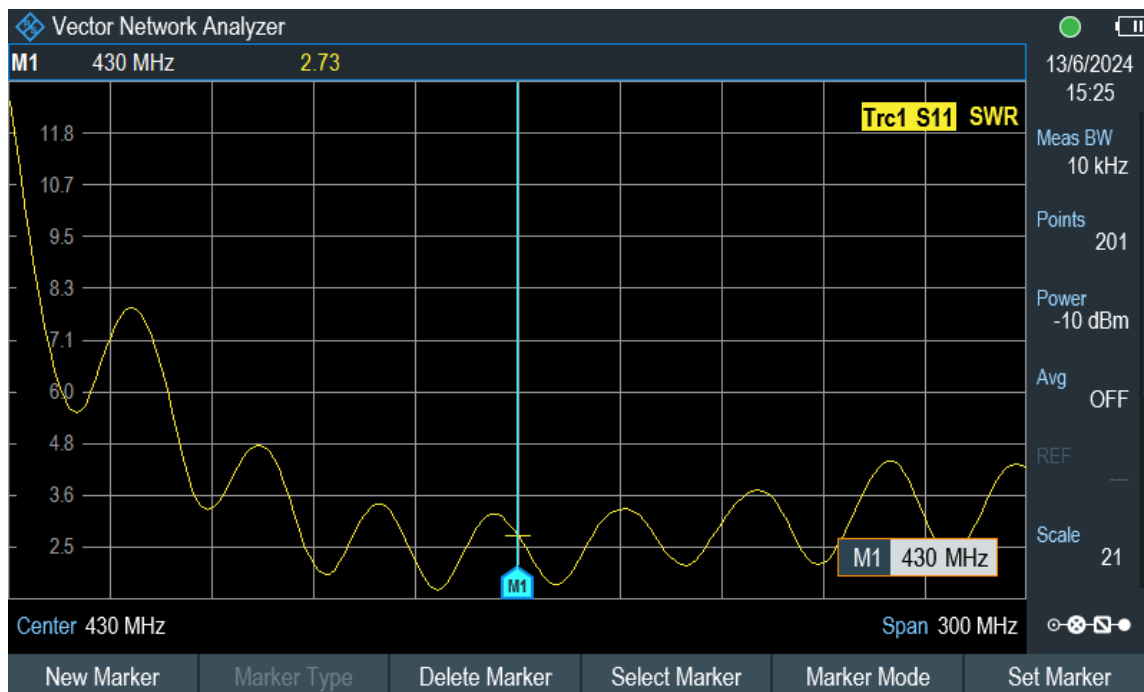


Рис. 2.19. SWR 430 МГц.

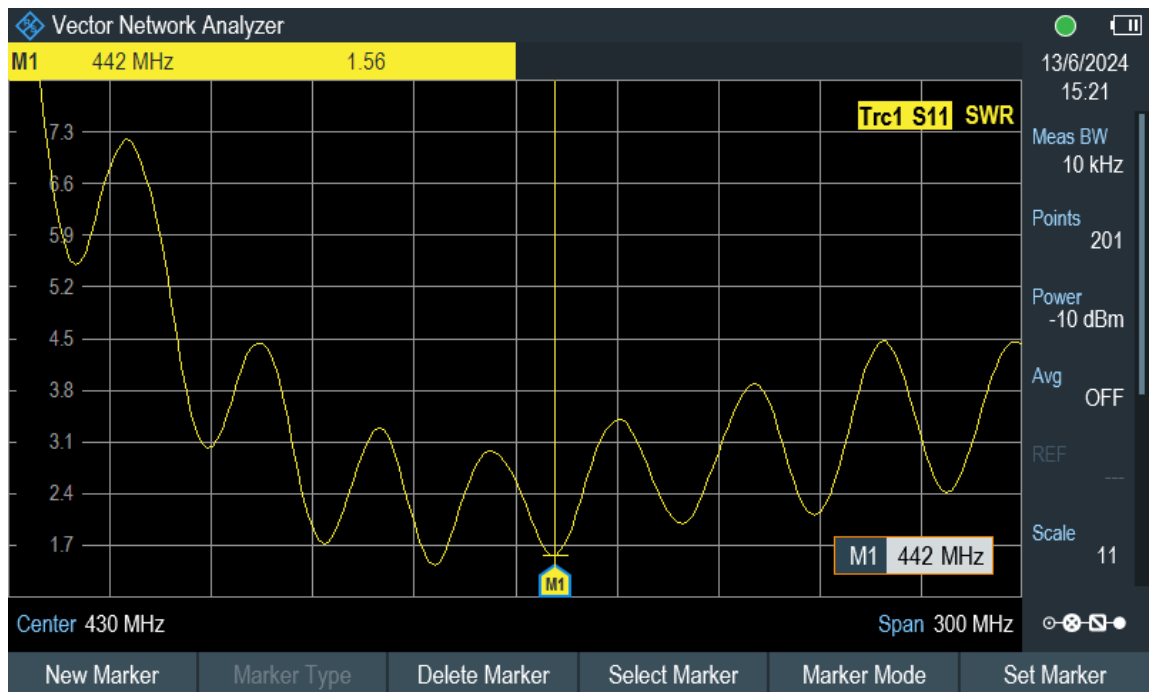


Рис. 2.20. SWR 442 МГц.

