

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інформаційних електронних систем

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

РАДІОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ВИЯВЛЕННЯ РАДІОЧАСТОТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ТА АНАЛІЗУ ЇХ ХАРАКТЕРИСТИК

Виконав: студент 4-го курсу, групи ТКР-216
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка ОП- Радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

РВВ-

Рулько В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., зав. каф. ІРТС

Осадчук О.В.

Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

«10» 06 2025 р.

Рецензент: д.т.н., доц., проф., каф. ІКСТ

Михалевський Д.В.

Михалевський Д.В.

(прізвище та ініціали)

«11» 06 2025 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

«12» 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ - 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Інформаційних електронних систем
Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 17 Електроніка та телекомунікації
Спеціальність – 172 – Телекомунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма – Радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ІРТС
д.т.н., проф. Осадчук О.В.

22.03. 2025 року

З А В Д А Н Н Я **НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Рульку Василю Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **Радіоелектронний пристрій виявлення радіочастотних випромінювань та аналізу їх характеристик**

керівник роботи д.т.н., проф. каф. ІРТС Осадчук О.В.

затверджені наказом вищого навчального закладу від “20” 03. 2025 року № 97

2. Строк подання студентом роботи 10 06 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: діапазон робочих частот 300...2600 МГц; забезпечити можливість вибору ділянок сканування в межах робочого діапазону; чутливість -100...-105 dBm для видів модуляції FSK і -115...-120 dBm для LoRa; забезпечити можливість зміни робочої конфігурації за допомогою вбудованих органів керування.

4. Зміст текстової частини: Вступ, основні теоретичні відомості про методи виявлення і аналізу електромагнітних випромінювань, загальні відомості про радіоелектронні пристрої виявлення і аналізу електромагнітних випромінювань, розробка концепції проєктованого пристрою, розробка структурної і принципової схем, розробка проєкту вбудованого програмного забезпечення, налагодження пристрою, результати випробувань, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях, висновки, список використаних джерел, додатки

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Функціональна схема пристрою. Принципова схема пристрою. 3D-вигляд друкованої плати (сторона «Тор»). 3D-вигляд друкованої плати (сторона «Bottom») Зовнішній вигляд пристрою в зборі. Індикація в робочому режимі та головний екран меню. Інтерфейс налаштування пристрою. Результати роботи пристрою в реальних умовах,

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	д.т.н., проф. каф. ІРТС. Осадчук .О.В.		
Охорона праці	професор кафедри БЖДПБ, доцент, д.п.н., Дембіцька С.В.		

7. Дата видачі завдання 25.03.2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження теми БКР	14.02.2025-28.02.2025	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	01.03.2025-19.03.2025	
3.	Затвердження теми. Розробка завдання на БКР.	20.03.2025-25.03.2025	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	26.03.2025-06.05.2025	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	07.05.2025-18.05.2025	
6.	Розробка графічної частини БКР	19.05.2025-22.05.2025	
7.	Охорона праці (ОП)	23.05.2025-25.05.2025	
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини.	26.05.2025-05.06.2025	
9.	Нормоконтроль	07.06.2025-10.06.2025	
10.	Попередній захист БКР, доопрацювання, рецензування БКР	11.06.2025- 12 06.2025	
11.	Захист БКР ЕК	13.06.2025-17.06.2025	

Студент



(підпис)

Рулько В.В.

Керівник роботи



(підпис)

Осадчук О.В

АНОТАЦІЯ

УДК 621.383.9

Рулько В. В. Радіоелектронний пристрій виявлення радіочастотних випромінювань та аналізу їх характеристик. Бакалаврська кваліфікаційна робота зі спеціальності 172 - Телекомунікації та радіотехніка, освітня програма – Радіотехніка. Вінниця: ВНТУ, 2025. 80 с.

Українською мовою. Рисунків 30, таблиць 7, бібліографій 56.

Метою даної бакалаврської кваліфікаційної роботи є розробка радіоелектронного пристрою для виявлення електромагнітних сигналів радіочастотного спектру і аналізу їх параметрів. В даній роботі розглянуто призначення, принцип дії пристрою, а також зроблений огляд сучасних досягнень. Розроблено структурну і принципову схеми пристрою, проект вбудованого програмного забезпечення.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі виконано оцінку основних технічних параметрів. Отримано результати вимірювання основних технічних параметрів пристрою, виконано порівняння з пристроями аналогічного призначення кількох виробників.

Також у бакалаврській кваліфікаційній роботі проведено розрахунки розділу безпеки життєдіяльності.

Ключові слова: електромагнітне випромінювання, діапазон частот, спектр, вид модуляції, чутливість, вибіркковість, динамічний діапазон.

ABSTRACT

Rulko V.V. Radioelectronic device for detecting radiofrequency radiation and analyzing their characteristics. Bachelor's thesis in specialty 172 - Telecommunications and radio engineering, educational program - Radio engineering. Vinnytsia: VNTU, 2025. 80p.

In Ukrainian. Figures 30, tables 7, bibliographies 56.

The purpose of this bachelor's qualification work is to develop a radioelectronic device for detecting electromagnetic signals of the radiofrequency spectrum and analyzing their parameters. This work considers the purpose, principle of operation of the device, and also reviews modern achievements. A structural and schematic diagram of the device, a project of embedded software has been developed.

In the bachelor's qualification work, an assessment of the main technical parameters has been performed. The results of measuring the main technical parameters of the device have been obtained, and a comparison has been made with devices of similar purpose from several manufacturers.

Also, in the bachelor's qualification work, calculations of the life safety section were carried out.

Keywords: electromagnetic radiation, frequency range, spectrum, type of modulation, sensitivity, selectivity, dynamic range.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	9
1.1 Фізична сутність електромагнітних сигналів	10
1.2 Основні характеристики електромагнітних сигналів	11
2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ	12
2.1 Джерела електромагнітних випромінювань	12
2.2 Будова та принцип дії обладнання для виявлення і аналізу параметрів електромагнітних сигналів	12
2.3 Варіанти обладнання для виявлення і аналізу параметрів електромагнітних сигналів	13
2.4 Антени і додаткове обладнання	22
2.5 Програмні засоби аналізу електромагнітних сигналів	25
3 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ВИЯВЛЕННЯ І АНАЛІЗУ РАДІОЧАСТОТНИХ СИГНАЛІВ	28
3.1 Постановка технічного завдання	28
3.2 Вибір засобів розробки апаратного забезпечення	30
3.3 Розробка схемотехніки	32
3.4 Розробка друкованої плати	43
3.5 Розробка вбудованого програмного забезпечення	44
3.6 Монтаж прототипу пристрою	50
3.7 Налагодження прототипу пристрою	51
3.8 Випробування в реальних умовах експлуатації	52
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	53
4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи	54
4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	57
4.3 Пожежна безпека	62
ВИСНОВКИ	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративний матеріал.....	73
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки бакалаврської кваліфікаційної роботи.....	79

ВСТУП

Радіотехнічна система виявлення та аналізу радіочастотних сигналів — це сучасний технологічний комплекс, призначений для оперативного виявлення джерел електромагнітного випромінювання, фіксації їх параметрів та первинного аналізу інформаційного наповнення сигналів у режимі, максимально наближеному до реального часу. Така система поєднує в собі засоби радіомоніторингу, цифрової обробки сигналів, мікроконтролерну логіку та програмне забезпечення для візуалізації й оцінки даних. [1]

Актуальність теми

В умовах сучасної геополітичної ситуації, в якій опинилася наша держава, засоби виявлення та аналізу електромагнітних сигналів набувають особливої актуальності. Вони відіграють ключову роль у системах оборонного призначення, кібербезпеки, цивільного моніторингу, охорони об'єктів критичної інфраструктури та в оперативному виявленні потенційно небезпечних джерел випромінювання. Високі вимоги до надійності, енергоефективності, компактності й економічності таких систем зумовлюють потребу у нових підходах до їх проєктування. [2]

Пристрій має забезпечити зручність використання, простоту в налаштуванні, а також можливість масштабування виробництва завдяки використанню доступної елементної бази. [3]

Подібні пристрої можуть використовуватись у широкому спектрі завдань: від персонального радіомоніторингу до використання в складі більш складних систем військового, інженерного або наукового призначення. Особливу увагу приділено досягненню оптимального балансу між функціональністю, автономністю та низьким енергоспоживанням.

Сучасні дослідження та технології в галузі обробки радіочастотних сигналів активно розвиваються у зв'язку з потребами оборони, телекомунікацій, IoT-систем, бездротового зв'язку, а також радіоелектронної розвідки. Розробка пристрою вимагає поєднання знань з аналогової та цифрової схемотехніки, мікроконтролерного програмування, а також

системної інтеграції.

До складу пристрою передбачається включити приймальний модуль, аналого-цифровий перетворювач, мікроконтролер для попередньої обробки сигналів, дисплей для виведення результатів, модулі інтерфейсів та живлення. Елементи будуть інтегровані на друкованій платі, а корпус виготовлений із застосуванням сучасних адитивних технологій (3D-друк). [4]

Метою роботи є вивчення принципів побудови радіотехнічних систем виявлення та аналізу сигналів, а також створення прототипу пристрою з відповідною структурною схемою, оптимізацією під задані технічні вимоги, підбором елементної бази та розробкою вбудованого програмного забезпечення.

Об'єктом дослідження є процеси виявлення, фільтрації, вимірювання параметрів та попереднього аналізу радіочастотних електромагнітних сигналів.

Предметом дослідження є апаратна та програмна частини радіотехнічної системи аналізу електромагнітних сигналів, включаючи моделювання структури, електронної схеми, програмної логіки та інтерфейсів виводу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- 1) Здійснити аналіз існуючих методів і засобів виявлення та аналізу радіочастотних сигналів.
- 2) Визначити технічні вимоги до розроблюваного пристрою.
- 3) Розробити структурну схему пристрою.
- 4) Вибрати електронну елементну базу, створити принципову схему та проєкт друкованої плати.
- 5) Створити вбудоване програмне забезпечення для обробки та виводу результатів.
- 6) Провести монтаж, налагодження та випробування дослідного зразка.

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Фізична сутність електромагнітних сигналів

Фізична сутність електромагнітних (радіочастотних) сигналів полягає в переносі енергії та інформації у вигляді електромагнітних хвиль, які поширюються в просторі зі швидкістю світла.

Електромагнітний сигнал - це періодичне коливання електричного та магнітного полів, що виникає в результаті коливань зарядів (наприклад, у антені передавача) і поширюється у просторі у вигляді хвилі.

Основні фізичні компоненти електромагнітних сигналів:

- Електричне поле (E): спрямоване в одному напрямку, створюється рухом заряджених частинок.
- Магнітне поле (H): завжди перпендикулярне до електричного поля, виникає в результаті змін електричного поля.
- Напрямок поширення хвилі (S): визначається вектором Пойнтінга, який показує напрям переносу енергії. [5]

Ці три вектори завжди взаємно перпендикулярні.

Радіочастотними називають електромагнітні сигнали в діапазоні частот приблизно від 3 кГц до 300 ГГц. У цьому діапазоні:

- Сигнали можуть ефективно випромінюватися і прийматися антенами.
- Хвилі можуть поширюватися на значні відстані, заломлюватися, відбиватися, проникати через перешкоди.

Параметри електромагнітних хвиль можуть змінювати свої параметри – амплітуду, частоту, фазу – таким чином стає можливим здійснення передачі інформації. Цей процес називається модуляцією.

У вільному просторі електромагнітні хвилі поширюються практично без втрат енергії. В діелектричних середовищах, наприклад, в атмосфері – з певними поглинаннями; у провідниках (кабелях) – як високочастотні електричні струми.

Таким чином, електромагнітний (радіочастотний) сигнал — це фізичне явище, при якому енергія і інформація передаються через змінні електричні та магнітні поля, що поширюються в просторі у вигляді хвиль. [6]

1.2 Основні характеристики електромагнітних сигналів

Основними характеристиками електромагнітних (радіочастотних) сигналів, важливими для їх виявлення, аналізу та ідентифікації, є:

- Частота: визначає кількість коливань за одиницю часу. Одиниця вимірювання – герц (Гц), 1 Гц відповідає 1 періоду коливань за секунду. Для частот радіодіапазону використовуються похідні одиниці: кілогерц (кГц), мегагерц (МГц), гігагерц (ГГц).
- Смуга частот: діапазон частот, котрі займає сигнал. За шириною смуги частот сигнали умовно поділяються на вузькосмугові, широкосмугові і надширокосмугові (UWB – Ultra Wide Band). Смуга частот є критично важливим параметром, котрий має визначальний вплив на швидкість передачі інформації.
- Потужність: відображає силу сигналу. Чим більша потужність, тим більший радіус поширення сигналу при забезпеченні відношення сигнал/шум, достатнього для передачі потрібної інформації. Одиниця вимірювання - ват (Вт). На практиці, зокрема для приймачів, часто застосовується похідна одиниця – дБм (логарифмічне відношення потужності сигналу до 1 мВт).
- Модуляція: метод кодування інформації у параметрах сигналу. Основні типи модуляції: амплітудна (зміна амплітуди/потужності сигналу), імпульсна (ввімкнення-вимкнення сигналу), частотна (зміна частоти), фазова (зміна фази), також можуть застосовуватися їх комбінації. Вибір типу модуляції залежить від потрібної швидкості передачі інформації, радіусу поширення та інших факторів.
- Тривалість сигналу: довжина сигналу в часі.

- Фаза: визначає положення сигналу у часі відносно початку відліку. Є основним параметром для фазової модуляції, також використовується для синхронізації сигналів.
- Частота повторення: використовується у випадку імпульсної модуляції (зокрема, в радіолокації), також при пакетній передачі даних.
- Поляризація: орієнтація векторів електричного і магнітного полів сигналу у просторі. Основні типи: горизонтальна, вертикальна, кругова (ліва/права). Параметр важливий для досягнення максимальної ефективності передачі сигналу. [7]
- Спектр сигналу: розподіл енергії сигналу за частотами.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

2.1 Джерела електромагнітних випромінювань

Природні джерела:

- космічне випромінювання – джерелами є зорі, пульсари, галактики та інші об'єкти, що випромінюють у різних діапазонах, фонове (реліктове) випромінювання;
- атмосферні явища – блискавки та грози створюють потужні імпульси електромагнітного випромінювання в широкому діапазоні;
- біологічні процеси – деякі живі організми можуть генерувати слабкі електромагнітні сигнали. [4]

Штучні джерела:

- радіопередавачі – базові станції і абонентські пристрої мобільного зв'язку, радіостанції, системи супутникового зв'язку, телекомунікаційні пристрої, радіолокаційні станції;
- промислове обладнання – електронні пристрої, генератори, електродвигуни, високочастотні нагрівальні прилади;
- лінії електропередачі;
- побутові пристрої – мікрохвильові печі, телевізори, комп'ютери та інша електроніка можуть генерувати паразитні електромагнітні випромінювання.

2.2 Будова та принцип дії обладнання для виявлення і аналізу параметрів електромагнітних сигналів

Основними компонентами обладнання для виявлення і аналізу параметрів електромагнітних (радіочастотних) сигналів є:

- антена. Призначена для приймання енергії електромагнітних хвиль і перетворення її в електричний сигнал;
- вхідні кола приймача. Призначені для первинної фільтрації і підсилення сигналів, що надходять з антени;

- перетворювачі частоти. Застосовуються для перенесення спектру вхідного сигналу в діапазон частот, придатний для подальшої обробки;
- блоки обробки сигналів. Здійснюють фільтрацію, демодуляцію і перетворення сигналів у форму, потрібну для кінцевого використання;
- інтерфейс користувача. Призначений для керування пристроєм і виведення інформації про виявлені сигнали. В залежності від призначення пристрою може складатися з клавіатури, дисплея (дисплеїв), інтерфейсів зв'язку з ПК (USB, Ethernet, Wi-Fi), системи дистанційного керування та ін. [6]

Загальний принцип дії:

- сигнал приймається антеною;
- підсилюється і проходить попередню фільтрацію;
- перетворюється у форму, придатну для подальшої обробки;
- обробляється за допомогою апаратного і/або програмного забезпечення;
- результати відображаються користувачу.

2.3 Варіанти обладнання для виявлення і аналізу параметрів електромагнітних сигналів

Існує багато різновидів пристроїв для виявлення і аналізу електромагнітних сигналів, кожен з яких має свої переваги та області застосування. Основні типи таких пристроїв включають: радіоприймачі, аналізатори спектру, осцилографи, електромагнітні сканери та інші прилади, котрі застосовуються в комплексі з антенами та додатковим обладнанням.

Приймачі - пристрої для прийому радіосигналів у певному діапазоні частот. Вони можуть бути аналоговими або цифровими, з різними типами модуляції (AM, FM, SSB тощо). Підходять для комунікаційних систем та побутового використання у випадках, коли характеристики радіосигналів заздалегідь відомі. Нижче наведені приклади професійних приймачів.

Одним із них є ICOM IC-R8600 [8].

Це стаціонарний надширокосмуговий приймач зв'язку, який охоплює

радіоспектр від 10 кГц до 3 ГГц. IC-R8600 використовує сучасну технологію програмної демодуляції, забезпечуючи достатню продуктивність та інтуїтивно зрозуміле керування. IC-R8600 декодує різні цифрові сигнали, включаючи P25 (фаза 1), NXDN, dPMR, D-STAR, японське DCR, а також приймає звичайні аналогові сигнали з різними видами модуляції, такими як USB, LSB, FSK, CW, AM, S-AM (синхронна AM), FM та WFM. Завдяки додатковому програмному забезпеченню для дистанційного керування для ПК з Windows, отримані аудіодані та дані спектроскопії можна передавати через IP-мережу для моніторингу з віддалених місць. Зовнішній вигляд виробу показаний на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 - Радіоприймач ICOM IC-R8600

Нижче, на рисунку 2.2, показаний зовнішній вигляд приймача ICOM IC-R15. IC-R15 [9] – це портативний приймач зв'язку, який дозволяє прослуховувати різні радіосигнали, включаючи авіаційні, аматорські та морські, в діапазоні 108–500 МГц у режимах AM/FM. Він також дозволяє прослуховувати радіопередачі в діапазоні 76–108 МГц (WFM). Цей приймач має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача, що дозволяє легко приймати навіть початківцям, які хочуть одразу перейти до прослуховування ефіру. Функція подвійного спостереження дозволяє приймати різні сигнали одночасно. Вбудована функція запису дозволяє одночасно записувати два сигнали та зберігати отримане аудіо на карті microSD у вигляді файлу WAV. IC-R15 має водонепроникну конструкцію (допускає занурення на глибину 1 м

протягом 30 хвилин), тому його можна використовувати на відкритому повітрі в аеропортах, на узбережжі або за несприятливої погоди.