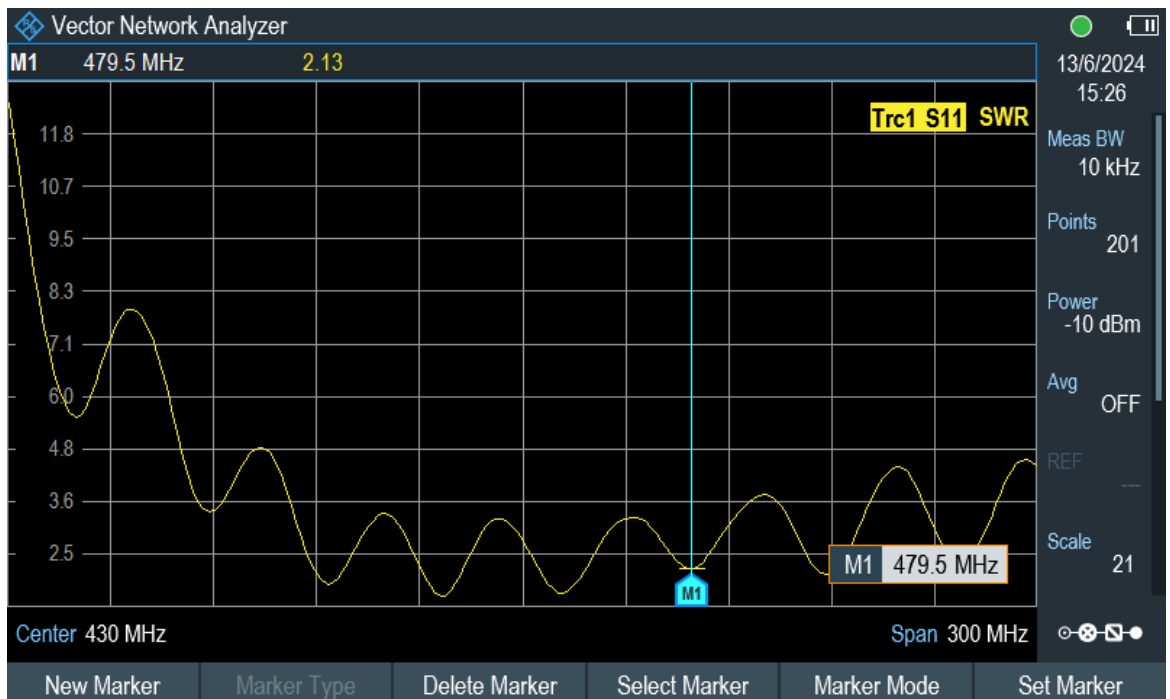


Рис. 2.21. SWR 479.5 МГц.

2.4. Смуговий фільтр сигналу.

Безумовно для такого проекту непогано було б забезпечити високу точність прийому сигналу та мінімальний рівень шумів. Використання смугових фільтрів у

таких випадках дозволяє обмежити вплив небажаних сигналів за межами заданого діапазону частот, що значно покращить якість прийнятого сигналу.

В разі потрапляння на вхід приймача потужних сигналів з інших діапазонів частот очевидним буде виникнення інтермодуляційних завад. Сприймаючи їх як корисний сигнал, приймач може втрачати ефективну чутливість, а за необхідності точного спектрального аналізу продукти такого впливу так само будуть ускладнювати розділення близько розташованих частотних компонентів. Тож доцільно розглянути наявні рішення для цієї задачі.

Для розрахунку схем фільтрації можна застосовувати безкоштовне ПЗ “Elsie”, функціонал якої передбачає проектування ФНЧ, ФВЧ, смугових та режекторних фільтрів. Оцінка результатів забезпечується демонстрацією отриманих параметрів фільтрів на графіках. Завантаження програми доступне за посиланням на джерело [15].

Пришвидшити розрахунки можна скориставшись програмою “Diplexer” з того самого джерела. Тут ми отримаємо значення для LC ланок ФНЧ та ФВЧ, об’єднавши які отримуємо пасивний смуговий фільтр.

Рисунки 2.22 та 2.23 демонструють необхідні нам ланки для фільтра.

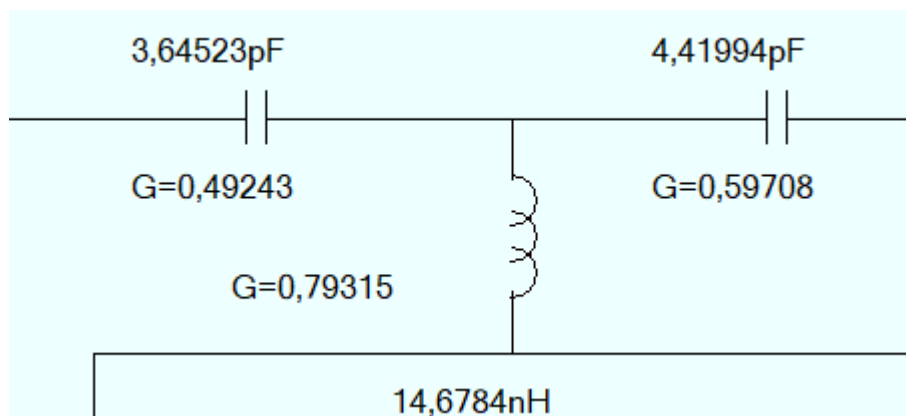


Рисунок 2.22 – Параметри ФВЧ ланки 3 порядку.

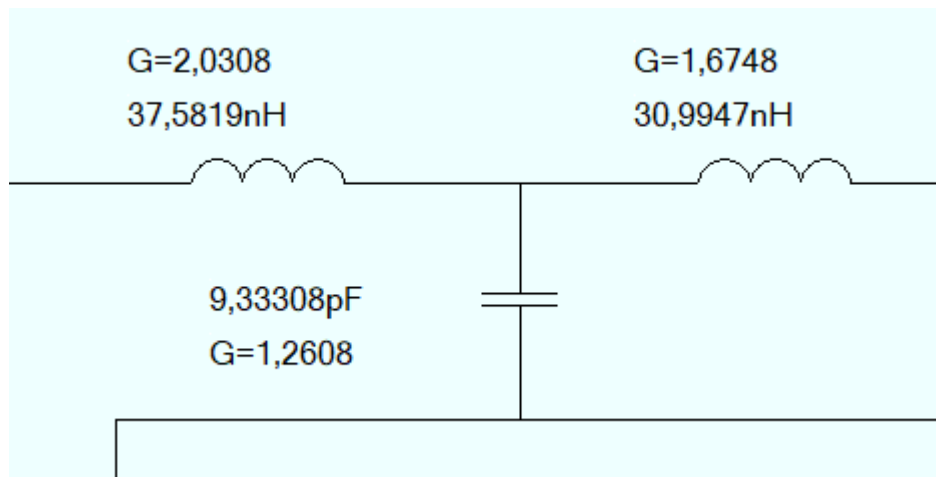


Рисунок 2.23 – Параметри ФНЧ ланки 3 порядку.

За відповідними значеннями зберемо фільтр в середовищі “Elsie. Запускаємо програму, при ініціалізації обираємо варіант “Manual Parts Entry” та значення Input / Output Termination 50 Ом. Потрапляємо у вкладку “Analysis” (рис. 2.24), де слід визначити частоти в межах яких буде проводитись аналіз. Результати оцінимо за рисунком 2.25.



Рисунок 2.24 – Analysis tab.

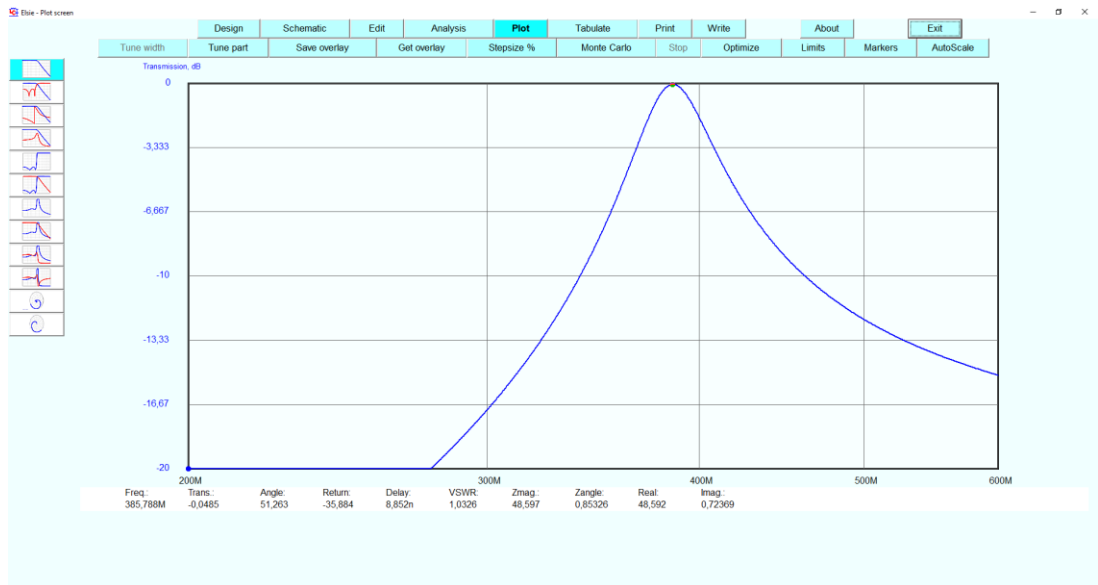


Рисунок 2.25 – Результат симуляції.

Резонансна частота фільтра становить 385 МГц. Почнемо ручне налаштування компонентів схеми, при цьому одразу почнемо використовувати реальні значення ємностей з таблиці 2.3. Налаштування індуктивностей можна проводити за допомогою кнопки “Tune part” з вкладки “Plot”.

Таблиця 2.3 – Значення ємностей для фільтра

	C_1	C_2	C_3
Ємність (пФ)	4	4	9

Схему готового фільтра зображено на рисунку 2.26.

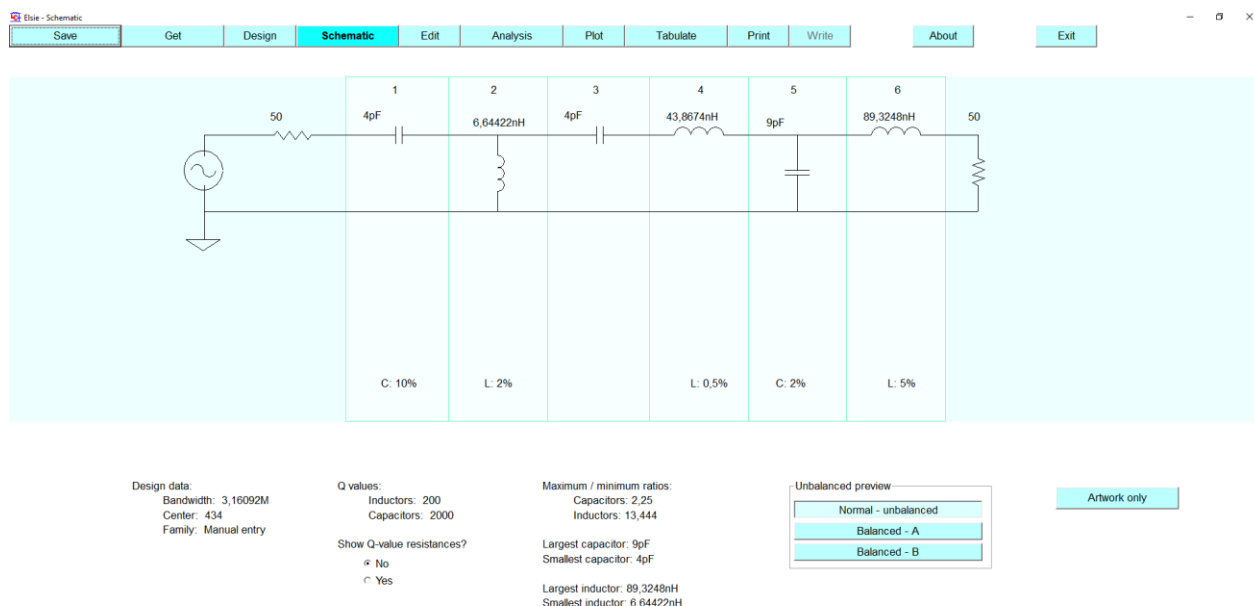


Рисунок 2.26 – Фільтр з відрегульованими значеннями елементів.