Літій-іонний акумулятор забезпечує приблизно 13 годин безперервної роботи.



Рисунок 2.2 - Радіоприймач ICOM IC-R15

Аналізатори спектру – це вимірювальні прилади, які забезпечують визначення спектрального складу сигналу. Використовуються для дослідження радіочастотних випромінювань, виявлення перешкод та тестування обладнання.

Аналізатори спектру нижнього та середнього цінових сегментів забезпечують базові та розширені функції для вимірювання та аналізу електромагнітних сигналів. Нижче наведено короткий огляд декількох популярних моделей від різних виробників.

Одним з відомих та загально вживаних є аналізатор спектру Rigol DSA875-TG. Зовнішній вигляд можна побачити на рисунку 2.3.

Аналізатор спектру [10] з діапазоном частот від 9 кГц до 7,5 ГГц. Має вбудований трекінг-генератор, ширину смуги від 100 Гц до 1 МГц та кольоровий дисплей. Підходить для базових вимірювань у радіочастотних додатках.

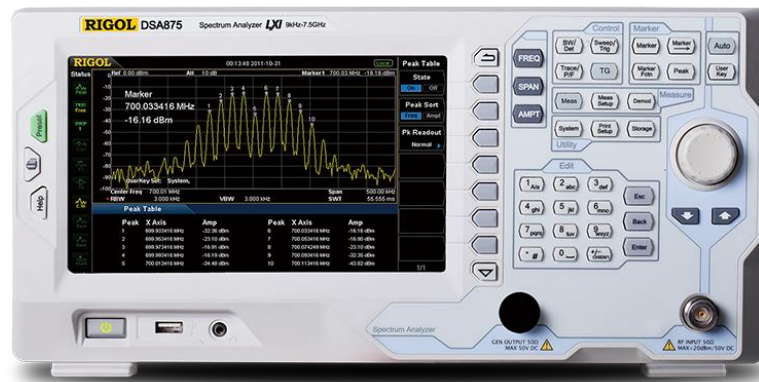


Рисунок 2.3 - Аналізатор спектру Rigol DSA875-TG

Нижче , на рисунку 2.4 , зображений ще один представник класу: Rohde&Schwarz FPC1500 [11].

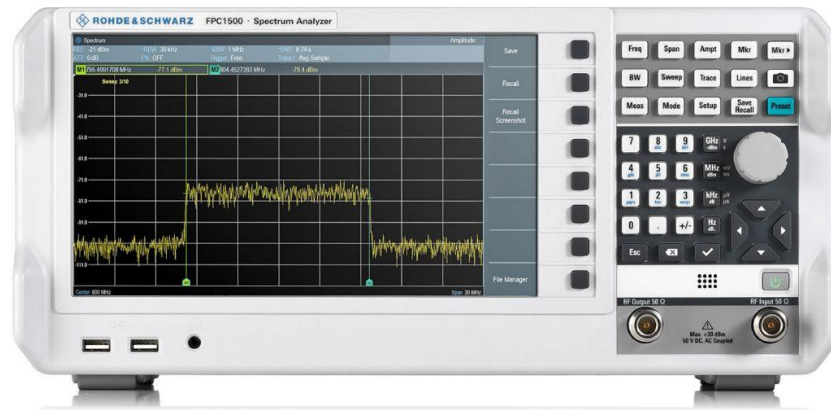


Рисунок 2.4 - Аналізатор спектру Rohde&Schwarz FPC1500

Аналізатор спектру з діапазоном частот від 9 кГц до 3 ГГц. Має вбудований трекінг-генератор, ширину смуги від 1 Гц до 3 МГц та кольоровий дисплей. Має опції векторного аналізатора кіл та демодуляції радіосигналів. Підходить для більш складних вимірювань.

Розглянемо ще одного представника класу аналізаторів спектру: Siglent SSA3021X [12]. Діапазон частот аналізу від 9 кГц до 2,1 ГГц, з можливістю розширення до 3,2 ГГц. Ширина смуги аналізу від 10 Гц до 1 МГц. Оснащений 10,1-дюймовим сенсорним екраном. Може розглядатися як дешевша альтернатива описаному вище Rohde&Schwarz FPC1500. Зовнішній вигляд даний пристрій має такий , як на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 - Аналізатор спектру Siglent SSA3021X

Цікавим представником аналізаторів спектру є також Keysight N9320B [13]. Він працює з діапазоном частот від 9 кГц до 3 ГГц. Має ширину смуги від 100 Гц до 1 МГц, кольоровий дисплей та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Підходить для загальних радіочастотних вимірювань. Зовнішній вигляд приладу показаний на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 - Аналізатор спектру Keysight N9320B

Наступний пристрій - Anritsu MS2712E [14], зовнішній вигляд якого показаний на рисунку 2.7.

Портативний аналізатор спектру з діапазоном частот від 9 кГц до 4 ГГц. Має ширину смуги від 1 Гц до 3 МГц, кольоровий дисплей та тривалий час автономної роботи. Підходить для польових вимірювань.



Рисунок 2.7 - Аналізатор спектру Anritsu MS2712E

Вибір аналізатора спектру залежить від конкретних вимог, таких як діапазон частот, роздільна здатність, наявність додаткових опцій вимірювання, габарити та вартість. Зазначені вище моделі пропонують різні функції та характеристики, що відповідають потребам як початківців, так і професіоналів.

Осцилографи – це прилади для візуалізації електричних сигналів, які дозволяють аналізувати часові характеристики радіосигналів. Аналогові та цифрові осцилографи застосовуються в наукових та інженерних дослідженнях, у процесах виробництва та ремонту радіоелектронної продукції. В радіочастотних вимірюваннях застосовуються, як правило, для аналізу характеристик модулюючих або демодульованих сигналів. Нижче наведено приклади цифрових осцилографів різних виробників і цінкових категорій. Першим розглянемо Rohde&Schwarz RTO6 [15].

Прилад вищої цінової категорії, призначений для професійного застосування. Має смугу пропускання 6 ГГц, максимальну частоту дискретизації 20 мільярдів вибірок за секунду (GSa/s), вбудовану пам'ять на 2 мільярди вибірок. Великий 15,6-дюймовий сенсорний екран та новий графічний інтерфейс у поєднанні з високою частотою оновлення сигналів, відмінною точністю сигналу, цифровим тригером та великим об'ємом оперативної пам'яті слугують повністю інтегрованим тестовим рішенням для частотного, протокольного та логічного аналізу. Багатий набір вимірювальних

інструментів осцилографів серії R&S®RTO6 у поєднанні з оптимізованим інтерфейсом користувача допомагає швидко вирішувати проблеми зі схемами – від простих до складних. Зовнішній вигляд приладу показаний на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 - Осцилограф Rohde&Schwarz RTO6

Для порівняння можемо розглянути й інші осцилографи. Одним з них нехай буде Rigol DS1202 [16], зовнішній вигляд поданий на рисунку 2.9.

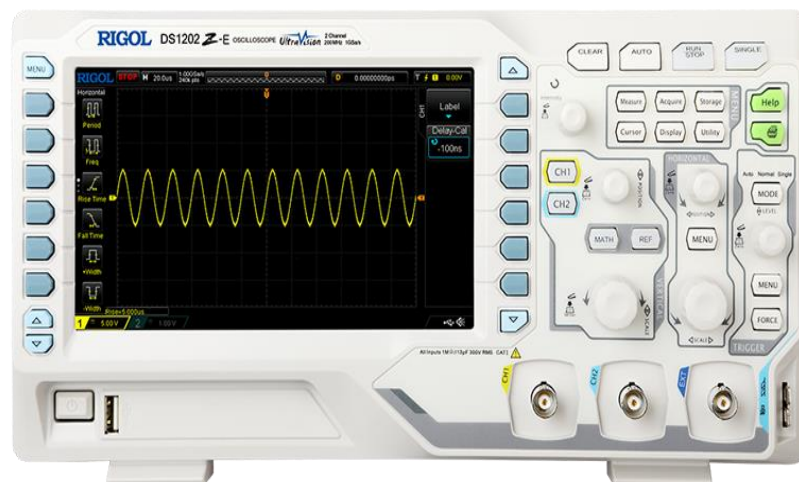


Рисунок 2.9 - Осцилограф Rigol DS1202

Прилад відноситься до нижнього цінового сегменту (до 1000 доларів США). Він має смугу пропускання 200 МГц, частоту дискретизації 1 GSa/s, вбудовану пам'ять на 24 мільйони вибірок, котра дозволяє відтворювати форму раніше записаного сигналу. Також забезпечується можливість

декодування сигналів стандартних цифрових інтерфейсів: RS232/UART, I2C, SPI.

Наступний осцилограф є бюджетною версією . Це Hantek 6004EU [17]. Він здійснює переведення сигналу, що аналізується, в цифрову форму і передачу отриманих даних на персональний комп'ютер для подальшої обробки за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Має 4 аналогові канали, швидкість захоплення сигналів 400 000 кадрів/с. Частота дискретизації 1 GSa/s у реальному часі, смуга пропускання 250 МГц. Живлення здійснюється від інтерфейсу USB 2.0. Може застосовуватися у випадках обмеженого бюджету на вимірювальні прилади, також у польових умовах в комплексі з ноутбуком або навіть смартфоном. Зовнішній вигляд приладу показаний на рисунку 2.10.



Рисунок 2.10 - Осцилограф Hantek 6004EU

До обладнання спеціального призначення відносяться такі засоби, як радіопеленгатори, сканери, пристрої перехоплення сигналів пакетного зв'язку та інших сигналів, специфічних для конкретних застосувань. Прикладами такого обладнання можуть бути системи виявлення сигналів керування безпілотними літальними апаратами (т. зв. дронами), деякі з цих систем описані нижче.

Система виявлення дронів Rantelon DTS-2458 [18], виробництва Естонії.

Система виявлення дронів DTS-2458 виявляє радіочастотні випромінювання безпілотних літальних апаратів і пультів їх дистанційного керування. Система має можливість визначати напрямок пульта дистанційного керування. Система складається з антени відстеження, радіоінтерфейсу та програмного забезпечення для аналізу. Кілька систем детекторів можна з'єднати разом для точного геолокації дронів та пультів дистанційного керування. Систему також можна інтегрувати з засобами радіоелектронної протидії Rantelon. Охоплює діапазони частот 2,4 ГГц та 5 ГГц. Має вбудовану пам'ять для зберігання актуальної бази даних сигналів дронів, можливість оперативного додавання до бази сигналів, отриманих користувачем, вбудовані модулі ADS-B, GNSS та компаса. Зовнішній вигляд системи показаний на рисунку 2.11.



Рисунок 2.11 - Система виявлення дронів Rantelon DTS-2458

Але й наша країна не відстає в царині розроблення систем виявлення радіочастотних випромінювань та аналізу їх характеристик і одним із цих пристроїв є ARRAKIS [19]. Зовнішній вигляд пристрою показаний на рисунку 2.12. Даний пристрій призначений для ефективного виявлення дронів,

виготовлений з урахуванням всіх сучасних тенденцій та технологій, який здатний виявляти дрони які працюють в межах діапазонів 860-928 МГц, 955-1020 МГц, 720 - 915 МГц та 2400 - 2500 МГц.



Рисунок 2.12 - Мобільний пристрій для виявлення дронів ARRAKIS

Пристрій повідомляє про виявлення радіосигналу дрона за допомогою звукового сигналу, вібросигналу та інформації на дисплеї, також має можливість виведення службової інформації на персональний комп'ютер по інтерфейсу USB для подальшого аналізу.

2.4 Антени і додаткове обладнання

Антени є важливими компонентами будь-яких засобів передачі-прийому радіосигналів. В залежності від сфери застосування антени можуть мати різні характеристики, як електричні, так і конструктивні. До електричних характеристик відносяться в першу чергу: смуга частот, коефіцієнт підсилення, форма діаграми спрямованості, номінальний хвильовий опір та коефіцієнт зворотної хвилі (VSWR – Voltage Standing Wave Ratio).

Конструктивні варіанти антен дозволяють формувати потрібну діаграму спрямованості залежно від задачі: від кругового покриття до вузькопроменевої або багатопроременевої спрямованості. Вибір конструкції залежить від

частотного діапазону, необхідної дальності зв'язку та умов встановлення. Конструктивно антени можуть бути виконані у вигляді різноманітних металоконструкцій з окремих провідників, друкованих плат або металокерамічних виробів (так звані патч-антени), рупорів, параболічних дзеркал з випромінювачем у фокусі, а також комбінацій згаданих конструкцій. Нижче наведено кілька прикладів антен промислового виробництва з різними характеристиками спрямованості і в різних конструктивних виконаннях.

Першою розглянемо антену Aaronia HyperLog 20300 ЕМІ [20], виробництва Aaronia AG, Німеччина. Надширокосмугова спрямована біконічно-логоперіодична антена верхнього цінового діапазону. Призначена для роботи у складі професійних систем радіомоніторингу. Коефіцієнт підсилення $(-5...8)$ дВі в залежності від робочої частоти, номінальний імпеданс 50 Ом, коефіцієнт зворотної хвилі напруги не більше 2 в діапазоні робочих частот від 20 МГц до 3 ГГц. Зовнішній вигляд антени показаний на рисунку 2.13.

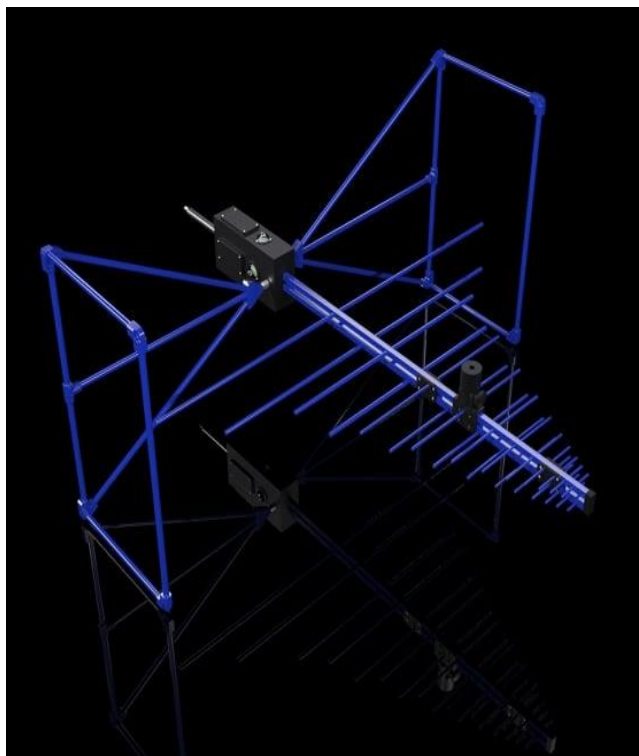


Рисунок 2.13 - Антена Aaronia HyperLog 20300 ЕМІ

Досить перспективною є також антена Unictron TA-T22B-A-X02 [21], виробництва Unictron Technologies Corp., Тайвань. Зовнішній вигляд антени показаний на рисунку 2.14.



Рисунок 2.14 - Антена Unictron TA-T22B

Антена призначена для роботи у складі малопотужних портативних радіопристроїв діапазону 400 МГц. Діаграма спрямованості кругова, коефіцієнт підсилення близько 2 dBi, імпеданс 50 Ом, коефіцієнт зворотньої хвилі напруги не перевищує 3,0 в робочому діапазоні частот (410...440) МГц.

Ну і було б неправильно не згадати антени наших вітчизняних виробників, однією з яких є Dolya Agent-405U [22], виробництва «ДОЛЯ І КО. ЛТД». Зовнішній вигляд антени показаний на рисунку 2.15.

Антена Agent-405U застосовується як стаціонарно, так і у мобільному варіанті та забезпечує УКХ-зв'язок у діапазоні частот 400-470 МГц. Алюмінієвий сплав з окисдованим покриттям, з якого виготовлена антена,

захищає її від суворих погодних умов та дозволяє використовувати за різних навколишніх обставин.



Рисунок 2.15 - Антена Dolya Agent-405U

Agent-405U випускається під конкретну частоту та не переналаштовується надалі. Діаграма спрямованості кругова, технічні параметри надаються виробником за запитом. До додаткового обладнання можна віднести підсилювачі, фідери (кабелі для підключення антен), роз'ємні з'єднання, елементи кріплення, зовнішні джерела живлення та інше.

До додаткового обладнання можна віднести підсилювачі, фідери (кабелі для підключення антен), роз'ємні з'єднання, елементи кріплення, зовнішні джерела живлення та інше.