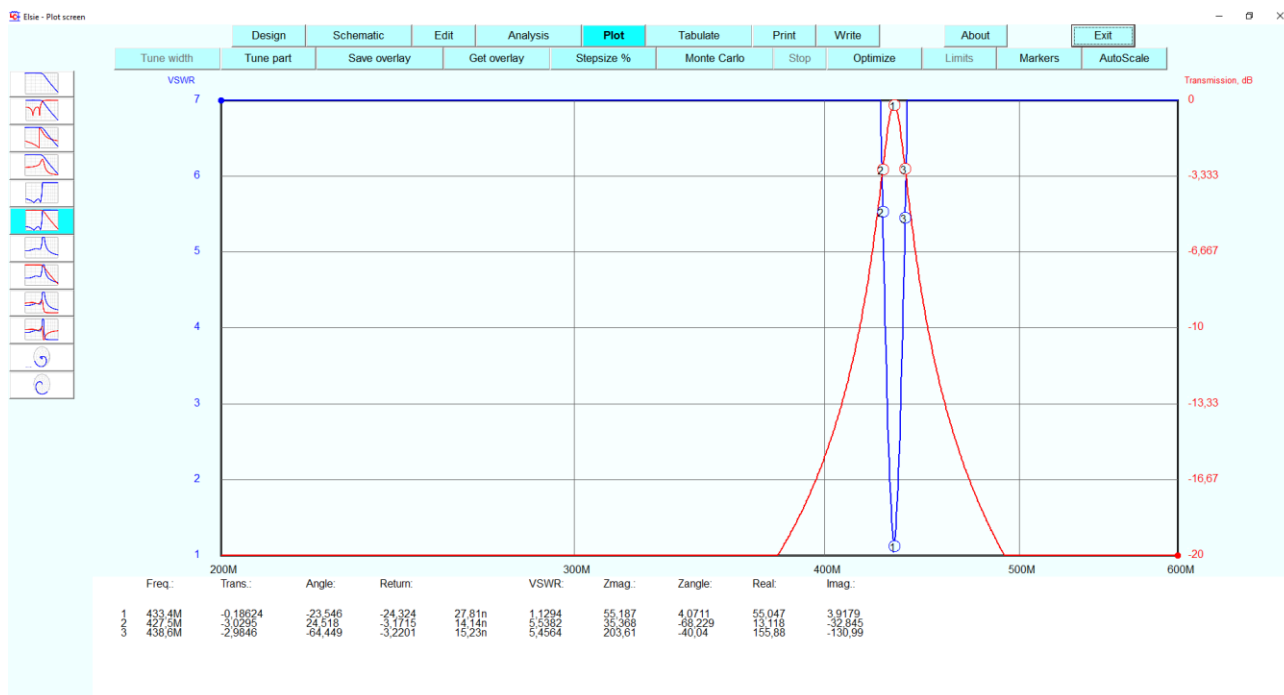


Рисунок 2.27 - Графіки КСХН та затухання.

Смуга пропускання за рисунком 2.27 має наступні характеристики:

$$\square_1 = 427,5 \text{ МГц}$$

$$\square_2 = 438,6 \text{ МГц}$$

$$\Delta\square = 11,1 \text{ МГц}$$

Резонанс спостерігається на частоті 433,4 МГц, КСХН в цій точці становить 1.13.

2.3. Інсталяція та конфігурація ОС Debian v.12.0 “Bookworm”

Загальний опис методу встановлення ОС не є доцільним в рамках розгляду проблематики цієї роботи, проте слід зауважити що було використано образ netinst для 64-bit архітектури. В разі спроби встановлення на 32-bit системи інсталяція може бути ускладнена в окремих випадках через неможливість досягнення дзеркал debian. Мінімальні вимоги до системи не передбачають будь-яких труднощів:

- 2-ядерний процесор
- 2 ГБ оперативної пам'яті
 - конфігурація накопичувача та відео модуля не має значення в контексті даного проекту, оскільки вони не впливають будь-яким чином на результуючі дані.

Тож, застосованого ПК моделі Aspire TC-105 з процесором AMD A8-6500 та 4 ГБ ОЗУ DDR3 буде цілком достатньо для дотримання всіх вимог.

Для проектів більшого масштабу доцільніше буде використовувати комп'ютери з процесором не нижче Core i5, 8 Гб оперативної пам'яті та швидкісним LAN інтернетом.

Перед початком процесу оновлення системи та завантаження плагінів треба впевнитись в правильній конфігурації мережевих налаштувань, та надати своєму користувачу права sudo, для подальшого виконання команд.

Якщо принциповим є зменшення впливу інтерференції, підключити донгл до комп'ютера слід через якісний USB-подовжувач та тримати його якомога далі від будь-яких джерел електричних шумів.

Надалі ми будемо використовувати термінал для оновлення системи, з метою забезпечення сумісності з донглом. Нижче наведений перелік команд з коментарями:

Спочатку оновимо дистрибутив та встановимо базові інструменти:

```
sudo apt-get update && sudo apt-get upgrade -y
sudo apt-get install git
sudo apt-get install cmake
sudo apt-get install build-essential
sudo apt-get install libusb-1.0-0-dev
```

Драйвери для RTL2832U завантажуються з github джерела:

```
git clone git://git.osmocom.org/rtl-sdr.git
cd rtl-sdr/
mkdir build
cd build
cmake ../ -DINSTALL_UDEV_RULES=ON
make
sudo make install
sudo ldconfig
sudo cp ../rtl-sdr.rules /etc/udev/rules.d/
cd /etc/modprobe.d
nano blacklist dvd_usb_rtl28xxu
```

Якщо завантаження за посиланням не виконується - слід знайти існуючі в кількох екземплярах драйвери з дзеркал.

Після перезапуску робочої станції донгл має працювати - у відповідь на `rtl_test -s 2200000` отримуємо інформацію від системи, як показано на рис. 2.28.

```

rtres@WebSDR-RTRES:~$ rtl_test -s 2200000
Found 1 device(s):
  0: Realtek, RTL2838UHIDIR, SN: 00000001

Using device 0: Generic RTL2832U OEM
Found Rafael Micro R820T tuner
Supported gain values (29): 0.0 0.9 1.4 2.7 3.7 7.7 8.7 12.5 14.4 15.7 16.6 19.7
 20.7 22.9 25.4 28.0 29.7 32.8 33.8 36.4 37.2 38.6 40.2 42.1 43.4 43.9 44.5 48.0
 49.6
Exact sample rate is: 2200000.014570 Hz
[R82XX] PLL not locked!
Sampling at 2200000 S/s.

Info: This tool will continuously read from the device, and report if
samples get lost. If you observe no further output, everything is fine.

Reading samples in async mode...

```

Рисунок 2.28 – Термінал демонструє нормально роботу донгла.

Завантаження GQRX дещо простіше:

```

sudo apt install gqr-x-sdr
sudo apt-get install libvolk2-bit
gqr-x

```

В робочому полі програми обираємо RTL2832U в якості пристроя прийому, з рисунку 2.29 бачимо що прийом сигналів радіостанцій дійсно відбувається.

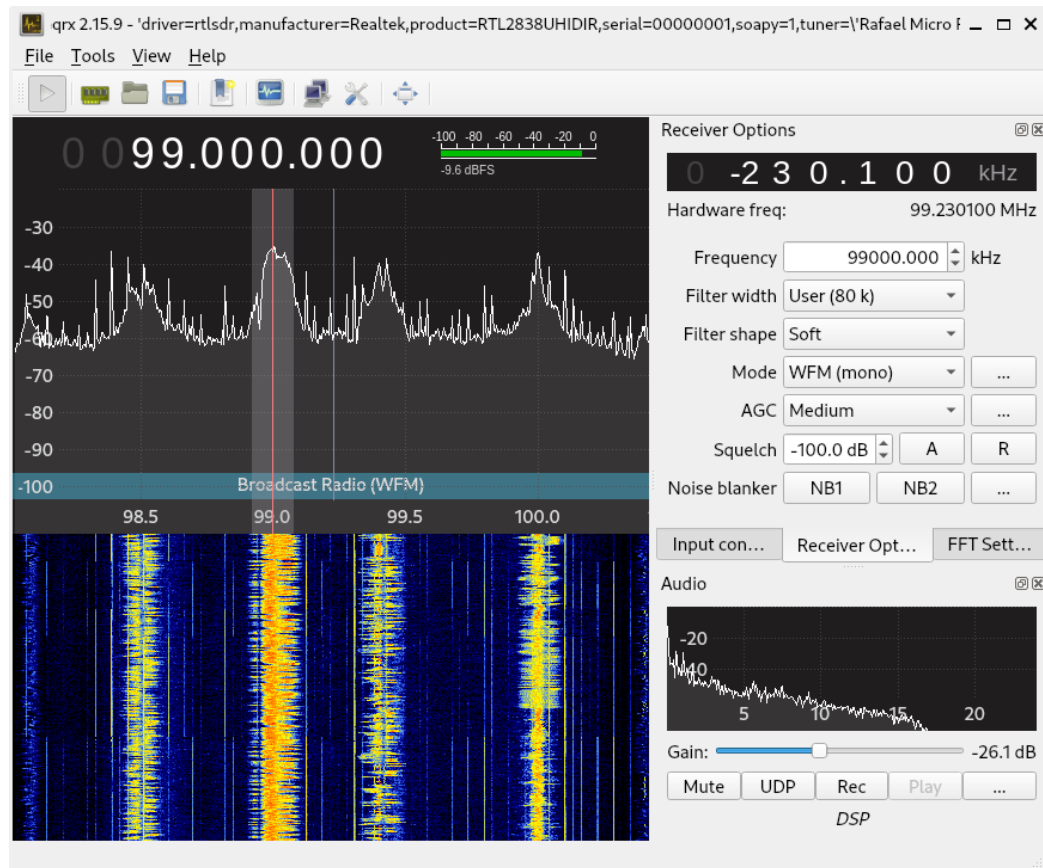


Рис. 2.29 – Gqrx GUI, наглядний прийом FM-сигналів.

2.3. Запуск WebSDR сервера

Дистрибутив сервера отримується лише за особистим запитом до Peter RA3FWM, власника сайту websdr.org.

Для коректної роботи сервера завантажимо необхідні для роботи бібліотеки через термінал:

```
sudo dpkg --configure -a
sudo apt-get install libx11-xcb1 libxss1 libasound2 libxkbfile1
sudo apt-get install libfftw3-dev libfftw3-3 libpng-dev
sudo apt-get install libasound2 libasound2-dev
sudo apt-get install -f libpng12-0
wget
http://snapshot.debian.org/archive/debian/20190501T215844Z/pool/main
/g/glibc/multiarch-support_2.28-10_amd64.deb
sudo dpkg -i multiarch-support*.deb
```

```
wget
http://snapshot.debian.org/archive/debian/20170705T160707Z/pool/main
/o/openssl/libssl1.0.0_1.0.2l-1%7Ebpo8%2B1_amd64.deb
sudo dpkg -i libssl1.0.0*.deb
```

Слід зауважити, що при запуску сервер буде вимагати саме libpng12.

Дистрибутив сервера включає в себе 3 папки: cfg, dist, pub. CFG містить файли конфігурації сервера, PUB - публічні файли, DIST - службові файли сервера та файли, що компілюються.