2.5 Програмні засоби аналізу електромагнітних сигналів

До типових функцій програмного аналізу РЧ сигналів відносяться: побудова спектрограм, виявлення модуляції, демодуляція та декодування, аналіз відношення сигнал/шум, фазових та амплітудних характеристик. [23]

До програмних засобів для аналізу радіочастотних сигналів, які застосовуються в лабораторіях, промисловості, обороні та наукових дослідженнях, відносяться наступні засоби:

SDR-платформи (Software-Defined Radio) - це інструменти, які

дозволяють приймати та обробляти радіосигнали програмно, з використанням мінімального апаратного забезпечення. Прикладами таких засобів є: GNU Radio – безкоштовне середовище з великою бібліотекою блоків для обробки сигналів (Linux, Windows); SDR# (SDRSharp) – популярна Windows-програма для прийому/аналізу сигналів через RTL-SDR; CubicSDR – кросплатформна програма з підтримкою багатьох SDR-пристроїв. Перевагами таких засобів є невисока вартість апаратного забезпечення (десятки-сотні доларів США), гнучкість, підтримка різних частот і типів модуляції, можливість аналізу сигналів у реальному часі. З недоліків варто виділити обмежений динамічний діапазон. [24]

Програмне забезпечення до аналізаторів спектру. Більшість виробників сучасних аналізаторів спектру надає програмне забезпечення для аналізу спектру, виявлення і демодуляції сигналів, статистичної обробки тощо. Приклади: Keysight Signal Studio / X-Series Measurement Applications, Rohde & Schwarz FPC/VSE Software, Tektronix SignalVu-PC. Перевагами такого програмного забезпечення є висока точність, значні можливості математичної обробки; недоліком є прив’язка до конкретного обладнання. [25]

Labview/LabWindows. Програмне забезпечення для роботи з різноманітними вимірювальними приладами та іншими джерелами даних від компанії National Instruments. Засноване на концепції «віртуального приладу», котрий створюється користувачем у відповідності до конкретного завдання і може працювати з будь-якими джерелами даних. Перевагою такого засобу є універсальність і відносна простота освоєння; недоліком – порівняно висока вартість ліцензії.

MATLAB/Simulink з Signal Processing Toolbox. Використовується для моделювання, обробки та аналізу сигналів. Забезпечує можливості: аналізу спектру, модуляції/демодуляції, фільтрації, відновлення сигналів. Має засоби для обробки квадратурних (IQ) даних, алгоритми цифрової обробки сигналів та засоби роботи з SDR. Має такі переваги, як інтеграція з апаратними пристроями і висока гнучкість використання (можливість оперативного

створення власних програмних засобів в залежності від завдання). Недоліками є платна ліцензія і високий поріг входження, оскільки потребує глибоких знань математики.

3 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ВИЯВЛЕННЯ І АНАЛІЗУ РАДІОЧАСТОТНИХ СИГНАЛІВ

3.1 Постановка технічного завдання

Метою даної роботи є розробка портативного пристрою для виявлення радіочастотних сигналів і визначення їх основних параметрів.

Алгоритм функціонування пристрою в найпростішому варіанті можна розділити на наступні етапи:

- встановлення початкової робочої частоти;
- вимірювання рівня сигналу (RSSI – Received Signal Strength Indicator);
- у випадку, якщо рівень сигналу не перевищує встановлений поріг, переналаштувати приймач на частоту, вищу на задану величину (крок сканування) і продовжити вимірювання рівня;
- у випадку перевищення рівня сигналу – здійснити індикацію частоти і рівня сигналу на дисплеї пристрою; також передбачена звукова сигналізація і передача даних на зовнішні пристрої по інтерфейсу USB; далі протягом заданого часу переналаштувати приймач на частоту, вищу на задану величину (крок сканування) і продовжити вимірювання рівня.

По досягненні максимальної частоти сканування повернутися до мінімальної частоти і продовжити вимірювання рівня радіосигналу.

Для забезпечення правильного функціонування пристрою необхідно визначити його основні технічні параметри, а саме: діапазон робочих частот, види модуляції, чутливість та інше.

Для даного застосування повний діапазон робочих частот має охоплювати щонайменше від 300 МГц до 2600 МГц без проміжків. Також необхідно забезпечити можливість вибору ділянок сканування в межах даного діапазону та одночасного сканування щонайменше двох вибраних ділянок радіочастотного спектру на вибір користувача.

Потрібно забезпечити можливість демодуляції радіочастотних сигналів

з такими видами модуляції: CW (Continuous Wave - немодульована носійна частота), FSK (Frequency Shift Keying – частотна маніпуляція), LoRa (Long Range Chirp Spread Spectrum – сигнал з розширенням спектру шляхом лінійної зміни частоти).

Оскільки проєктований пристрій має порогові властивості, від чутливості приймачів залежить пороговий рівень визначення наявності сигналу і можливість його безпомилкової демодуляції. В реальних умовах експлуатації, за наявності значного рівня атмосферних і індустриальних завад, при ширині каналу прийому 100 кГц достатнім буде значення -100...-105 dBm для видів модуляції FSK і -115...-120 dBm для LoRa.

Вибірковість за побічними каналами прийому впливає на ймовірність хибного детектування радіочастотних сигналів за межами заданої смуги пропускання, чим більше значення вибіркової, тим така ймовірність нижча. Задаємося значенням щонайменше 40 дБ (10000 разів за потужністю).

Необхідно забезпечити можливість зміни робочої конфігурації за допомогою вбудованих органів керування (клавіатури), а також зовнішніх інтерфейсів (UART/USB), а також можливість оновлення вбудованого програмного забезпечення користувачем без застосування спеціальних засобів.

Керування в робочому режимі здійснюється за допомогою тактових кнопок. Для індикації параметрів виявлених сигналів, режимів роботи і параметрів пристрою застосувати графічний дисплей, виконаний за технологією OLED або LCD, з роздільною здатністю не менше 128*64 точок. Також бажано забезпечити і звукову індикацію виявлених сигналів.

Основне джерело живлення: вбудований акумулятор (Li-Ion). Ємність акумулятора має бути достатньою для забезпечення неперервної роботи пристрою протягом щонайменше 20 годин, при цьому тривалість повного заряду акумулятора має бути в межах 4 годин.

Максимально допустимий струм споживання в робочому режимі залежить від необхідного часу неперервної роботи пристрою і ємності

встановленого акумулятора. Наприклад, при ємності акумулятора 2000 мА*год і тривалості неперервної роботи 20 годин струм споживання має складати не більше 100 мА.

Роз'єм для підключення зовнішнього джерела живлення і заряду акумулятора: роз'єм USB Type C. Таке рішення дозволить застосувати в якості зовнішнього джерела живлення широкодоступні і дешеві зарядні пристрої для смартфонів.

Має бути забезпечена можливість переходу пристрою в режим зниженого енергоспоживання. В цьому режимі всі основні вузли пристрою вимкнені, залишається активним лише вбудований годинник. Споживання в режимі очікування повинно бути якомога менше, в ідеальному випадку співставне зі струмом саморозряду акумулятора (одиниці-десятки мкА).

Враховуючи масогабаритні показники наявних на ринку пристроїв аналогічного призначення, орієнтовні розміри мають складати до 120*100*50 мм, а маса не перевищувати 200 г.

Пристрій має бути створений на базі електронних компонентів, постійно доступних на світовому ринку. Перевага надається компонентам виробників, котрі мають авторизованих дилерів в Україні, що забезпечить належну якість компонентів і надійність їх постачання.

Враховуючи вартість наявних на ринку пристроїв аналогічного призначення, собівартість виробництва пристрою не має перевищувати 1500 грн., з них собівартість електронної комплектації – до 1000 грн.

3.2 Вибір засобів розробки апаратного забезпечення

Існує досить широкий асортимент засобів розробки апаратного забезпечення (схемотехніки і друкованих плат виробів). В залежності від завдання вибирається той інструмент, котрий забезпечить оптимальні якість і час розробки за прийнятних фінансових затрат.

З професійних засобів розробки варто виділити Siemens EDA (в минулому – Mentor Graphics), Allegro X Design від Cadence Design Systems,

Inc., Altium Designer як найбільш популярні у професійному середовищі. Ці системи проектування мають дуже широкі можливості і забезпечують швидке і високоякісне проектування друкованих плат будь-якої складності. Але для відносно простих проектів застосування таких систем економічно не вигідне із-за високої вартості ліцензій (від тисяч до десятків тисяч доларів США). Для некомерційного використання можливе застосування таких систем в пробному режимі («Trial») з обмеженим строком дії і частково обмеженими можливостями.

З систем проектування середнього рівня можна виділити Circuit Studio від Altium і DipTrace від української компанії Novarm. Вартість ліцензій на ці програмні продукти не перевищує кількох сотень доларів США, що робить їх доступними для невеликих підприємств і навіть для індивідуальних розробників. Також існує ліцензія DipTrace, безкоштовна для розробників, котрі працюють в інтересах оборонного сектору України. З недоліків можна виділити обмежені можливості порівняно з програмними продуктами вищої цінової категорії і меншу зручність використання (наприклад, відсутність групових операцій в Circuit Studio, що значно сповільнює роботу).

З безкоштовних систем проектування можна зазначити: EasyEDA, Altium CircuitMaker і KiCAD. Перші два програмні продукти є «хмарними» і потребують постійного підключення до мережі Інтернет, при цьому якість зв'язку суттєво впливає на швидкість і зручність роботи. З переваг можна виділити наявність у вільному доступі великої кількості якісних бібліотек електронних компонентів і готових проектів, створених Інтернет-спільнотами. Але ці переваги стають недоліками у випадку комерційного використання, коли проект є корпоративною власністю і не підлягає публікації. Також Altium CircuitMaker має обмежену технічну підтримку і протягом тривалого часу не оновлюється, а EasyEDA фінансується в основному китайськими постачальниками електронної комплектації з відповідними ризиками.

Від усіх згаданих недоліків вільна система проектування друкованих плат KiCad [23]. Даний проект, створений на некомерційній основі,

підтримується і розвивається широкою Інтернет-спільнотою, до котрої входять як індивідуальні розробники, так і представники великих підприємств і міжнародних організацій, наприклад, CERN. Регулярно виходять оновлення і поповнюються бібліотеки компонентів (дуже якісні, з багатьма варіантами посадкових місць і реалістичними 3D-моделями компонентів). За технічними можливостями KiCad сучасних версій наближається до Altium Designer при нульовій вартості і відсутності будь-яких обмежень на використання. Тому за сукупністю вимог для виконання даного проекту вибрано саме KiCad.

3.3 Розробка схемотехніки

Пристрій складається з таких основних функціональних блоків:

- блоки прийому радіосигналів;
- блок керування, аналізу і індикації;
- зовнішні інтерфейси;
- блок живлення.

Для забезпечення можливості прийому і аналізу сигналів в заданому діапазоні частот необхідний радіоприймальний пристрій з наступними технічними параметрами:

- діапазон робочих частот від 300 МГц до 2600 МГц;
- смуга пропускання каналу прийому: від 10 кГц до 1 МГц;
- чутливість: не гірше -100 дБм в смузі 100 кГц;
- вибірковість за побічними каналами: не гірше 40 дБ.

Оскільки діапазон частот, котрі відслідковується, досить широкий (відношення максимальної частоти до мінімальної складає близько 9), виконання радіоприймального пристрою у вигляді одного приймача стикається зі значними технічними труднощами. Основні з них – складність вхідних кіл (фільтрів), неоптимальні технічні параметри і висока вартість широкосмугових антен.

Тому пропонується застосувати кілька окремих приймачів з окремими антенами і спільним керуванням, з можливістю додавання приймачів у

випадку розширення. Також така будова пристрою дозволить виявляти радіосигнали в кількох діапазонах частот одночасно. Кількість приймачів визначається необхідним діапазоном частот, котра підлягає аналізу, і діапазонами робочих частот приймачів.

Функціональна схема пристрою зображена на рис. 1 у додатку А.

Критеріями вибору компонентної бази є:

- належні технічні параметри;
- якість компонентів;
- доступність компонентів на світовому ринку і ринку України;
- мінімальна кількість компонентів;
- зручність монтажу і демонтажу у випадку ремонту;
- мінімально можлива вартість.

Протягом часу розвитку радіоприймальних пристроїв компонентна база, котра застосовується у їх виготовленні, зазнала значної еволюції – від дискретних компонентів (ламп, транзисторів) до мікросхем високого ступеню інтеграції, котрі включають в себе всі необхідні функціональні вузли. Також набула значного розвитку технологія мікроконтролерів, котрі застосовуються вже майже у всіх електронних пристроях як універсальні рішення. В даному випадку, з метою мінімізації кількості компонентів і, відповідно, зниження ціни, габаритів і енергоспоживання виглядає раціональним застосування інтегральних мікросхем радіотрансиверів широкого вжитку з керуванням за допомогою мікроконтролера, а за можливості – комбінації мікроконтролера і радіотрансивера в одному корпусі мікросхеми. Такі комбіновані рішення називаються «системами на кристалі» (SoC – System-On-Chip), коштують значно менше, ніж окремо взяті мікроконтролер і радіотрансивер і широко застосовуються, наприклад, у сфері «інтернет-речей» (IoT, Internet of Things). Тому для керування пристроєм і в якості одного з приймачів є сенс вибрати саме таку мікросхему.

На світовому ринку доступні SoC багатьох виробників, на базі різних мікропроцесорних ядер і радіотрансиверів. Одним з прикладів є серія SoC

EFR32 фірми Silicon Laboratories [24]. Такі системи на кристалі включають в себе: мікропроцесорне ядро ARM Cortex-M4F або Cortex-M33, багатий набір периферійних пристроїв (інтерфейси, таймери, АЦП і т.д.) і радіотрансивер, здатний працювати в кількох діапазонах частот від десятків МГц до 2900 МГц, котрий має окреме мікропроцесорне ядро для керування функціональними вузлами. Вартість складає від 2 до 12 доларів США в залежності від моделі. На жаль, SoC цього типу не підходять для даного завдання з таких основних причин: наявність кількох «прогалин» в діапазоні робочих частот; відсутність можливості роботи з модуляцією LoRa; неповна документація на радіотрансивер і відсутність вихідного коду бібліотеки для роботи з ним з відповідним обмеженням можливостей.

Аналогічна ситуація з SoC інших виробників (CC13xx [25] від Texas Instruments, CMT2380 від Cmostek Technology [26] і т.д.). Повністю задовольняють вимогам завдання лише 2 системи на кристалі двох різних виробників: ASR6601 від китайської компанії ASRmicro [27] і STM32WLE5 від глобальної ST Microelectronics [28]. За технічними можливостями обидві мікросхеми співставні, а саме: мікропроцесорне ядро ARM Cortex-M4; об'єм пам'яті програм 128 КБ або 256 КБ; об'єм оперативної пам'яті від 16 КБ до 64 КБ, стандартний набір периферійних пристроїв (порти вводу-виводу, цифрові інтерфейси SPI/I2C/UART, таймери, АЦП, апаратна підтримка протоколу шифрування AES і т.д.), інтегрований радіотрансивер типу SX1262 [29], котрий забезпечує параметри, необхідні для виконання даного завдання. Вартість знаходиться в одному ціновому діапазоні (близько 3 доларів США). Вибір зроблений на користь STM32WLE5 і обумовлений такими причинами: виробник світового рівня з наявністю авторизованих дилерів в Україні; якісна документація англійською мовою; наявність широкої екосистеми розробки програмного забезпечення.

Для спрощення розробки на першому етапі вибрано не окремо взяту мікросхему SoC, а функціональний модуль радіотрансивера на її базі (E77-400M22S від Ebyte Electronic Technology Company Ltd [30]), котрий, окрім

самої мікросхеми, включає термокомпенсований кварцовий генератор тактової частоти, компоненти вузлів живлення, компоненти радіочастотних фільтрів і кіл узгодження антени та інше. Такий модуль в проєктованому пристрої виконує функції мікроконтролера і приймача «нижньої» ділянки діапазону частот сканування – орієнтовно від 300 МГц до 600 МГц.

Наступним етапом є вибір електронних компонентів для приймача (приймачів) на частоти від (орієнтовно) 600 МГц до верхньої межі (2600 МГц, бажано вище). Для цього раціонально застосувати інтегральні радіотрансивери з цифровим інтерфейсом, котрі мають технічні параметри, необхідні для виконання завдання. Для діапазону до 1400 МГц може бути вибрана мікросхема SX1261 або SX1262 [29] фірми Semtech (в даному застосуванні різниці між ними нема, оскільки передавач не використовується). Для діапазону від 2200 до 2700 МГц – мікросхема SX1280 [31] того ж виробника. Але при такому рішенні залишається «прогалина» від 1400 МГц до 2100 МГц, тому варто знайти інший варіант. Таким варіантом є LR1121, також того ж виробника [32]. Цифровий синтезатор цього трансивера згідно з документацією перекриває неперервний діапазон частот від 150 МГц до 2500 МГц, а з незначними обмеженнями – від 40 МГц до 2800 МГц. Мікросхема має два окремих приймальних тракти з автоматичним перемиканням – для частот до 1500 МГц і понад 1500 МГц. Для спрощення розробки на першому етапі також вибраний функціональний модуль на основі цієї мікросхеми, а саме LORA1121 компанії G-NiceRF [33], котрий при невисокій вартості має мінімально можливі габарити.

Оскільки SoC STM32WLE5 не має інтерфейсу USB, то для зв'язку з персональним комп'ютером потрібна додаткова мікросхема – перетворювач протоколів USB/UART. Існує досить широкий вибір таких мікросхем, наприклад, FT230, FT232, FT234 від британського виробника FTDI; CP2102, CP2104, CP2105, CP2108 від Silicon Laboratories; MCP2200 від Microchip та ін. З міркувань простоти схеми ввімкнення, надійності, ціни і доступності вибрано мікросхему CP2102 (Silicon Laboratories) [34].

Для здійснення заряду акумулятора вибрано мікросхему STC4054 виробництва ST Microelectronics [35]. Вона забезпечує всі необхідні режими заряду: повільний («trickle») заряд глибоко розрядженого акумулятора; режим заряду постійним струмом на основному етапі; режим заряду постійною напругою на фінальному етапі; автоматичне вимкнення струму заряду по досягненні заданої напруги. Індикація стану заряду світлодіодна.

В якості дисплея для відображення інформації про виявлені сигнали, а також налаштувань пристрою та іншої службової інформації вибрано модуль OLED дисплея з інтерфейсом SPI на базі контролера SSD1306 [36] розміром 0,96” по діагоналі.

Процес розробки принципової схеми пристрою здійснюється поетапно, у відповідності до функціональної схеми.

Частина схеми, котра відноситься до модуля мікроконтролера/головного приймача, показана на рисунку 3.1.