Надалі редагуємо файл websdr.cfg.

```
maxusers 5
tcpport 8901
dotrustlocalhost
noorgserver
#start frequency
initial 433100.00 fm
#BAND UHF
band 433MHz
device !rtlsdr 192.168.0.17:1234
samplerate 1024000
centerfreq 433100
Ground Plane
gain -10
extrazoom 1
fftplaneffort 2
allowwide
waterfallformat 9
audioformat 2
```

До файлу stationinfo вносимо список маркерів для швидкого перемикання за власними потребами чи вподобаннями, наприклад:

```
433075.00fm LPD 1
```

Ініціалізуємо термінал для папки dist та вводимо наступне:

```
sudo rtl_tcp -a 192.168.0.17 -p 1234 -d0
```



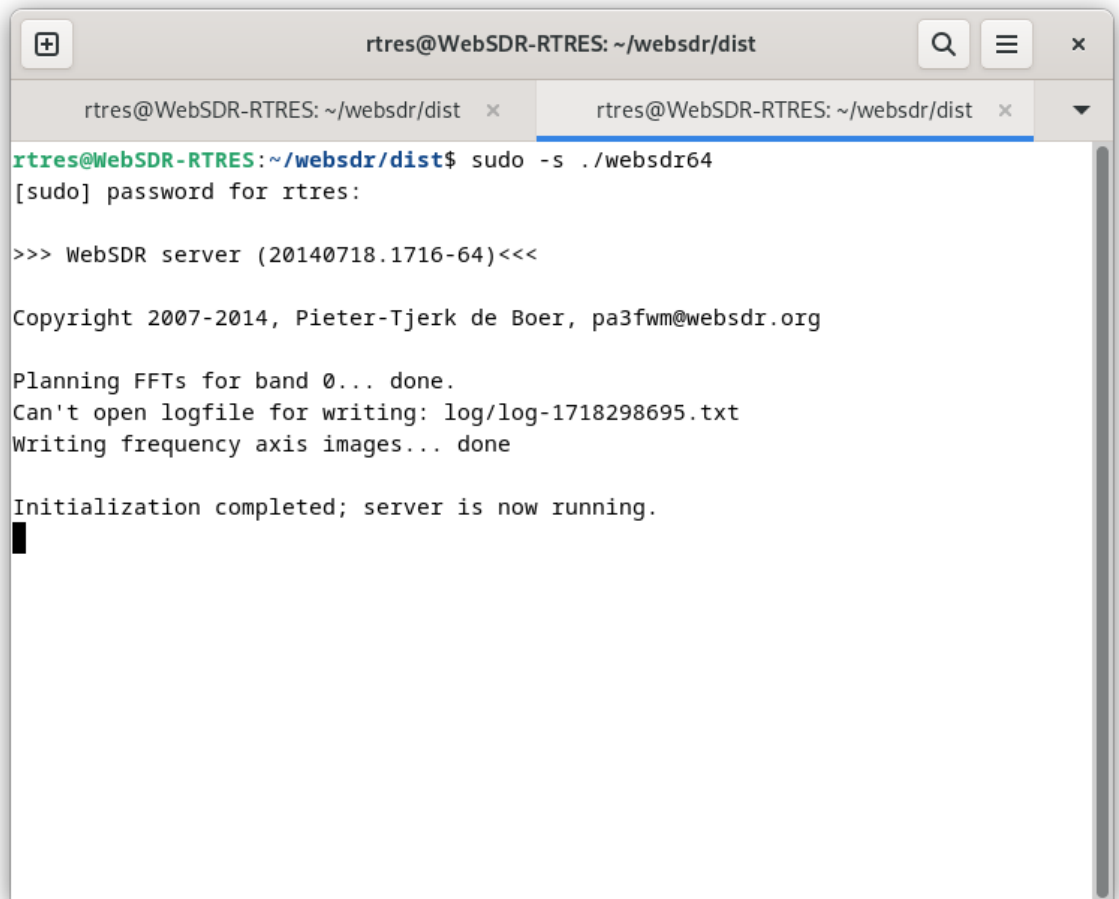
```
rtres@WebSDR-RTRES: ~/websdr/dist
rtres@WebSDR-RTRES:~/websdr/dist$ sudo rtl_tcp -a 192.168.0.17 -p 1234 -d0
[sudo] password for rtres:
Found 1 device(s):
  0: Realtek, RTL2838UHIDIR, SN: 00000001

Using device 0: Generic RTL2832U OEM
Found Rafael Micro R820T tuner
[R82XX] PLL not locked!
Tuned to 100000000 Hz.
listening...
Use the device argument 'rtl_tcp=192.168.0.17:1234' in OsmoSDR (gr-osmosdr) source
to receive samples in GRC and control rtl_tcp parameters (frequency, gain, ...).
```

Рис. 2.30 – Успішно ініціалізовано прослуховування rtl-sdr донгла.

Створюємо нове вікно терміналу для цієї самої папки та запускаємо сервер.

```
sudo -s chmod 777 websdr64
./websdr64
```



```
rtres@WebSDR-RTRES: ~/websdr/dist
rtres@WebSDR-RTRES: ~/websdr/dist x  rtres@WebSDR-RTRES: ~/websdr/dist x
rtres@WebSDR-RTRES:~/websdr/dist$ sudo -s ./websdr64
[sudo] password for rtres:

>>> WebSDR server (20140718.1716-64)<<<

Copyright 2007-2014, Pieter-Tjerk de Boer, pa3fwm@websdr.org

Planning FFTs for band 0... done.
Can't open logfile for writing: log/log-1718298695.txt
Writing frequency axis images... done

Initialization completed; server is now running.
█
```

Рис. 2.31 – Успішна ініціалізація сервера.

Сервер успішно запущено (Рис. 2.30, 2.31). На даному етапі перевірити працездатність серверної машини можна з будь-якої кінцевої станції, що підключена до локальної мережі (Рис. 2.32, 2.33).

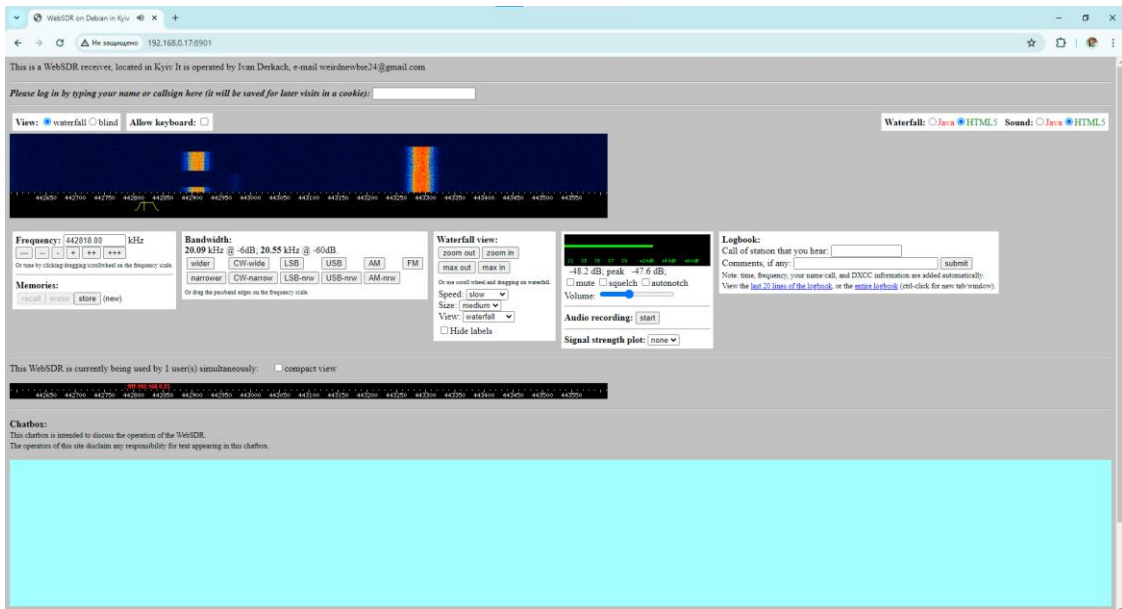


Рисунок 2.32 – Сервер досягнуто за адресою та портом який ми конфігурували раніше.

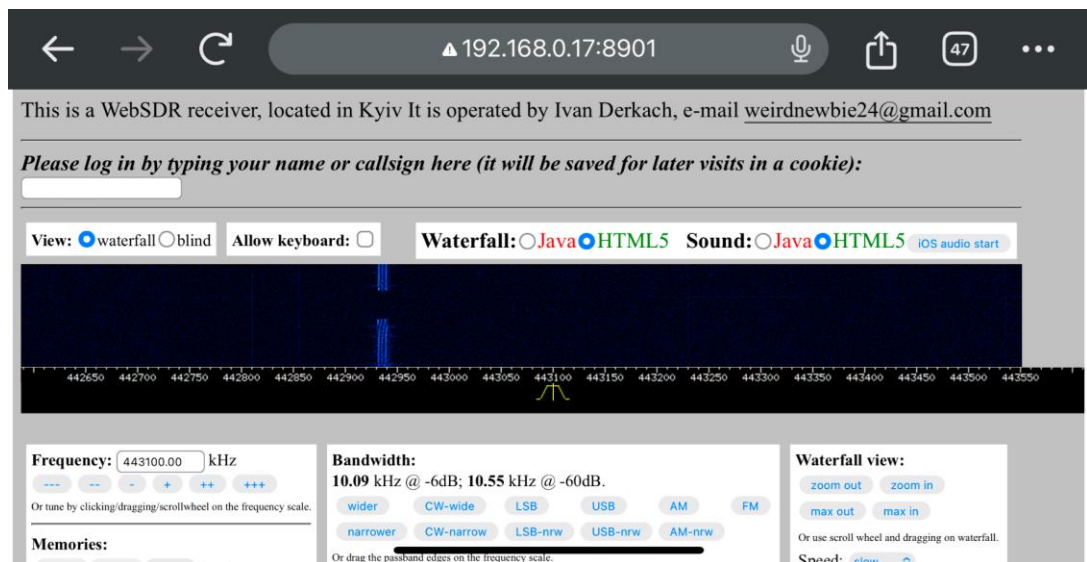


Рисунок 2.33 – Також встановлено доступ з мобільного пристрою, підключеного до локальної мережі.

Зовнішній вигляд серверу, його складові та елементи управління можна редагувати за власним впоодобанням. Дистрибутив сервера - невелике ядро на Java. Все інше являє собою звичні HTML та JavaScript файли які можна легко редагувати.

ВИСНОВКИ

В ході виконання проекту було виконано комплекс досліджень та розробок, спрямованих на створення та налаштування ефективної системи для прийому та аналізу радіосигналів у UHF діапазоні. Хоча наразі існує значна кількість ресурсів з окремих аспектів функціонування SDR систем, комплексні керівництва для реалізації повноцінних систем є обмеженими, особливо в україномовному сегменті. Це підтверджує важливість та своєчасність проведеного дослідження. Розробка WebSDR систем нині є актуальною в умовах сучасного світу, де програмно-визначене радіо (SDR) стає все більш популярним завдяки своїй широкій функціональності. Використання ширококутового приймача R820T2 дозволяє реалізувати високоефективну систему прийому радіосигналів, яка може бути використана як радіоаматорами, так і в професійних цілях, включаючи військові та наукові дослідження.

Розглянута нами система KrakenSDR є потужним і універсальним інструментом, який відкриває безліч можливостей для використання у різних сферах. Його функціональність робить його незамінним інструментом для фахівців у різних галузях. Саме напрям реалізації таких систем, як KrakenSDR, демонструє стрімкий розвиток радіотехнологій і підвищення ефективності існуючих систем, що надійно і точно працюють у найскладніших радіочастотних умовах.

Було проведено моделювання антени типу Ground Plane за допомогою програмного забезпечення EZNEC Pro+ v.7.0. За 2D діаграмою направленості оцінено затухання сигналу в різних точках робочої області антени, на основі результатів побудовано таблицю 2.1. Отримані результати моделювання були застосовані для проектування реального прототипу з доступних матеріалів та підтвердили ефективність обраної конструкції антени для реальної роботи в 70-см діапазоні. Тестування системи проводилось з використанням сучасного векторного аналізатора мереж Rohde & Schwarz ZNH-26, який підтвердив високі технічні характеристики розробленої системи. Виміряні значення приведені в таблиці 2.2.