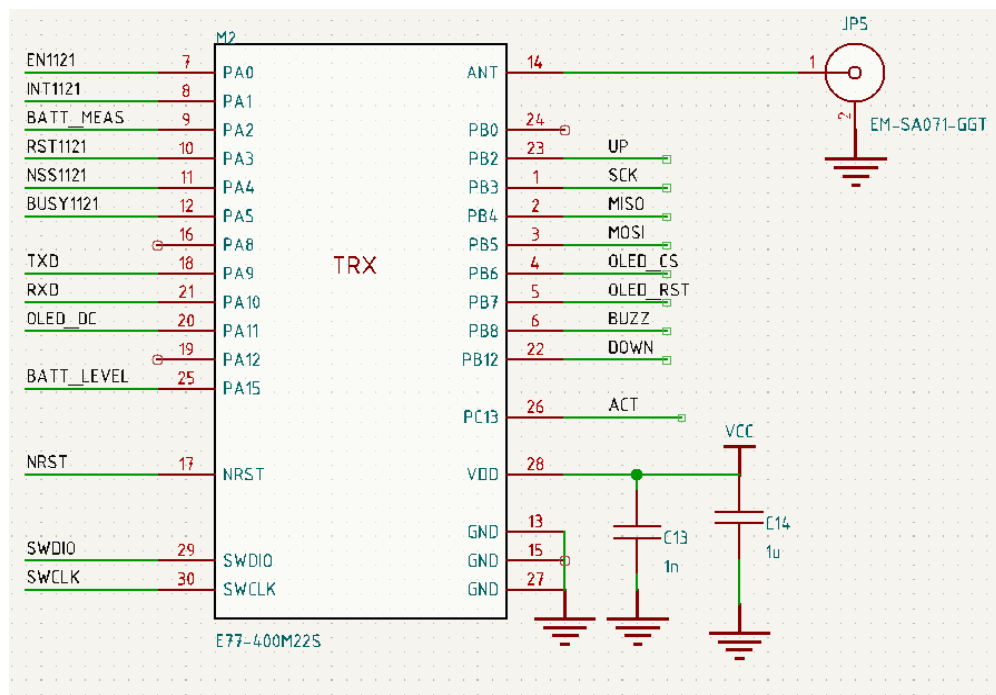


Рисунок 3.1 - Принципова схема модуля мікроконтролера/головного приймача

Головним вузлом схеми є модуль мікроконтролера/головного

радіоприймача. Окрім прийому радіосигналів у відповідному діапазоні, цей вузол забезпечує взаємодію всіх компонентів схеми (додаткових приймачів, органів керування і індикації, зовнішніх інтерфейсів). Радіосигнал на вхід модуля подається через коаксіальний роз'єм JP5 типу SMA. Конденсатори C13, C14 забезпечують додаткову фільтрацію напруги живлення

Для початкового програмування мікроконтролера передбачений спеціальний інтерфейс програмування SWD. Призначення контактів роз'єма інтерфейсу програмування наведено на рисунку 3.2.

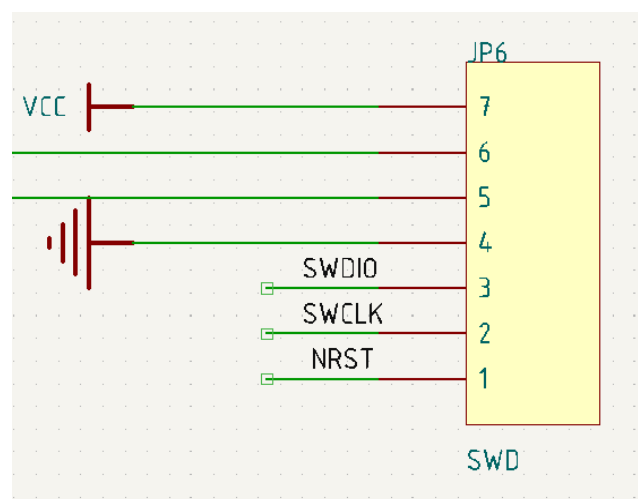


Рисунок 3.2 - Інтерфейс програмування

Опис сигналів мікроконтролера.

EN1121: ввімкнення живлення додаткового модуля приймача, активний логічний рівень 1;

INT1121: сигнал переривання LR1121 (індикація зміни стану трансивера), активний логічний рівень 1;

RST1121: сигнал встановлення початкового стану («reset») LR1121, активний логічний рівень 0;

NSS1121: сигнал вибору LR1121 для керування по інтерфейсу SPI, активний логічний рівень 0;

BUSY1121: сигнал зайнятості LR1121, активний логічний рівень 1;

MOSI: вихідні дані інтерфейсу SPI;

- MISO: вхідні дані інтерфейсу SPI;
- SCK: сигнал синхронізації інтерфейсу SPI;
- OLED_CS: сигнал вибору дисплею для керування по інтерфейсу SPI, активний логічний рівень 0;
- OLED_RST: сигнал встановлення початкового стану («reset») дисплею, активний логічний рівень 0;
- OLED_DC: перемикання режимів керування дисплею (команда/дані);
- BUZZ: сигнал для звукового випромінювача (меандр з заданою звуковою частотою);
- UP, DOWN, ACT: кнопки керування, активні логічні рівні 0;
- BATT_MEAS: ввімкнення схеми вимірювання напруги акумулятора, активний логічний рівень 1;
- BATT_LEVEL: сигнал з подільника напруги акумулятора для вимірювання (вхід АЦП);
- RXD, TXD: сигнали послідовного інтерфейсу UART для зв'язку з зовнішніми пристроями;
- NRST, SWDIO, SWCLK – сигнали інтерфейсу програмування STM32WLE5.

Принципова схема модуля додаткових приймачів показана на рисунку 3.4.

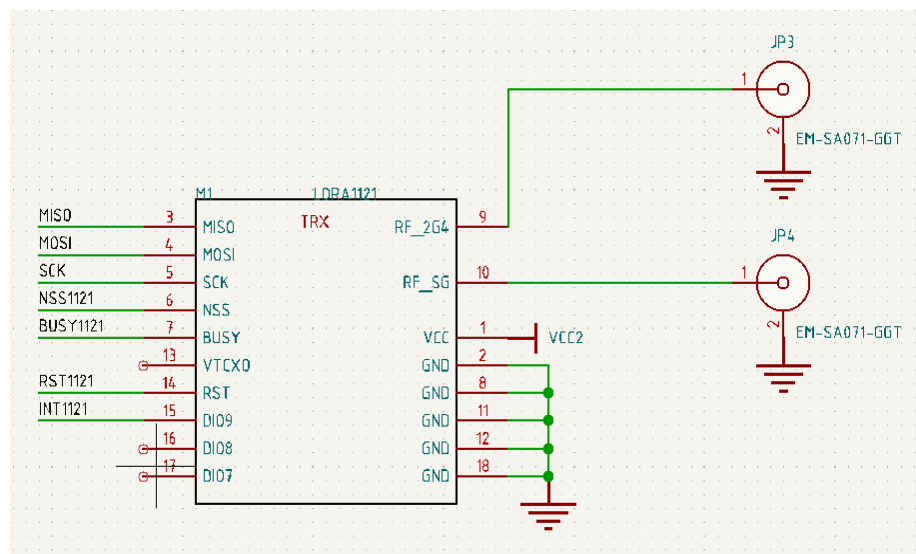


Рисунок 3.3 - Модуль додаткових приймачів

Радіосигнали на вхід модуля подаються через коаксіальні роз'єми JP3, JP3 типу SMA.

Оскільки джерело живлення модуля додаткових приймачів буде розміщене в безпосередній близькості, в додаткових блокувальних конденсаторах потреби немає.

Принципові схеми ввімкнення OLED дисплея і кнопок керування показані на рисунках 3.4 і 3.5 відповідно.

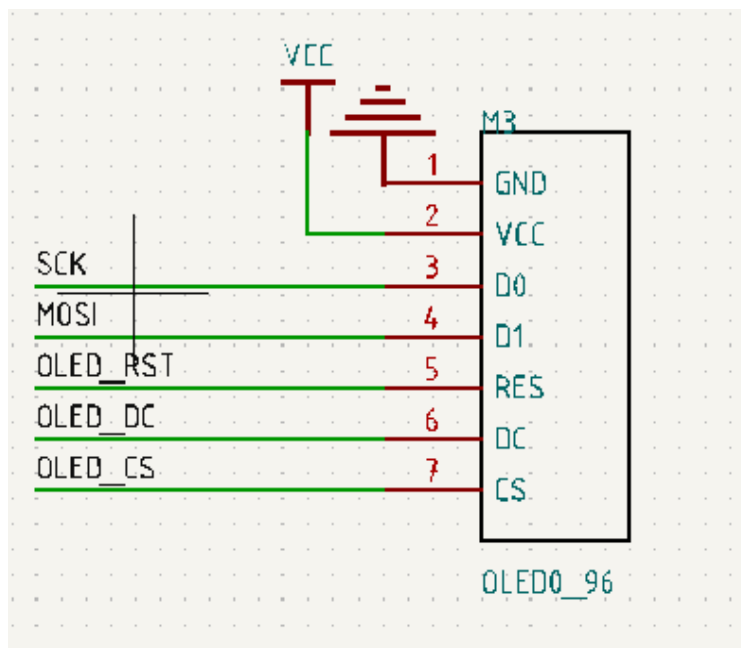


Рисунок 3.4 - OLED дисплей

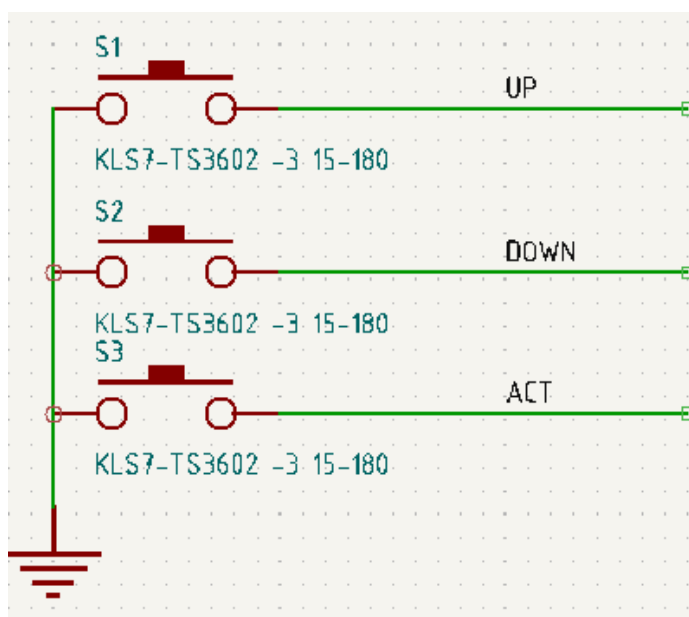


Рисунок 3.5 - Кнопки керування

Схема перетворювача інтерфейсів USB/UART виконана згідно рекомендацій виробника мікросхеми CP2102 і показана на рисунку 3.6. Призначення контактів роз'єму USB Type C зображене на рисунку 3.7.

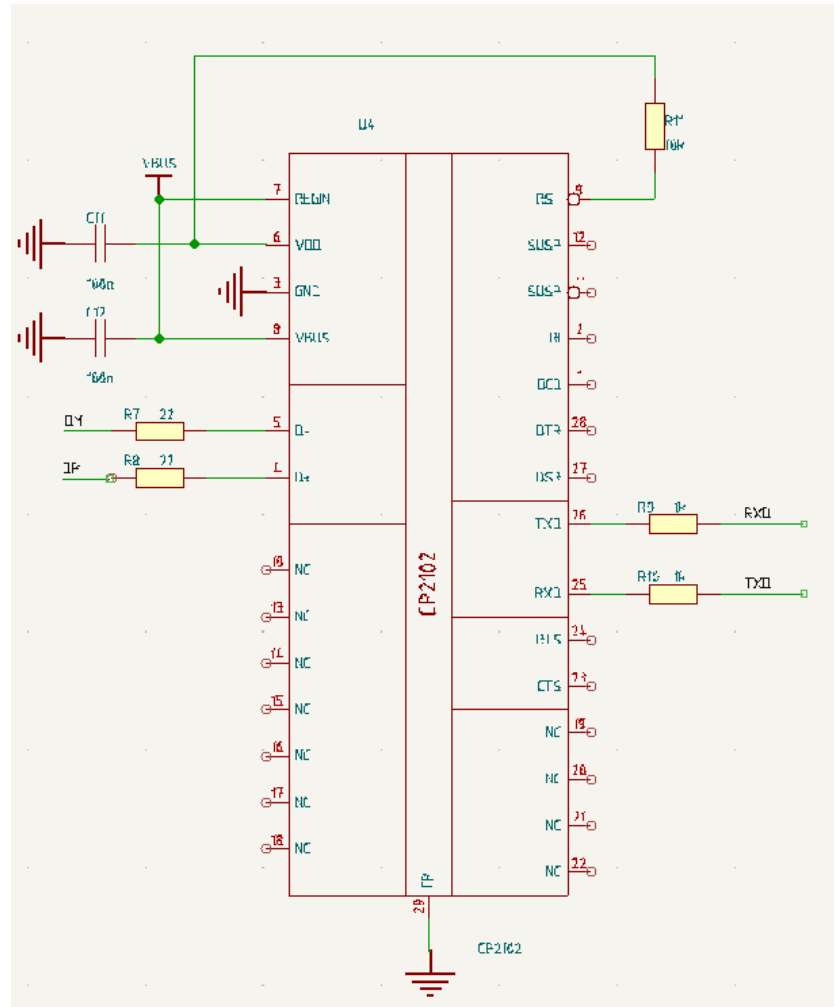


Рисунок 3.6 - Перетворювач інтерфейсів USB/UART

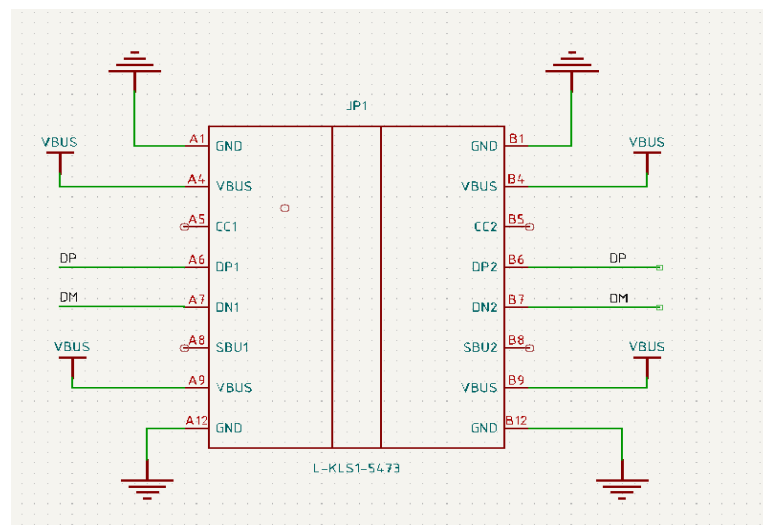


Рисунок 3.7 - Роз'єм USB Type C

Живлення пристрою може здійснюватися як від вбудованого Li-Ion акумулятора, так і від зовнішнього джерела живлення через роз'єм USB Type C. В останньому випадку за необхідності здійснюється також заряд акумулятора. Діодна збірка D2 призначена для автоматичного вибору джерела живлення; у випадку, коли на роз'ємі USB присутня напруга +5 В, живлення здійснюється від USB, в протилежному випадку – від акумулятора. Передбачено два варіанти встановлення акумулятора: тримач для акумулятора стандартного типорозміру 18650 і роз'єм для підключення акумулятора плоскої конструкції. Струм заряду акумулятора задається резистором R3 за формулою

$$R3 = 1000 \cdot V_{\text{PROG}} / I_{\text{BAT}}, \quad (1)$$

де $V_{\text{PROG}} = 1$ В (для режиму заряду постійним струмом), I_{BAT} – струм заряду, А. Для струму заряду 500 мА значення R3 складає 2 кОм.

Для вимірювання напруги акумулятора служить вузол на елементах R4, R5, R6, Q1. Резистори R5, R6 служать подільником напруги для АЦП мікроконтролера. MOSFET транзистор Q1 призначений для вимикання подільника як зайвого споживача в режимі зниженого енергозбереження. Світлова індикація режиму заряду виконана з застосуванням світлодіода D1 червоного кольору; в процесі заряду світлодіод світиться, по закінченні заряду гасне. Схема заряду і контролю напруги акумулятора показана на рисунку 3.8.

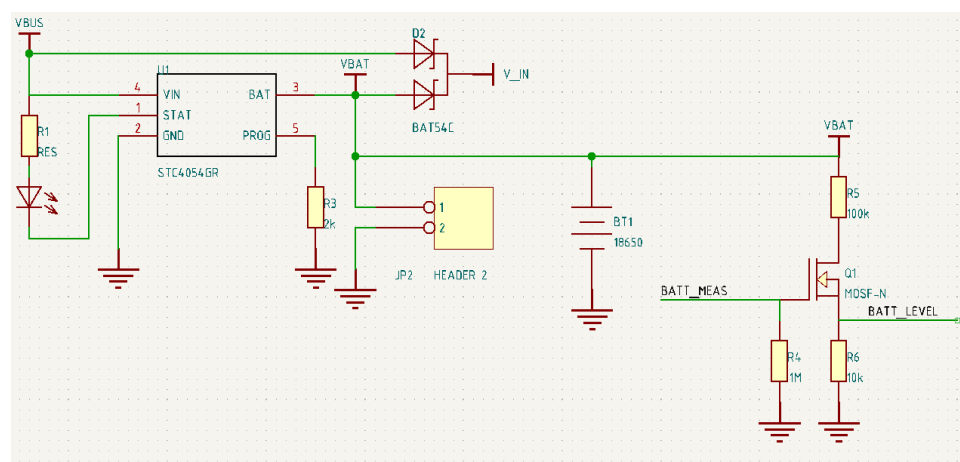


Рисунок 3.8 - Схема заряду і контролю напруги акумулятора

Живлення модуля мікроконтролера/головного приймача здійснюється

від стабілізатора напруги з малим власним енергоспоживанням. Він виконаний на основі інтегральної мікросхеми NCP551SN33T1G [37] з такими основними параметрами: максимальна вхідна напруга 12 В, вихідна напруга 3,3 В, максимальний струм навантаження 150 мА, власний струм споживання 4 мкА. Схема живлення модуля мікроконтролера/головного приймача зображена на рисунку 3.9.

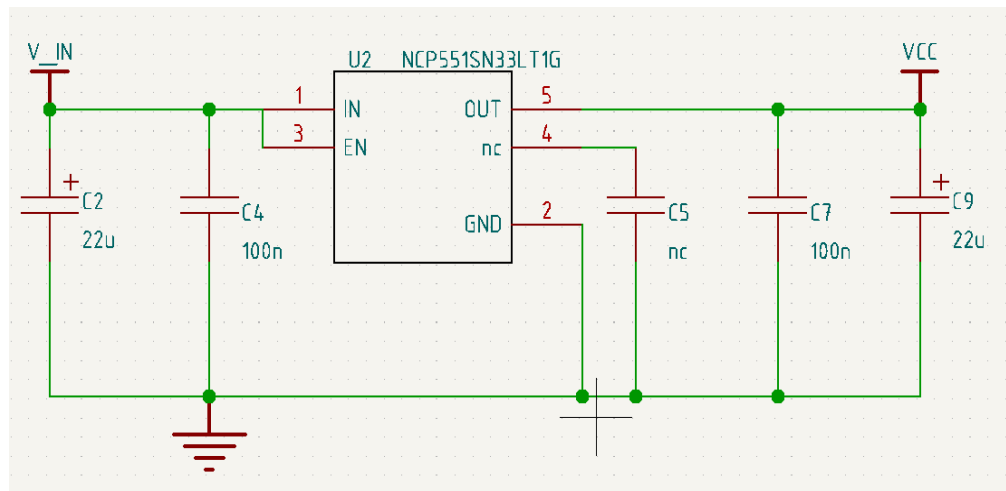


Рисунок 3.9 - Стабілізатор напруги живлення модуля мікроконтролера/головного приймача

Схема живлення модуля додаткових приймачів також виконана на основі такої ж мікросхеми. Додатково передбачено ввімкнення/вимкнення стабілізатора логічним сигналом з мікроконтролера (рис. 3.10).

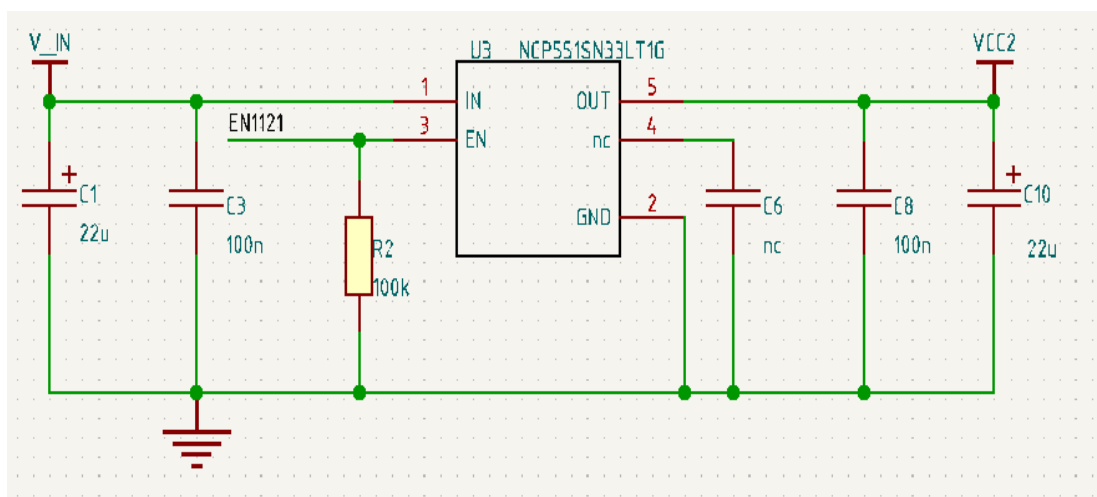


Рисунок 3.10 - Стабілізатор напруги живлення модуля додаткових приймачів

Повна принципова схема пристрою, виконана в системі автоматизованого проектування KiCAD, показана на рис. 2 у додатку А.

3.4 Розробка друкованої плати

Контур друкованої плати задається такими основними факторами, як розміри пристрою, розміри габаритних компонентів та точки кріплення до корпусу. В даному випадку конструкція пристрою досить проста, друкована плата має форму прямокутника, довжина котрого визначається в основному розміром найбільшого компонента – тримача акумулятора типорозміру 18650 і складає 90 мм. Ширина визначається необхідністю зручного розміщення решти компонентів і можливості трасування, в даному випадку вона склала 62 мм. 4 отвори для кріплення до корпусу діаметром 3,2 мм розміщені в кутах плати на відстані 4 мм від кожного з країв.

При розміщенні електронних компонентів необхідно забезпечити виконання наступних умов: розміщення компонентів має забезпечити можливість і зручність монтажу і демонтажу; органи керування і індикації, акумулятор, роз'єми зовнішніх інтерфейсів повинні займати заздалегідь визначені місця; коаксіальні роз'єми для підключення антен мають знаходитися на верхньому краю плати, відстань від роз'ємів до модулів приймачів має бути мінімальною. Також мають задовольнятися умови, вказані в технічній документації на застосовані електронні компоненти.

При трасуванні друкованої плати необхідно забезпечити виконання наступних умов: траси проходження радіочастотних сигналів повинні мати хвильовий опір 50 Ом і надійно екрановані; траси живлення повинні мати мінімальний опір; технологічні норми на ширину трас, проміжки між ними, діаметри отворів мають бути в межах, котрі забезпечують виготовлення друкованої плати з мінімальними затратами коштів. Також мають бути виконані умови, вказаних в технічній документації на застосовані електронні компоненти.

Трасування друкованої плати виконане в інтерактивному режимі в

системі автоматизованого проєктування KiCAD. 3D-вигляд друкованої плати показаний на рисунках 2,3 в Додатку А.

Документація для виготовлення друкованої плати генерується автоматично в редакторі друкованих плат KiCAD. Кожному шару плати відповідає окремий Gerber-файл в стандартному форматі RS-274-X. Мінімальний набір файлів для виготовлення двoshарової друкованої плати показаний на рисунку 3.11.

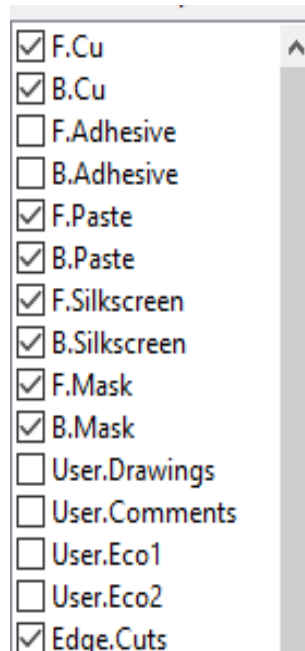


Рисунок 3.11 - Набір Gerber-файлів для виготовлення двoshарової друкованої плати

F.Cu: провідники лицьової сторони;

B.Cu: провідники зворотньої сторони;

F.Paste: шаблон для нанесення паяльної пасти для лицьової сторони;

B.Paste: шаблон для нанесення паяльної пасти для зворотньої сторони;

F.Silkscreen: графіка лицьової сторони (написи, зображення);

B.Silkscreen: графіка зворотньої сторони;

F.Mask: захисна маска лицьової сторони;

B.Mask: захисна маска зворотньої сторони;

Edge.Cuts: контур друкованої плати.

Також генерується файл свердління .drl. Згенерований набір файлів у

вигляді архіву передається виробнику друкованої плати. В разі необхідності до архіву додається також текстовий файл з описом призначення шарів і додатковими поясненнями.

3.5 Розробка вбудованого програмного забезпечення

До засобів розробки вбудованого програмного забезпечення входять: транслятори (компілятори) мов програмування високого рівня; транслятори мови асемблера; лінкери; програмні і апаратні засоби завантаження та налагодження програмного забезпечення. Також до засобів розробки можна віднести бібліотечні файли від виробників. Як правило, для зручності роботи засоби розробки об'єднуються в єдине середовище з графічним інтерфейсом, котре має назву САПР (система автоматизованого проєктування) або ж IDE («Integrated Development Environment»).

Оскільки в даному пристрої застосовано мікроконтролер на базі процесорного ядра ARM Cortex, засоби розробки вбудованого програмного забезпечення повинні бути відповідними. На світовому ринку існує широкий спектр програмного забезпечення для здійснення розробок для мікроконтролерів на базі ядер ARM Cortex. При цьому, якщо різновидів IDE існує досить багато (як правило, кожен великий виробник пропонує середовище розробки, налаштоване на власну продукцію), то різновидів інструментарію («toolchains») лічені одиниці. З них найбільшої популярності набули інструментарії ARM (раніше – Keil), IAR і GCC. Розглянемо їх докладніше.

Набір засобів розробки ARM (Keil) [38] включає в себе: компілятор мов високого рівня C/C++, транслятор мови асемблера, компонувальник (лінкер), відладчик (дебагер) та декілька службових програмних засобів. Головною перевагою даного інструментарію є безпосередня підтримка розробників процесорного ядра ARM і, як наслідок, найвища якість вихідного коду (максимальна швидкодія при мінімальному об'ємі зайнятої пам'яті). Продукт є комерційним з досить високою вартістю ліцензії на використання. Але для

окремих видів мікроконтролерів кількох виробників існують безкоштовні ліцензії (оплата ліцензій здійснена виробниками). Прикладами є мікроконтролери STM32 на базі процесорного ядра Cortex-M0 (серій STM32F/L/G/C0xx), а також всі мікроконтролери на базі ядер Cortex виробництва Nuvoton. Також є дві опції безкоштовного застосування інструментарію ARM/Keil з навчальною метою або для некомерційного використання: перша – з обмеженням об'єму вихідного коду 32 кілобайти, друга, менш відома – ліцензія «Community edition» без такого обмеження, але з обмеженими додатковими можливостями.

Набір засобів розробки від норвезької фірми IAR Systems [39] наближується до ARM/Keil за якістю і має співставну ціну ліцензій, але для безкоштовного некомерційного використання доступна лише опція з обмеженням об'єму вихідного коду 32 кілобайти, що для виконання даного завдання може бути недостатньо.

Інструментарій GCC (GNU Compiler Collection) [40], на відміну від двох попередніх, є безкоштовним для будь-яких сфер застосування. Окрім архітектури ARM, підтримуються також інші архітектури – MIPS, AVR, MSP430 і т.д. Розробка і розвиток даного продукту ведеться широкою інтернет-спільнотою з залученням представників компаній-виробників мікроконтролерів. Більшість виробників включають у власні середовища розробки саме цей інструментарій. Деяким недоліком є неоптимальність результатів компіляції – в середньому об'єм бінарного коду, отриманого за допомогою GCC, на 30...50% більший, ніж у випадку застосування ARM/Keil.

З урахуванням зазначеного вище на першому етапі розробки вибране середовище Keil uVision 5 (ліцензія «Community Edition») з можливістю подальшого переходу на GCC.

Вбудоване програмне забезпечення складається з таких основних модулів: головний модуль програми («main.c»); модуль роботи з радіоприймачами («radio_proc.c»); модуль обслуговування дисплея («gui.c»), модуль меню режимів роботи і налаштувань («menu.c»), модуль командного

інтерфейсу («app_cli.c»).

В модулі «main.c» виконуються початкові налаштування мікроконтролера і периферійних пристроїв, після чого відбувається перехід до головного циклу програми. Блок-схема головного модуля програми зображена на рисунку 3.12.

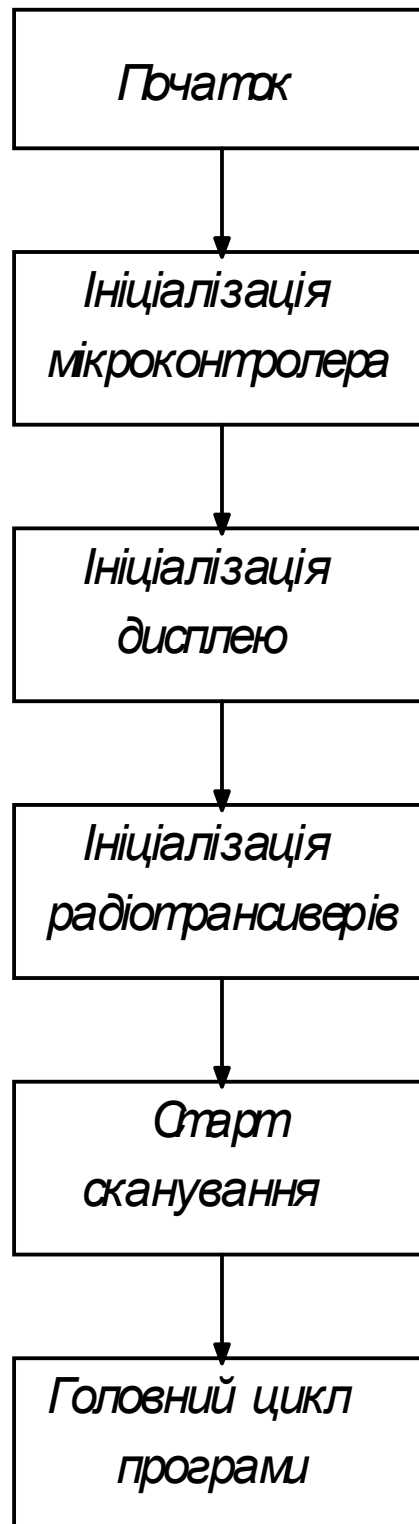


Рисунок 3.12 - Блок-схема головного модуля програми

В головному циклі виконуються наступні процедури: викликається функція «radio_proc()», в котрій відбувається вимірювання рівня радіосигналу і виведення відповідної інформації; далі викликається функція «cli_proc()», котра відповідає за обслуговування команд по інтерфейсу UART, у випадку, якщо по UART було подано команду, вона виконується; перевіряється, чи натискалася кнопка переходу в режим меню і у випадку, якщо натискалася, відбувається перехід в цей режим. Блок-схема головного циклу програми зображена на рисунку 3.13.

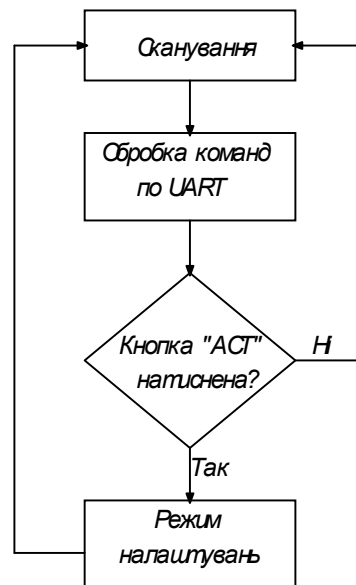


Рисунок 3.13 - Блок-схема головного циклу програми

Код головного модуля програми наведений нижче.

```

int main(void)
{
    init_power_clk();//ініціалізація живлення і тактування (в bsp.c)
    init_peripherals();//ініціалізація периферії МК (в bsp.c)
    delay_ms(100); //затримка на час перехідних процесів
    cli_init();//старт командного інтерфейсу
    SSD1306_Init();//ініціалізація контролера дисплея
    SSD1306_Clear(0); //очистка дисплея

    //стартове повідомлення в UART
    printf("\r\nMULTIBAND RADIO PLATFORM\r\n");
    printf("HW=%d,FW=%d,%d\r\n",HW_VERSION,FW_VERSION,FW_REVISION);
    init_radio_specific();//ініціалізація радіотрансиверів (в bsp.c)
    delay_ms(100); //затримка на час перехідних процесів
    GUI_ShowString(0,0,"DUAL BAND SCAN",16,1); //стартове повідомлення

```

```

radio_startscan();//запуск сканування (в «radio.c»)
while(1)//головний цикл
{
radio_proc();//сканування
cli_proc();//обробка команд по UART у разі наявності
    if (Key == K_ENTER)//натиснена клавіша переходу в меню
    {
        Key = K_NONE;//скидання ознаки натиснутої клавіші
        radio_stopscan();//зупинка сканування
        menu_proc();//режим меню
    }
}
};//while(1)
};//main

```

Функція «radio_proc()» - головна функція для визначення наявності і вимірювання рівня радіочастотного сигналу. Блок-схема функції «radio_proc()» зображена на рисунку 3.14.