Для забезпечення високої якості прийому сигналів було розроблено смуговий фільтр, який дозволяє зменшити вплив небажаних сигналів з інших діапазонів частот. Розрахунки параметрів фільтра були проведені за допомогою програмного забезпечення Diplexer та Elsie. Змодельований фільтр демонструє високу ефективність у забезпеченні селективності та зниженні рівня шумів. Ширина смуги пропускання становить $\Delta f = 11,1$ МГц, КСХН в резонансі 433,4 МГц рівний 1.13, що є надзвичайно задовільним результатом у разі практичної реалізації такої схеми.

Операційна система Debian v.12.0 була обрана для реалізації WebSDR сервера завдяки своїй стабільності та широким можливостям для налаштування. Було проведено інсталяцію необхідного програмного забезпечення та драйверів для роботи з RTL-SDR приймачем. Процес налаштування включав також встановлення програмного забезпечення для обробки сигналів та роботи з донглом – Gqrx. Сервер забезпечує стабільний доступ до радіосигналів через інтернет, що дозволяє користувачам з різних куточків світу здійснювати моніторинг спектру в режимі реального часу.

Подальше модифікування такої системи передбачатиме впровадження додаткових WebSDR приймачів для одночасної роботи в декількох діапазонах частот, оптимізацію програмного забезпечення та апаратної частини системи для покращення якості прийому сигналів та зниження рівня завад. Результати роботи можуть бути використані як базис для подальших досліджень та вдосконалення систем на основі SDR технологій.

Автор висловлює щирю подяку Інституту високих технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка та Незалежній науково-дослідній лабораторії «200k Electronics» за надане експериментальне обладнання та матеріали, котрі були використані при виконанні даної роботи.

200K
ELECTRONICS



ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. World of Receivers and Transmitters. URL: <https://rx-tx.info/map-sdr-points>. (дата звернення 23.03.2024)
2. What is Software Defined Radio (SDR)? | VIAVI Solutions Inc.
URL: <https://www.viavisolutions.com/en-us/what-software-defined-radio-sdr> (дата звернення 04.05.2024)
3. Slow Return of KiwiSDR & WebSDR in Ukraine | By Philip Collier | Medium. URL: medium.com/@philipcollier/slow-return-of-kiwisdr-websdr-in-ukraine-fc9065ebdb94. (дата звернення 02.05.2024)
4. Financial Times Story About Ukraine Radio Monitoring with WebSDRs. URL: <https://www.rtl-sdr.com/financial-times-story-about-ukraine-radio-monitoring-with-websdrs/> . (дата звернення 12.05.2024)
5. Ukraine Uses Off-The-Shelf Electronics to Target Russian Communications – Forbes. URL: www.forbes.com/sites/davidhambling/2022/11/03/ukraine-uses-off-the-shelf-electronics-to-target-russian-communications/?sh=6c7a5a615fc8. (дата звернення 12.05.2024)
6. Realtek RTL 2832U Datasheet 1.4.
URL: https://homepages.uni-regensburg.de/~erc24492/SDR/Data_rtl2832u.pdf. (дата звернення 28.04.2024)
7. Travis F. Collins, Robert Getz, Di Pu, Alexander M. Wyglinski. Software-Defined Radio for Engineers. Artech House, 2018. 378 p.
8. Joseph J. Carr, George Hippisley. Practical Antenna Handbook 5/e, 5th Edition. McGraw-Hill Education, 2012. 784 p.
9. Burkhard Kainka. SDR Hands-on Book. Elektor, 2019. 134 p.
10. RTL-SDR.com. URL: [rtl-sdr.com](https://www.rtl-sdr.com) (дата звернення 17.05.2024).
11. Kenn Ranous KA0SBL. RTL-SDR for Linux Quick-Start Guide, Third Edition. 2020. 11 p.
12. RTL-SDR Blog V3 Datasheet.

- URL: www.rtl-sdr.com/wp-content/uploads/2018/02/RTL-SDR-Blog-V3-Datasheet.pdf.
(дата звернення 19.04.2024)
13. Gqrx SDR – Open source software defined radio by Alexandru Csete OZ9AEC. URL: gqrx.dk. (дата звернення 17.05.2024)
14. Understanding the 5/8 wave antenna – Practical Antennas. URL: <https://practicalantennas.com/designs/verticals/5eights/>. (дата звернення 16.05.2024)
15. Tonne Software Homepage. URL: <https://tonnesoftware.com/index.html>. (дата звернення 12.04.2024)
16. Всеукраїнська аматорська ліга. URL: vrl.org.ua. (дата звернення 25.04.2024)
17. EZNEC Pro+ v. 7.0 Printable Manual.
URL: <https://www.eznec.com/ez70manual.html>. (дата звернення 29.04.2024)
18. Greg Ordy, W8WWV. How to Start Modeling Antennas using EZNEC. Contest University Dayton, May 19, 2011. 106p.
19. М.М. Нікіфоров, І.В. Пампуха, С.В. Бурий, В.В. Пусан. Аналіз сучасних автоматизованих систем моніторингу радіо простору на базі SDR технології для ведення завдань радіоелектронної розвідки. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. Березень 2018. URL: <https://miljournals.knu.ua/index.php/zbirnuk/article/view/220>.
(дата звернення 20.04.2024)
20. R&S®ZNH Full Two-Port Handheld Vector Network Analyzer. Product Brochure Version 05.00. Rohde & Schwarz. 20p.
21. David M. Pozar. Microwave Engineering, 4th Edition. University of Massachusetts at Amherst, 2012. 756 p.
22. Kraken SDR | Crowd Supply.
URL: <https://www.crowdsupply.com/krakenrf/krakensdr> (дата звернення 04.05.2024)