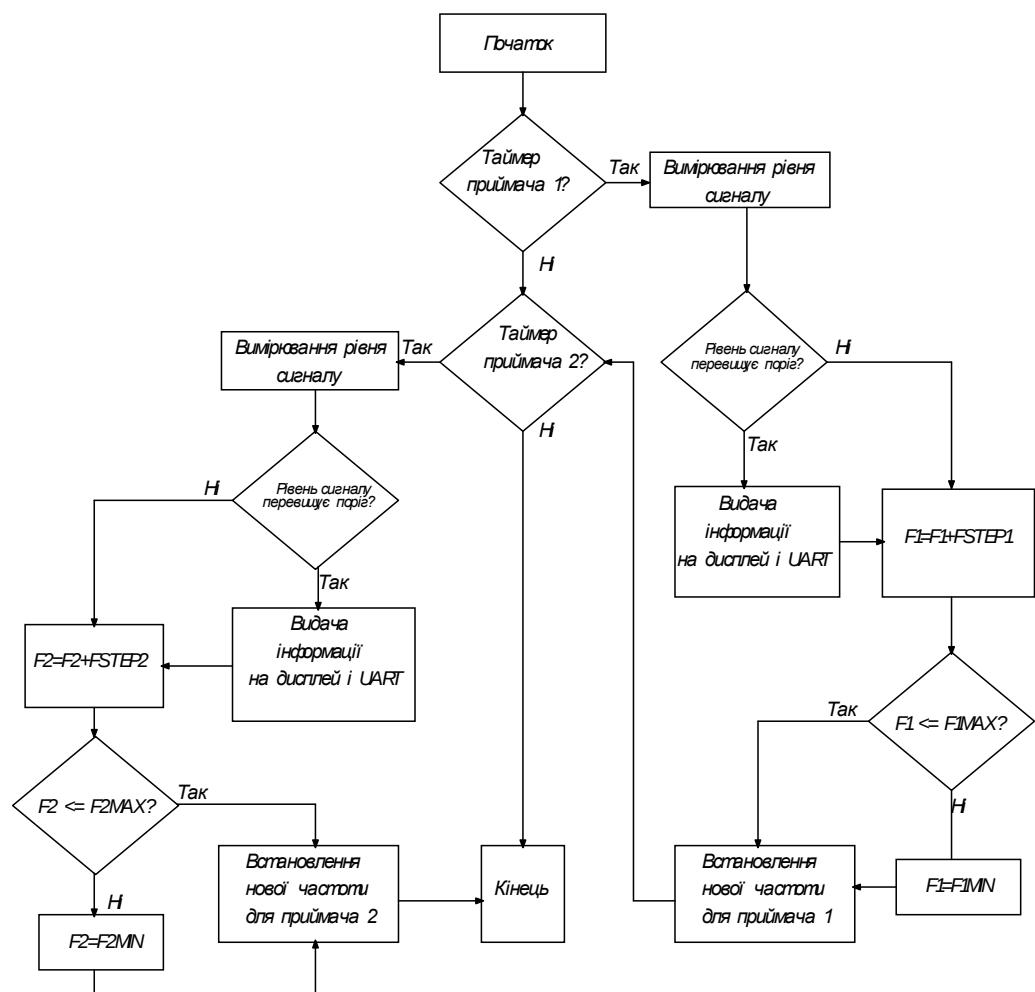


Рисунок 3.14 - Блок-схема функції «radio_proc()»

Код функції наведений нижче.

```
void radio_proc(void)
{
    uint8_t radio;//номер приймача

    for(radio = 0; radio < 2; radio++)//маємо 2 приймачі, 0 і 1
    {
        if(sweepflag[radio]) //ознака необхідності вимірювання рівня сигналу
            //визначається таймером
        {
            sweepflag[radio] = false;
            float rssi = radio_get_rssi(radio); //запит RSSI
            //перевіряємо RSSI на перевищення порогу
            if(rssi > rssi_tr[radio])
            {
                rssi_peak[radio] = rssi;
                //передаємо інформацію в UART
                printf("@R%d,%d,%d\r\n",radio,currfreq[radio] / 1000,(int8_t)rssi);
            }
            //зображуємо отримані дані на дисплеї
            display_rssi(radio,currfreq[radio]/1000,rssi_peak[radio]);
        }
        radio_fs(radio); //переходимо в режим очікування
        currfreq[radio] += freqstep[radio]; //додаємо крок частоти
        if(currfreq[radio] >= stopfreq[radio]) //частота вище максимальної
        {
            currfreq[radio] = startfreq[radio];
        }

        radio_set_frequency(radio,currfreq[radio]); //встановлюємо частоту
        radio_rx(radio); //відновлюємо режим прийому
    }
}
```

Всі функції роботи з радіотрансиверами базуються на програмних бібліотеках від їх виробника – компанії Semtech Inc [41]. Бібліотеки частково модифіковані з метою забезпечення можливості роботи з кількома трансиверами одного типу (доданий параметр – номер трансивера).

До процедур низького рівня відносяться: функції початкового налаштування мікроконтролера; функції взаємодії мікроконтролера з

зовнішніми пристроями (обслуговування інтерфейсів GPIO, SPI, UART, аналогово-цифрового перетворювача та інших периферійних пристроїв). Розробка даних процедур виконана в основному на базі периферійної бібліотеки LL (Low-Level) від ST Microelectronics [42].

До складу модулів HAL входять: «sx126x_interface.c», «lr112x_interface.c» - функції інтерфейсу радіотрансиверів SX1262 і LR1121 відповідно; «ssd1306_interface.c» - функції інтерфейсу контролера OLED дисплею; «retarget.c» - функції перенаправлення потоку вводу-виводу в UART; «bsp.c» - функції ініціалізації периферії, а також бібліотека «LL» від ST Microelectronics для роботи з вбудованою периферією мікроконтролера.

До сервісних програмних модулів відносяться: «menu.c» - налаштування пристрою за допомогою органів керування та «app_cli.c» - обробка команд по інтерфейсу UART. Застосовані сторонні бібліотеки: Micromenu [43] – «Micromenu.c» і CLI від Silicon Laboratories – «command_interpreter.c».

Дані модулі забезпечують встановлення налаштувань пристрою і режимів його роботи.

3.6 Монтаж прототипу пристрою

Монтаж прототипу пристрою здійснений в умовах домашньої лабораторії за допомогою паяльної станції ВК-878.



Рисунок 3.15 - Паяльна станція ВК-878

Зовнішній вигляд зібраного пристрою без корпусу і антен зображений на рис. 5 в Додатку А.

3.7 Налагодження прототипу пристрою

Налагодження прототипу пристрою можна розділити на такі основні етапи:

- перевірка схеми живлення;
- перевірка інтерфейсу USB;
- програмування мікроконтролера і налагодження вбудованого програмного забезпечення;
- перевірка функціонування і вимірювання основних параметрів.

3.8 Випробування в реальних умовах експлуатації

Перед випробуваннями здійснено такі початкові налаштування пристрою:

- діапазон робочих частот приймача 1: (300...600) МГц;
- крок зміни частоти приймача 1: 100 кГц;
- смуга пропускання приймача 1: 125 кГц;
- поріг визначення наявності сигналу для приймача 1: -115 dBm;
- діапазон робочих частот приймача 2: (600...2700) МГц;
- крок зміни частоти приймача 2: 1 МГц;
- смуга пропускання приймача 2: 250 кГц;
- поріг визначення наявності сигналу для приймача 2: -90 dBm;
- період сканування: 10 мс для обох приймачів.

Вигляд меню при налаштуваннях пристрою показаний на рисунку 5 та 6 в Додатку А.

Робота пристрою показана на рисунках 7, 8 в Додатку А.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Питання забезпечення безпеки праці відіграє центральну роль у контексті сталого соціально-економічного розвитку та покращення добробуту громадян. Втілення в життя та дотримання вимог охорони праці позитивно впливає на продуктивність, призводить до скорочення витрат на медичне забезпечення та лікування персоналу та сприяє створенню здорового робочого клімату. Всі, дотичні до розроблення та застосування положень про безпеку умов праці, повинні усвідомлювати, що приділення належної уваги охороні праці є нагальною потребою для входження України до європейського простору, оскільки це є необхідним у розрізі загальноприйнятих стандартів і вимог щодо умов праці. Забезпечення захисту працівників від небезпек на робочому місці є фундаментальним аспектом розвитку людських ресурсів та запорукою стабільного економічного підйому. [44]

Під час розробки радіоелектронного пристрою для виявлення електромагнітних випромінювань та аналізу їх характеристик на дослідника, згідно Гігієнічної класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, могли мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищена чи понижена вологість повітря; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; підвищена чи понижена іонізація повітря; недостатня освітленість робочої зони; підвищена яскравість світла; понижена контрастність; пряма і відбита блискість.

2. Психофізіологічні: статичне перевантаження та розумове перевантаження.

Відповідно до наведених факторів здійснюємо розробку заходів щодо безпечного виконання поставленого завдання.

4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

Продуктивність праці безпосередньо залежить від організації робочого місця, яка забезпечує комфорт і зручність для співробітників. Раціональне використання робочого місця допомагає мінімізувати втрати часу та енергії при виконанні поставлених завдань. Також, належна організація робочого місця мінімізує ймовірність травматизму та професійних захворювань, викликаних некомфортним положенням тіла або неправильними рухами. Впровадження принципів ергономічної організації робочого місця є суттєвою частиною політики охорони праці та сприяє підвищенню загального рівня задоволеності працівників своєю роботою. Оптимізований робочий простір є не лише умовою для зростання ефективності праці, але й поліпшує загальне самопочуття співробітників. Грамотне розміщення обладнання, меблів, врахування вимог просторового дизайну може позитивно вплинути на психологічний стан працівників колективу та знизити фактори стресу для них під час роботи. [45]

З метою забезпечення належних умов праці, роботодавець зобов'язаний облаштувати робочі місця згідно з нормами комфорту та безпеки, визначеними відповідними стандартами. Положення НПАОП 0.00-7.15-18 [45] регламентують, що кожне робоче місце повинно мати площу не менше ніж 6 м². Для співробітників, чия робота пов'язана з використанням комп'ютерів, допускається відокремлення робочих зон за допомогою перегородок висотою до 2-х метрів. Розрахунок необхідного об'єму приміщення здійснюється з урахуванням розміщення меблів та технічного обладнання. На даний момент площа розглядуваного приміщення становить 30,4 квадратних метри, а його об'єм – 105 кубічних метрів. У цьому просторі працює чотири особи, що забезпечує кожному працівнику 7,6 м² площі та 26,3 м³ об'єму. Наведені показники свідчать про відповідність організації робочих місць встановленим вимогам.

Для максимального використання потенціалу співробітників та

запобігання можливим проблемам зі здоров'ям важлива продумана організація їхнього робочого простору. Робоче місце інженера-розробника потребує обладнання, яке дозволить розмістити необхідні додаткові пристрої, такі як принтер, аудіосистема та сканер, а також забезпечить зручне зберігання робочих матеріалів. При цьому необхідно контролювати, щоб таке розміщення не обмежувало огляд монітора та не створювало незручностей у роботі. Відповідно до сучасних норм безпеки та гігієни праці, необхідно забезпечити, щоб робочий стіл та стілець відповідали ергономічним вимогам і сприяли комфортному положенню тіла. Оптимальне розташування обладнання на робочому столі сприяє підвищенню продуктивності та зручності робочого процесу. Також важливо враховувати ергономічні характеристики меблів для попередження можливого напруження м'язів та травм. Наприклад, правильно підібрані стіл і стілець є важливим фактором для збереження здоров'я працівників та підвищення їхньої працездатності. [46]

Під час виконання роботи забороняється:

- виконувати обслуговування або ремонт комп'ютера та іншого електрообладнання на робочому місці працівника;
- виконувати ремонт або налагодження комп'ютерного та іншого спеціального обладнання без залучення фахівців, які мають відповідні навички та кваліфікацію;
- проводити самостійні роботи з обслуговування комп'ютерної та вимірювальної техніки, що може привести до можливих несправностей, втрати даних або погіршення метрологічних характеристик;
- накопичувати на робочому столі зайві предмети, що може зашкодити комфортному та ефективному виконанню завдань;
- використовувати монітори з дефектами зображення. [47]

При прийнятті на роботу кожен працівник зобов'язаний пройти медичний огляд і в подальшому проходити його з періодичністю щонайменше один раз на два роки. Проведення медичного огляду включає консультацію терапевта, невропатолога та офтальмолога, а також інших медичних

спеціалістів у разі необхідності, ця процедура є обов'язковою для всіх працівників. Має бути встановлений чіткий розклад регулярних перерв для відпочинку, додатково до обідньої перерви. Як правило, такі перерви тривають від 10 до 15 хвилин і надаються з періодичністю 1-2 години, в залежності від характеру та складності роботи. У будь-якому випадку роботодавець забезпечує такий робочий графік, щоб тривалість безперервної роботи за комп'ютером не перевищувала 4 години. Також, для підтримки загального стану здоров'я та працездатності працівників, бажано виділити спеціальні приміщення для відпочинку та спортивні майданчики на відкритому повітрі, які допоможуть зняти фізичне та нервово-емоційне напруження, яке можна виникати під час роботи з комп'ютерним та іншим електронним обладнанням.

У досліджуваному приміщенні наявна групова трипровідна мережа для живлення персональних комп'ютерів, периферійних пристроїв, і обладнання, призначеного для обслуговування, ремонту та налагодження ПК. Ця мережа складається із трьох провідників: фазового, нульового робочого та нульового захисного. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення електропристроїв. [48]

Для забезпечення електробезпеки необхідно дотримуватися ПУЕ. Основні причини, які можуть призвести до ураження працівника під час виконання роботи, включають:

- ймовірність дотику до металевих неструмопровідних частин, таких як корпус комп'ютера, периферійні пристрої та вимірювальні прилади. Ці частини можуть опинитись під напругою, якщо ізоляція їх пошкоджена або відсутнє захисне заземлення;

- використання електричних приладів без дотримання встановлених правил і стандартів;

- відсутність інструктажу співробітників щодо правил електробезпеки та процедур у разі виникнення небезпеки.

Під час роботи з електричним обладнанням слід завжди перевіряти стан

ізоляції та заземлення, уникаючи пошкодження або торкання металевих деталей до струмопровідних елементів. Обов'язковою є періодична перевірка та технічне обслуговування всього електрообладнання для попередження можливих аварій.

Дотримання електробезпеки у приміщенні, де здійснювалося дослідження, важливе для запобігання ураженню електричним струмом, що досягається такими способами і заходами:

Ізоляція струмоведучих елементів комп'ютерів та їх периферійних пристроїв, з нарахуванням запобігання можливим випадковим контактам з ними.

Захисне заземлення для металевих неструмоведучих частин, що можуть опинитися під напругою в разі пошкодження ізоляції.

Інструктаж і навчання працівників правилам безпеки при роботі з електронікою. Це включає у себе інформування про потенційні ризики та навчання, як уникати їх.[49]

Перевірка знань та дотримання правил безпеки, залежно від займаної посади та характеру роботи.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

Мікроклімат у виробничих приміщеннях повинен забезпечувати комфортні умови праці та підтримку працездатності персоналу. Такі параметри мікроклімату, як температура, вологість, чистота повітря, відіграють ключову роль у формуванні оптимального робочого оточення. Некомфортна температура, недостатнє провітрювання, висока вологість, занадто сухе повітря можуть викликати незручності та негативно впливати на результати праці. Тому важливо дотримуватися встановлених нормативів та забезпечувати належний мікроклімат у приміщеннях, щоб забезпечити комфортні умови для працівників та зберегти їх працездатність. Мікроклімат виробничих приміщень нормується в залежності від категорії робіт по важкості і періоду

року. Категорія виконуваних робіт під час виконання дослідження – 1а, допустимі значення параметрів мікроклімату наведені в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Параметр мікроклімату	Величина
Холодний	Температура повітря в приміщенні	21 ... 25 ° C
	Відносна вологість	40 ... 60%
	Швидкість руху повітря	до 0,1 м / с
Теплий	Температура повітря в приміщенні	22 ... 28 ° C
	Відносна вологість	40 ... 60%
	Швидкість руху повітря	0,1 ... 0,2 м / с

З метою забезпечення визначених параметрів мікроклімату виробничих приміщень використовується загальна система опалення та система вентиляції. Для кожної вентиляційної установки складено паспорт, який містить технічну інформацію та схему розташування установки. [50]

Оскільки повітряне середовище відіграє ключову роль у забезпеченні життєдіяльності людини, його хімічний склад та фізичні параметри суттєво впливають на здоров'я та комфорт працівників. Такі фізичні характеристики мікроклімату, як температура, вологість, тиск та швидкість руху повітря, обумовлюють комфорт і продуктивність праці. Також на самопочуття працівника і продуктивність праці можуть впливати такі фактори, як звуковий фон, електромагнітні поля та пов'язана з ними іонізація повітря. Безпека праці значною мірою залежить від мікроклімату, тому забезпечення його оптимальних параметрів є обов'язковою умовою при організації робочих процесів. Допустимі рівні шкідливих речовин, що регулюються згідно з вимогами ДСН 3.3.6.042-99 [50], наведені у таблиці 4.2.

Під час виконання дослідження із використанням ПК важливо, щоб повітря мало певний іонний склад. Рівні позитивних і негативних іонів у повітрі приміщень з ПК мають відповідати санітарно-гігієнічним нормам (табл. 4.3). [51]

Таблиця 4.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Оксид азоту	5	2	3
Вуглекислий газ	3	1	4
Пил нетоксичний	25	10	4
Озон	0,16	0,03	1

Таблиця 4.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n ⁺	n ⁻
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється за допомогою системи вентиляції, регулярного провітрювання, та вологого прибирання.

Для забезпечення комфортних умов для зорової праці, запобігання швидкій втомі очей, професійним захворюванням та нещасним випадкам, а також для підвищення продуктивності, необхідно, щоб виробниче освітлення відповідало таким вимогам:

1. Забезпечення належного рівня освітленості на робочій поверхні, який відповідає характеру зорової роботи і не опускається нижче встановлених норм.
2. Уникнення сліпучого світла як від джерела освітлення, так і від інших предметів, що потрапляють у поле зору.
3. Підтримання сталого і рівномірного рівня освітлення виробничих приміщень, щоб уникнути постійної переадаптації очей.
4. Попередження появи глибоких тіней на робочій поверхні, особливо тих, що можуть змінюватися протягом роботи.
5. Забезпечення достатнього контрасту між освітленою поверхнею та

робочим об'єктом для зручного розрізнення деталей.

6. Забезпечення надійності та простоти обслуговування системи освітлення, а також врахування економічних та естетичних аспектів.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО при природному та сумісному освітленні (характеристика зорової роботи – високої точності згідно з ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення») [54] зазначені у таблиці 4.4:

Таблиця 4.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фону	Освітленість, лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Високої точності	0,3 -0,5	III	г	великий	світлий	700	300	5	2	3	1,2

Для підвищення ефективності використання природного освітлення в приміщенні регулярно очищуються вікна від пилу та встановлені жалюзі. Щодо штучного освітлення, як джерела світла використані люмінесцентні лампи. Важливо, щоб світильники були розташовані рівномірно, із забезпеченням оптимальної освітленості на робочих поверхнях та у всьому приміщенні. [52]

Виробничий шум має значний вплив на самопочуття і продуктивність праці. Зокрема впливає на стан центральної нервової системи (наприклад, монотонний шум може викликати сонливість, гучні звуки – порушення уваги і навіть стресовий стан). Тривалий вплив шуму з рівнем понад 85 дБ може викликати ослаблення слуху. Основними джерелами шуму в приміщеннях, де виконувалася робота, були вентилятори системних блоків комп'ютерів, принтери та інша офісна техніка. Рівні звукового тиску в октавних смугах

частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях, обладнаних ПК, повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.037-99 [49] (див. таблицю 4.5).

Таблиця 4.5 - Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

На робочому місці рівень шуму є нижчим за нормований. У разі появи значного рівня шуму, використовують шумоізоляційні матеріали в інтер'єрі, зокрема меблі та обробка приміщень звукоізоляційними матеріалами, що може сприяти зниженню внутрішнього відбиття звуку. Додатково, може бути корисним оптимізувати розташування робочих місць, віддаливши їх від джерел шуму або використовуючи перегородки для виділення тих зон, де шум може бути інтенсивнішим. Регулярні перерви для відпочинку та дотримання раціонального режиму праці та відпочинку також є доцільними заходами зменшення впливу шуму на працівників. [53]

Комп'ютерні компоненти та інше обладнання, котре має живлення від мережі змінного струму, генерують змінні електричні та магнітні поля. Гранично допустимі рівні цих полів регулюються чинними нормами законодавства України, зокрема Державними санітарними правилами та нормами ДСанПіН 3.3.2.007-98 [48], а також європейським стандартом MPR II. У випадку неправильної організації робочого місця джерелами електромагнітних полів можуть бути системний блок комп'ютера, монітор, периферійне обладнання, мережеві і сигнальні кабелі.

Напруженість електростатичного поля на робочих місцях з персональними комп'ютерами в зоні розміщення обладнання не має перевищувати гранично допустимих значень, вказаних в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Допустимі параметри електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	10 В/м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	0,3 А/м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати:	для дорослих користувачів 20кВ/м для дітей 15кВ/м

Для зменшення впливу ЕМП на працівника необхідно дотримуватися раціонального режиму роботи та відпочинку, встановленого нормативними вимогами.

4.3 Пожежна безпека

Пожежна безпека – стан об’єкта, при якому виключається можливість пожежі, а в разі його виникнення запобігається вплив на людей небезпечних факторів пожежі і забезпечується захист матеріальних цінностей. Пожежна безпека забезпечується системою запобігання пожежі і системою пожежного захисту.

Пожежна безпека приміщення повинна відповідати вимогам Кодексу цивільного захисту України та НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» [55]. За вибуховою і пожежною небезпекою приміщення належить до категорії Д, згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [56]. У приміщенні знаходяться ПК та інша оргтехніка, що можуть спричинити пожежу. Згідно даних наведених у таблиці 3.1 будівля, в якій знаходиться приміщення, має II ступінь вогнестійкості, а приміщення можна віднести до категорії вибухопожежонебезпеки В (таблиці 4.7). Клас приміщення і зон з вибухо- і пожежонебезпеки П-Па (приміщення, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.) [54]

Таблиця 4.7 – Визначення ступеня вогнестійкості будівельних конструкцій

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см)							
	стіни				колонни	сходові площадки, косоури, сходи, балки, марші сходових кліток	перекриття міжповерхові (у т. ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів
	несучі та сходових кліток	самонесучі	зовнішні несучі	внутрішні несучі (перегородки)				плити, настили, прогони балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E15, M0 E30, M1	EI 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються

Для запобігання виникнення пожежі в приміщенні застосовують такі заходи:

- щорічне проведення повторних протипожежних інструктажів та занять за програмою пожежно-технічного мінімуму з особами, що відповідальні за пожежну безпеку;
- утримання в справному стані засобів протипожежного захисту;
- своєчасне інформування про несправність пожежної техніки, систем протипожежного захисту, водопостачання тощо.

Електромережі, електроприлади і апаратура експлуатується тільки у справному стані з урахуванням вказівок та рекомендацій підприємств-виготовлювачів. У разі виявлення пошкоджень електромереж, вимикачів, розеток та інших електровиробів слід негайно вимкнути їх та вжити необхідних заходів щодо приведення в пожежобезпечний стан.

Протипожежний захист – це комплекс організаційних і технічних

заходів, спрямованих на забезпечення безпеки людей, запобігання пожежі, обмеження її розповсюдження, а також на створення умов для успішного гасіння пожежі.

У всіх службових приміщеннях обов'язково повинен бути «План евакуації людей при пожежі», що регламентує дії персоналу у разі виникнення вогнища загоряння і в якому зазначено місця розташування пожежної техніки. Як відомо пожежа може виникнути при взаємодії горючих речовин, окислення і джерел запалювання. У робочому приміщенні присутні всі три основні чинники, необхідні для виникнення пожежі. Горючими компонентами є: будівельні матеріали для акустичної і естетичної обробки приміщень, перегородки, двері, підлоги, ізоляція кабелів, пластикові труби та інші матеріали. [55]

Джерелами запалювання у ВЦ можуть бути електронні схеми від ПК, прилади, застосовувані для технічного обслуговування, пристрої електроживлення, кондиціонування повітря, де внаслідок різних порушень утворюються перегріті елементи, електричні іскри та дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів. У сучасних ПК дуже висока щільність розміщення елементів електронних схем. У безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні дроти, кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливо оплавлення ізоляції. Для відведення надлишкової теплоти від ЕОМ служать системи вентиляції та кондиціонування повітря. При постійній дії ці системи представляють собою додаткову пожежну небезпеку.

При проведенні обслуговуючих, ремонтних і профілактичних робіт використовуються різні мастильні речовини, легкозаймисті рідини, прокладаються тимчасові електропровідниками, ведуть пайку та чистку окремих вузлів. Виникає додаткова пожежна небезпека, яка потребує додаткових заходів пожежного захисту. Зокрема, при роботі з паяльником слід використовувати неспалену підставку з нескладними пристроями для зменшення споживаної потужності в неробочому стані.

Однією з найбільш важливих завдань пожежної захисту є захист будівельних приміщень від руйнувань та забезпечення їх достатньої міцності в умовах впливу високих температур при пожежі. З огляду на високу вартість електронного устаткування приміщення, а також категорію його пожежної небезпеки, будинки для ВЦ і частини будинку іншого призначення, в яких передбачено розміщення ПК повинні бути 1 і 2 ступеня вогнестійкості.

Для виготовлення будівельних конструкцій використовуються, як правило, цегла, залізобетон, скло, метал та інші негорючі матеріали. Застосування дерева повинна бути обмежено, а в разі використання необхідно просочувати його вогнезахисними складами. [56]

До засобів гасіння пожежі, призначених для локалізації невеликих загорянь, відносяться внутрішні пожежні водопроводи, вогнегасники, сухий пісок, азбестові ковдри і т. д. Застосування води в машинних залах ПК, сховищах носіїв інформації, приміщеннях контрольно-вимірювальних приладів, зважаючи на небезпеку пошкодження або повного виходу з ладу дорогого устаткування можливо у виняткових випадках, коли пожежа приймає загрозливо великі розміри. При цьому кількість води повинна бути мінімальною, а пристрої ПК необхідно захистити від попадання води, накриваючи їх брезентом або полотном.

Для гасіння пожеж на початкових стадіях широко застосовуються вогнегасники. У приміщенні застосовуються головним чином вуглекислотні вогнегасники, перевагами якого є висока ефективність гасіння пожежі, схоронність електронного устаткування, діелектричні властивості вуглекислого газу, що дозволяє використовувати ці вогнегасники навіть у тому випадку, коли не вдається знеструмити електроустановку відразу.

ВИСНОВКИ

В результаті виконаної бакалаврської кваліфікаційної роботи було досягнуто основної мети – створено портативний пристрій для виявлення електромагнітних (радіочастотних) сигналів і аналізу їх параметрів.

У першому розділі роботи розглянуто основні теоретичні відомості про електромагнітні сигнали, їх джерела, властивості і характеристики.

У другому розділі зроблено загальний огляд пристроїв для виявлення і аналізу електромагнітних сигналів. Розглянуто різні типи пристроїв, включаючи аналізатори спектру, осцилографи, пристрої спеціального призначення, антенні пристрої та додаткове обладнання.

Всі вищезазначені пристрої мають різні технічні та економічні характеристики, рівні складності, для ефективної роботи з ними користувачу необхідні певні знання та кваліфікація радіоінженера. Багато пристроїв не призначені для використання в польових та несприятливих погодних умовах. Деякі з них мають значні габарити або високу вартість при надлишкових функціональних можливостях. Тому, у даній роботі поставлено за мету створення саме такого радіоелектронного пристрою для виявлення різноманітного радіочастотного випромінювання та аналізу його характеристик, щоб він відповідав умовам економічної доцільності, простоти та надійності у роботі та доволі малих розмірів і ваги. До того ж, пристрій має бути автономним щодо живлення з можливістю підключення до ПК та передачі і оброблення даних в його програмному забезпеченні. Розробці такого пристрою присвячений третій розділ даної кваліфікаційної роботи.

В четвертому розділі здійснено огляд необхідних організаційних і технічних заходів з охорони праці, електробезпеки та пожежної безпеки, необхідних для ефективного і безпечного виконання роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Analog Circuit Design. RF Circuits: Wide band, Front-Ends, DAC's, Design Methodology and Verification for RF and Mixed-Signal Systems, Low Power and Low Voltage. ISBN 13 978-1-4020-3885-2 (e-book).
2. Radio Frequency Detection, Spectrum Analysis, and Direction Finding Equipment. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.dhs.gov/sites/default/files/saver-msr-rf-detection_cod-508_10july2019.pdf
3. Слободянюк П.В., Благодарний В.Г., Ступак В.С. Довідник з радіомоніторингу. ISBN 978-966-340-295-6.
4. А. А. Торба, М. О. Торба, О. О. Торба. Радіочастотні комплекси виявлення малорозмірних безпілотних літальних апаратів. УДК 621.396.92. doi: 10.26906/SUNZ.2020.4.021
5. HYEONG TAE KIM, SANGMIN LEE, HYEONTAE JOO, HWANGNAM KIM. Survey on Anti-Drone Systems: Components, Designs, and Challenges SEONGJOON PARK Department of Electrical Engineering, Korea University, Seoul 02841, South Korea.
6. Г. Г. Бортник, М. В. Васильківський, В. М. Кичак. Методи та засоби первинного цифрового оброблення радіосигналів. Монографія. Вінниця, ВНТУ, 2016.
7. Лаптев О. А., Зозуля С. О. Метод виключення відомих радіосигналів при скануванні заданого радіодіапазону. Кібербезпека: освіта, наука, техніка, №2 (22), 2023. ISSN 2663-4023, DOI 10.28925/2663-4023.2023.22.3138.
8. ICR8600 Wideband Communications SDR Receiver. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://icomuk.co.uk/IC-R8600/Receiver-Scanner_Base_Station
9. IC-R15 Communications Receiver. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://icomuk.co.uk/IC-R15-Communications-Receiver/Handheld_Receiver-Scanner

10. Spectrum Analyzer DSA800 Series. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://int.rigol.com/products/DSA_detail/DSA800

R&S®FPC Spectrum analyzer. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

11. https://www.rohde-schwarz.com/products/test-and-measurement/benchtop-analyzers/rs-fpc-spectrum-analyzer_63493-542324.html

12. SSA3021X. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://siglentna.com/product/ssa3021x/>

13. N9320B RF Spectrum Analyzer (BSA). [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.keysight.com/us/en/product/N9320B/rf-spectrum-analyzer-bsa-9-khz-3-ghz.html>

14. Spectrum Master Handheld Spectrum Analyzer MS2712E. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.anritsu.com/en-us/test-measurement/products/ms2712e>

15. R&S®RTO6 oscilloscope. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.rohde-schwarz.com/ua/products/test-and-measurement/oscilloscopes/rs-rto6-oscilloscope_63493-1079745.html

16. DS1000Z-E Series. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://int.rigol.com/products/detail/DS1000Z-EX>

17. Hantek6004EU Series. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.hantek.com/products/detail/12169>

18. DTS-2458. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://rantelon.ee/en/product/dts-2458/>

19. ARRAKIS – мобільна система для детекції дронів. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://dron-shop.com.ua/fpv/fpv-antidron/arrakis>

20. Directional Antennas Hyperlog® EMI Series. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://aaronia.com/en/produkte/antennas/hyperlog-emi>

21. TA-T22B Series. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

<https://www.unictron.com/wireless-communications/product/ta-t22b-a-x02/>

22. Широкопasmовa дипольна UHF антена Agent-405U у спецвиконанні. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://dolya.ua/ua/agent-405u/>

23. KiCad EDA. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kicad.org/>

24. Proprietary Wireless Sub-GHz and 2.4 GHz SoC. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.silabs.com/wireless/proprietary>

25. CC1352R [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ti.com/product/CC1352R>

26. CMT2380F32W. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.hoperf.com/ic/rf_transceiver/CMT2380F32W.html

27. ASR6601. LPWAN Wireless Communication SoC. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.asrmicro.com/en/goods/proinfo/23.html>

28. STM32WLE5CC. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32wle5cc.html>

29. SX1262 LoRa Connect™ Long Range Low Power LoRa® Transceiver. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-connect/sx1262>

30. E77-400M22S LoRaWan node module. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.cdebyte.com/products/E77-400M22S>

31. SX1280 LoRa Connect™ Long Range Low Power LoRa® 2.4 GHz Transceiver With Ranging. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-connect/sx1280>

32. LoRa Connect™ LR1121 for multi-band Global Connectivity. . [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-connect/lr1121>

33. LoRa1121 Sub-GHz and 2.4 GHz dual-band communication module. . [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

<https://www.nicerf.com/lora-module/lora1121-module.html>

34. CP2102. Classic USB Bridges. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.silabs.com/interface/usb-bridges/classic/device.cp2102?tab=specs>

35. STC4054. 800 mA Standalone linear Li-Ion battery charger with thermal regulation. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.st.com/en/power-management/stc4054.html>

36. SSD1306. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.solomon-systech.com/product/ssd1306/>

37. Linear Regulators (LDO)|NCP551. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.onsemi.com/products/power-management/linear-regulators-ldo/ncp551>

38. MDK-ARM. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.keil.com/demo/eval/arm.htm>

39. IAR Systems. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iar.com/>

40. GCC, the GNU Compiler Collection. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://gcc.gnu.org/>

41. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://github.com/Lora-net/SWSD003>

42. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://github.com/STMicroelectronics/stm32wlxx-hal-driver>

43. Micromenu-v2. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://github.com/abcmminiuser/micromenu-v2>

44. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу - [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58074

45. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я

працівників під час роботи з екранними пристроями. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=77160

46. НПАОП 0.00-7.13-14. Вимоги до роботодавців щодо захисту працівників від шкідливого впливу електромагнітних полів. [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=58765

47. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028

48. ДСан ПіН 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ЕОМ - [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=6007

49. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48147

50. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Електронний ресурс] – Режим доступу до сторінки: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=14283

51. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72758

52. СанПіН 2.2.4.1294-03 «Фізичні фактори виробничого середовища. Гігієнічні вимоги до аероіонного складу повітря виробничих і громадських приміщень» - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.ionization.ru/issue/iss5.htm>

53. ДСанПіН 3.3.3.096-2002 «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів» - [Електронний ресурс] - Режим

доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48146

54. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

55. НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні - [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60541

56. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою - [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65419

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ

РАДІОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ВИЯВЛЕННЯ РАДІОЧАСТОТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ТА АНАЛІЗУ ЇХ ХАРАКТЕРИСТИК

Виконав: студент 4-го курсу, групи ТКР-216
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

ТБВ Рулько В.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф. каф. ІРТС

Осадчук О.В.
(прізвище та ініціали)

«10» 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ - 2025 рік

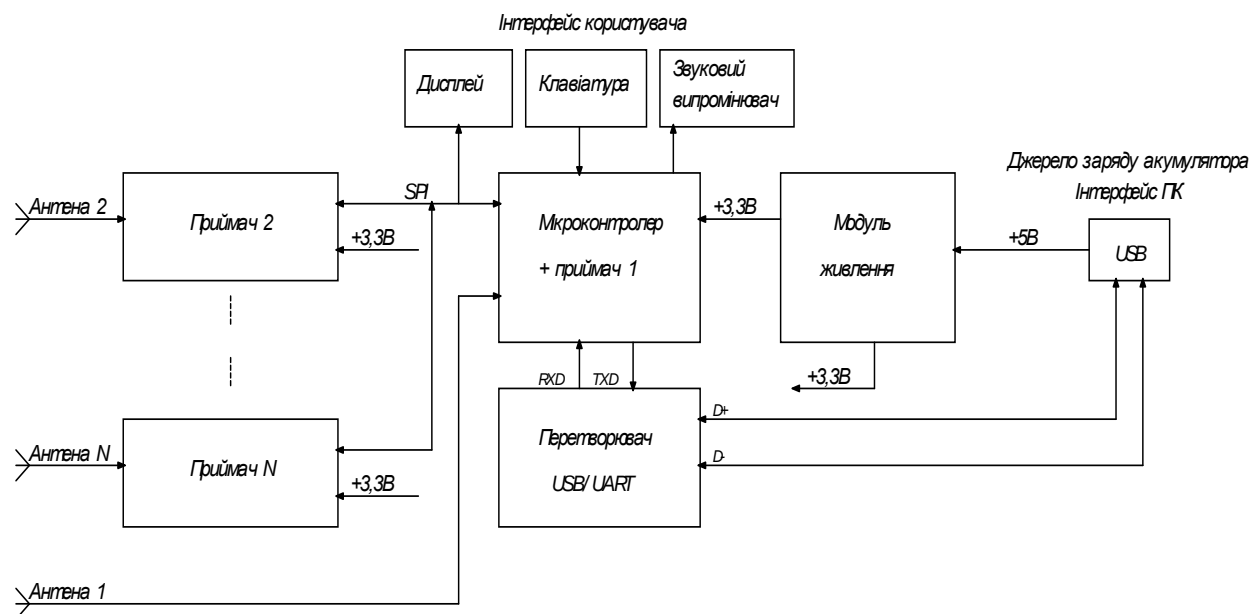


Рисунок 1 - Функціональна схема пристрою

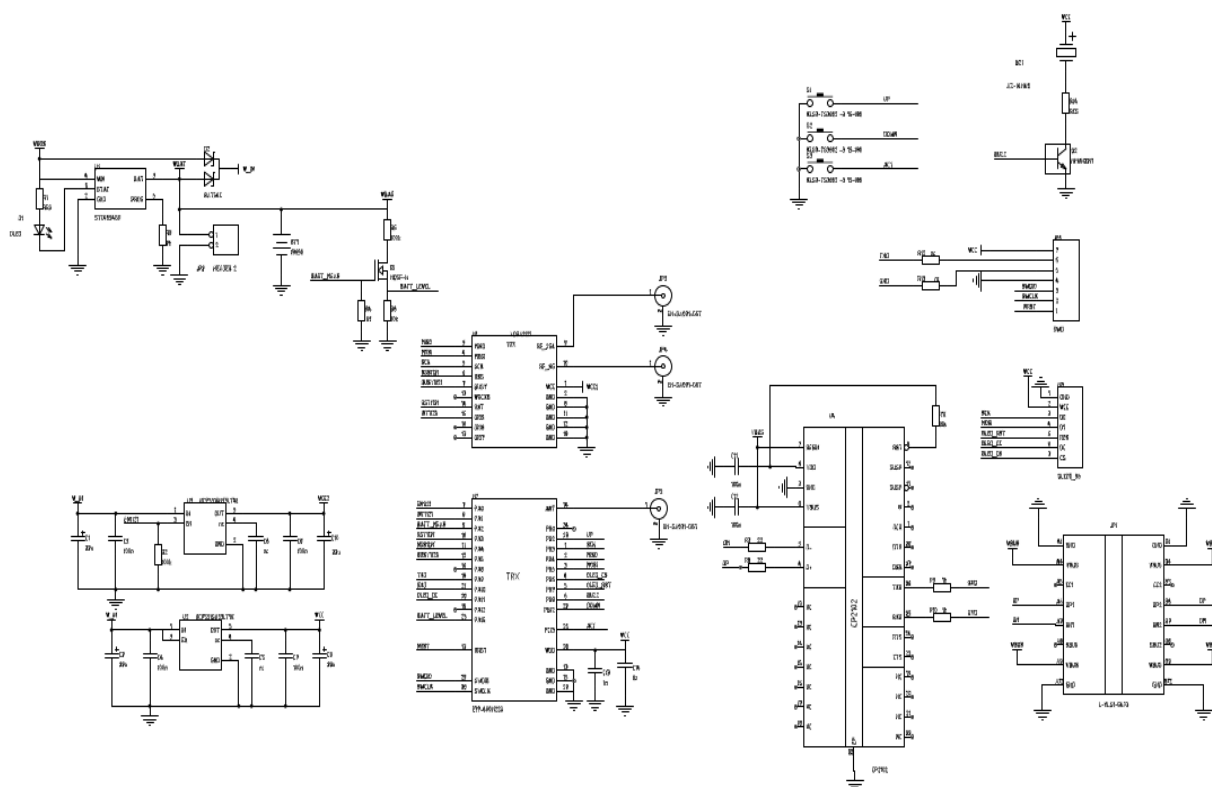


Рисунок 2 - Принципова схема пристрою

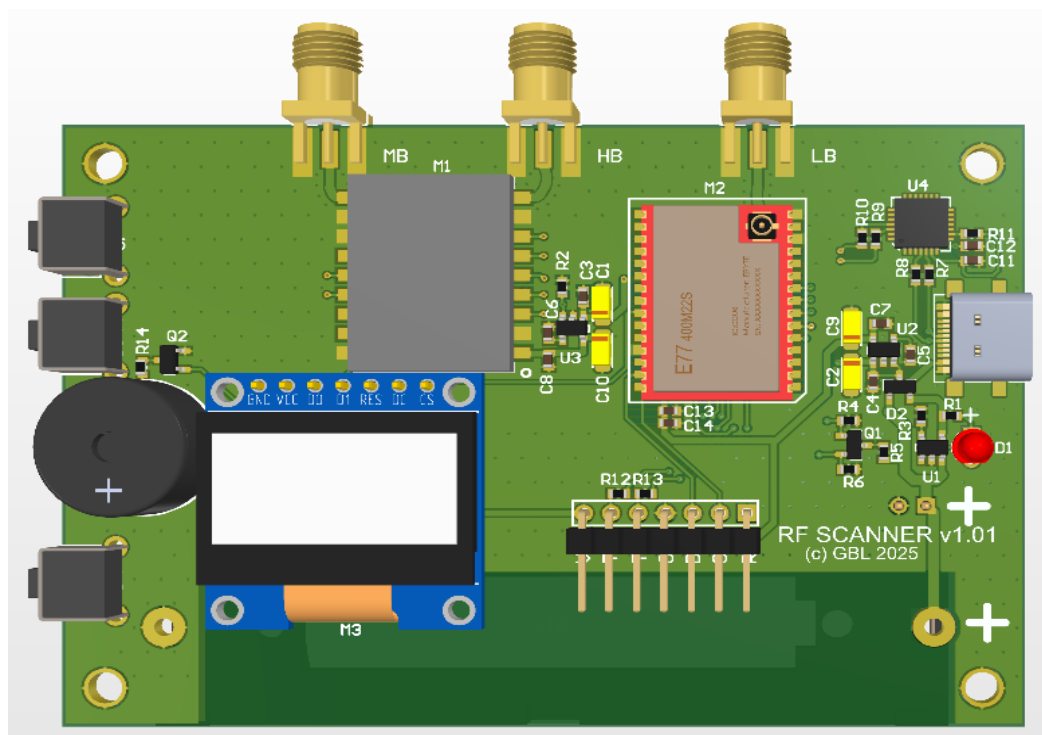


Рисунок 3 - 3D-вигляд друкованої плати (сторона «Тор»)

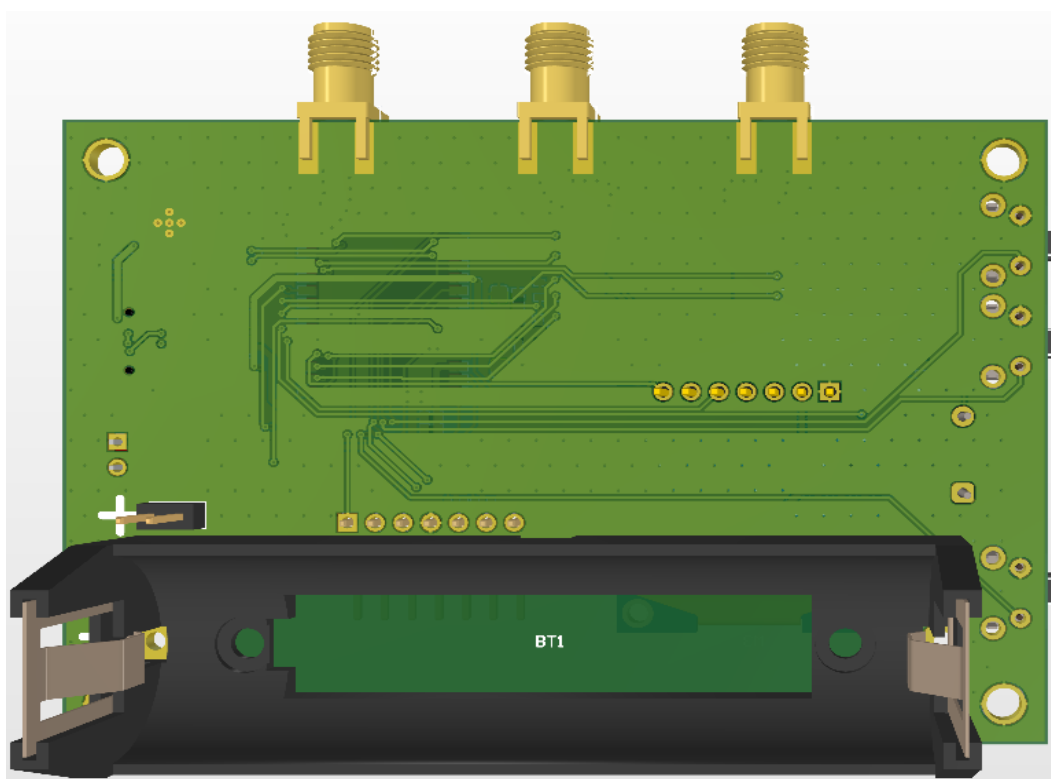


Рисунок 4 - 3D-вигляд друкованої плати (сторона «Bottom»)

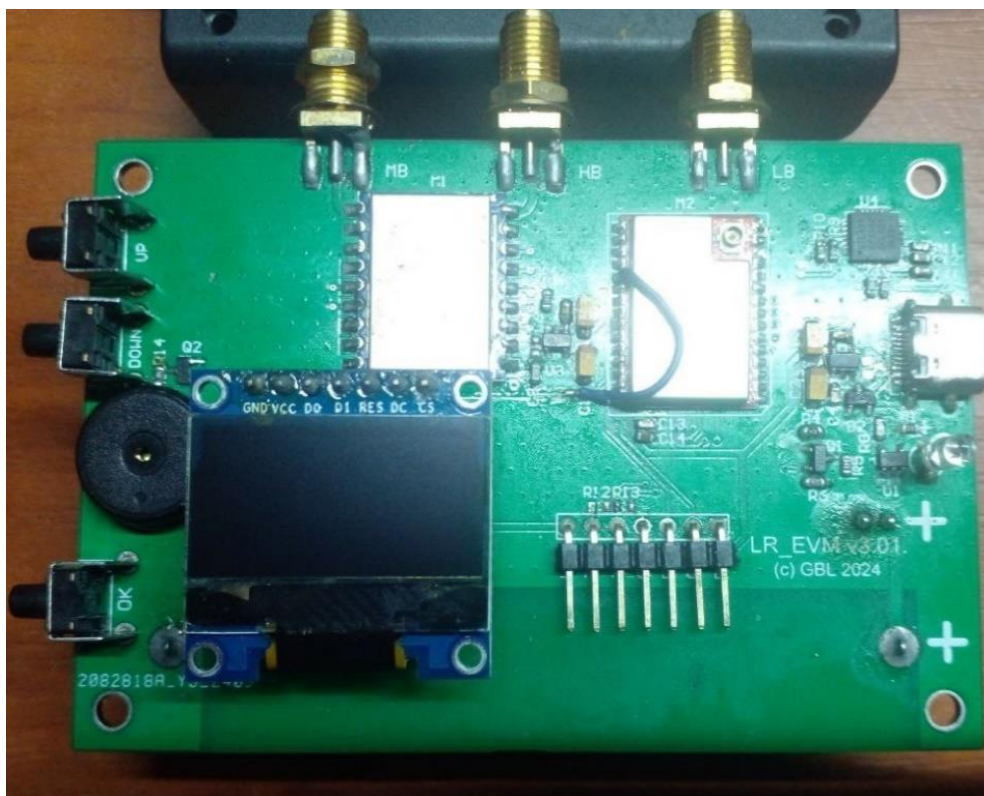


Рисунок 5 - Зовнішній вигляд пристрою в зборі

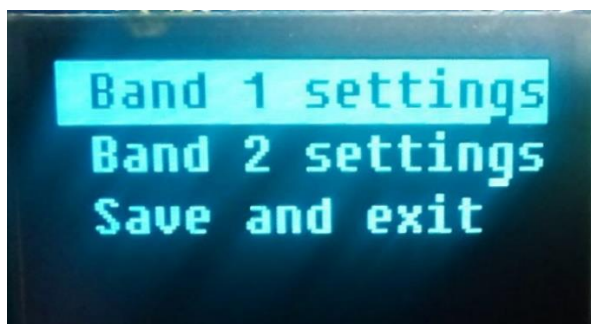


а)

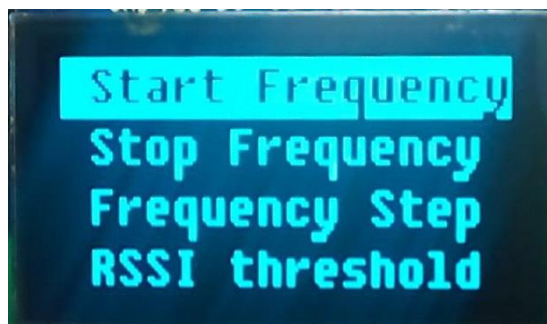


б)

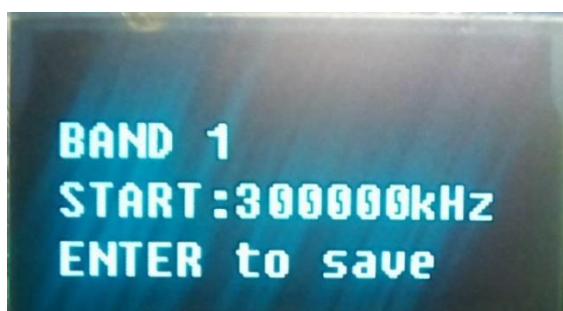
Рисунок 6 – Індикація (а) в робочому режимі та головний екран меню (б)



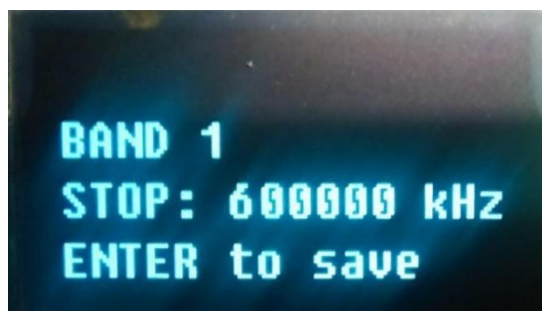
а)



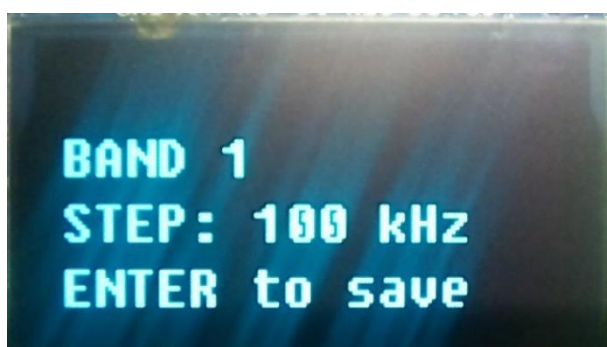
б)



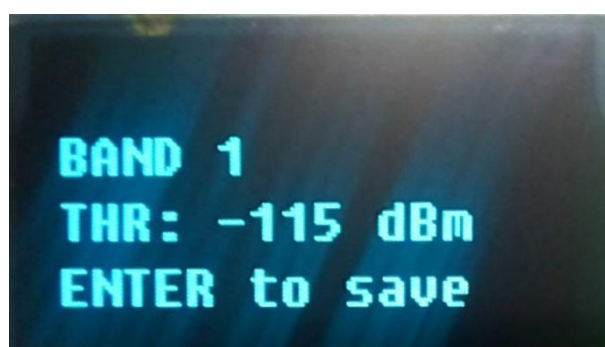
в)



г)



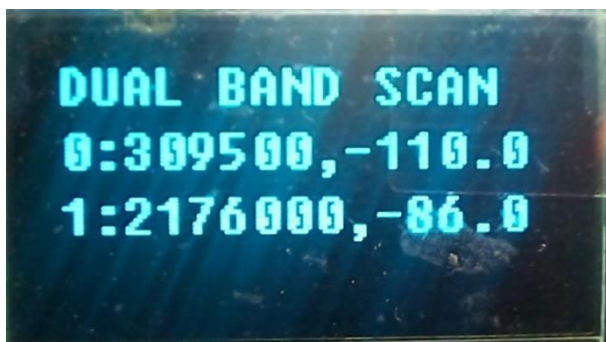
д)



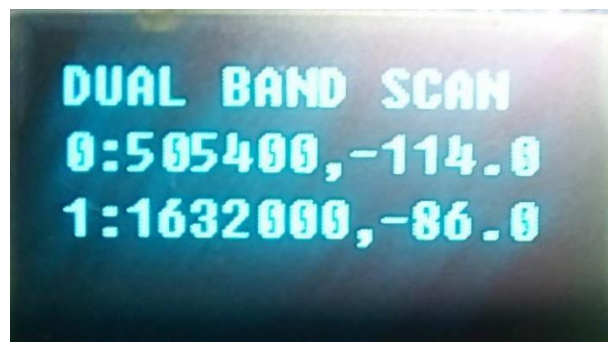
е)

Рисунок 7 – Інтерфейс налаштування пристрою:

- а) меню налаштувань приймачів;
- б) налаштування параметрів приймача
- в) налаштування початкової частоти
- г) налаштування кінцевої частоти
- д) налаштування кроку зміни частоти
- е) налаштування порогового рівня сигналу



а)



б)

Рисунок 8 – Результати роботи пристрою в реальних умовах,

виявлені сигнали на частотах

а) 309,500 МГц і 2176,000 МГц

б) 505,400 МГц і 1632,000 МГц

Додаток Б
(обов'язковий)

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (БАКАЛАВРСЬКОЇ)
КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

**РАДІОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ВИЯВЛЕННЯ
РАДІОЧАСТОТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ТА
АНАЛІЗУ ЇХ ХАРАКТЕРИСТИК.**

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: «Радіоелектронний пристрій виявлення радіочастотних випромінювань та аналізу їх характеристик»

Тип роботи: Бакалаврська кваліфікаційна робота
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)
Підрозділ Кафедра IPTC
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 1,32%

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Воловик А.Ю. – д.т.н., доцент каф. IPTC
(прізвище, ініціали, посада)
Осадчук О.В. – д.т.н., професор, зав. каф. IPTC
(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)
(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку (підпис)

Семенов А.О.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник (підпис) Осадчук О.В. – д.т.н., професор, зав. каф. IPTC
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач ТВР
(підпис)

Рулько В.В.
(прізвище, ініціали)