



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

**Радіотехнічний факультет**

**Кафедра прикладної радіоелектроніки**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.зав. кафедрою

\_\_\_\_\_ Михайло СТЕПАНОВ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студента  
Будовського Максима Ігоровича**

1. Тема дисертації « Генератор електромагнітних завад»  
науковий керівник дисертації доцент, к.т.н., Шульга Аліна Вікторівна,  
затверджені наказом по університету від «15» листопада 2021 р. №3744-с
2. Термін подання студентом дисертації 16 грудня 2021 року
3. Об'єкт дослідження сучасні системи генерації електромагнітних завад.
4. Предмет дослідження удосконалення схемотехнічного рішення, створення робочої моделі, макету.\_\_\_\_\_
5. Вихідні дані максимальна потужність 0,5 Вт, вихідна смуга пропускання 40 МГц, центральна частота 2,45 ГГц, середовище експлуатації – закрите приміщення.\_\_\_\_\_
6. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Аналіз доступних пристроїв та їх методів генерації шуму. 2. Розробка макету пристрою та проведення розрахунків, які доводять працездатність пристрою. 3. Виготовлення та тестування готового пристрою. 4. Аналіз отриманих результатів та висновки.\_\_\_\_\_

7. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу мультимедійна презентація.

8. Орієнтовний перелік публікацій

9. Дата видачі завдання 1 вересня 2021 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Узгодження та аналіз ТЗ з науковим керівником	06.09.2021 19.09.2021	Виконано
	Аналіз джерел інформації за напрямом дослідження	20.09.2021 03.10.2021	Виконано
	Проведення розрахунків	04.10.2021 17.10.2021	Виконано
	Моделювання пристрою	18.10.2021 31.10.2021	Виконано
	Виготовлення пристрою	01.11.2021 14.11.2021	Виконано
	Проведення тестування	15.11.2021 28.11.2021	Виконано
	Представлення результатів МД	29.11.2021 12.11.2021	Виконано
	Захист МД	21.12.2021р	

Студент



Максим БУДОВСЬКИЙ

Науковий керівник



Аліна ШУЛЬГА

## РЕФЕРАТ

**Актуальність теми** обумовлена високим використанням генераторів завад як в цивільних так і в воєнних цілях. Найвні пристрої на ринку мають високу вартість та досить низький коефіцієнт корисної дії (ККД), тому розробка більш ефективного пристрою є досить актуальною. Подібні пристрою мають широке використання в організаціях, де витік інформації або її отримання є неприпустимим. В більшості випадків в таких організаціях використовуються стіни із вбудованим свинцевим екраном, який не дозволяє електромагнітним хвилям проникати всередину кімнати, але такий спосіб є дуже дорогим та громіздким. Для досягнення бажаного результату з мінімальними затратами та з високим ККД буде розроблений пристрій, який ефективно буде виконувати функцію генерації завад, а також буде мати можливість регулювання параметрів та перепрограмування пристрою.

**Метою даної роботи** є розробка генератора електромагнітних завад, що буде експлуатуватися у приміщеннях. Тобто створення макету пристрою, який забезпечить генерацію широкосмугових завад та буде мати мінімум деталей з підвищеним ККД. Для досягнення поставленої мети, буде розроблено фізичну та математичну модель, проведено симуляцію системи з подальшим рішенням про впровадження системи генерації шуму в генератор завад, розробка електричної схеми та друкованої плати (ДП), які будуть задовольняти всім вимогам технічного завдання (ТЗ), а також створення ергономічного корпусу.

**Об'єктом дослідження** є сучасні системи генерації електромагнітних завад.

**Предмет дослідження:** удосконалення схемотехнічного рішення, створення робочої моделі, макету.

**Методи дослідження:** експериментальне макетування, дослідження за допомогою спеціального програмного забезпечення (ПЗ).

**Ключові слова:** електромагнітні завади, широкосмуговість, генератор шуму.

### **ABSTRACT**

**The urgency of the topic** is due to the high use of noise generators for both civilian and military purposes. Existing devices on the market have high cost and relatively low efficiency, so the development of a more efficient device is quite relevant. Such devices are widely used in organizations where information leakage or its receiving is unacceptable. In most cases, such organizations use walls with a built-in lead screen, which does not allow electromagnetic waves to enter the room, but this method is very expensive and bulky. To achieve the desired result with minimal costs and high efficiency, a device will be developed with an effective function of generating interference, as well as the ability to adjust the parameters and reprogram the device.

**The purpose of this work** is to develop a generator of electromagnetic interference that will be operated indoors. That is, the creation of the layout of the device, which will generate broadband interference and will have a minimum of parts with high efficiency. To achieve this goal, a physical and mathematical model will be developed, the system will be simulated with a further decision to implement a noise generation system into the jammer, develop an electrical circuit and PCB that will have all needed requirements, and create an ergonomic case.

**The object of research** is modern systems for generating electromagnetic interference.

**Subject of research:** improvement of circuit design solution, creation of working model, layout.

**Research methods:** experimental layout, research using special software.

**Key words:** electromagnetic interference, broadband, noise generator.

## ЗМІСТ

Реферат .....	1
1 Огляд аналогів .....	7
1.1 Загальні відомості про генератори електромагнітних завад .....	7
1.2 Засоби генерації шуму та їх реалізація .....	8
1.3 Огляд та аналіз аналогів.....	13
1.3.1 Генератор завад "Скорпіон PRO-5.8 G" .....	13
1.3.2 Генератор завад "Titan Pro" .....	14
1.3.3 Стаціонарний генератор завад GSM, 3G, 4G, LTE, CDMA.....	15
1.3.4 Програмно-орієнтований генератор завад HackRF .....	16
2 Розробка макету пристрою .....	19
2.1 Розробка схеми електричної принципової.....	19
2.2 Розрахунки, що підтверджують працездатність пристрою.....	22
2.2.1 Розрахунок генератора керованого напругою.....	22
2.2.2 Розрахунок мікросмужкової лінії передачі.....	23
2.3 Вибір елементної бази .....	24
2.4 Симуляція роботи пристрою в різних програмних середовищах..	28
2.4.1 Симуляція схеми в середовищі MicroCAP.....	29
2.4.2 Симуляція НВЧ вузлів в середовищі CST.....	33
2.5 Написання програмного коду для створення шуму.....	36
3 Вироблення та тестування пристрою.....	38
3.1 Конструювання пристрою.....	38
3.2 Тестування пристрою.....	40
3.2.1 Тестування перестройки частоти пристрою .....	40
3.2.2 Тестування різних видів модуляції шуму.....	41

4 Розробка стартап-проекту.....	44
4.1 Опис ідеї проекту.....	44
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	45
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	46
4.4 Розробка ринкової стратегії проекту.....	52
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	53
Висновки.....	56
Висновки .....	57
Перелік джерел посилань .....	59

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ККД – коефіцієнт корисної дії

ПЗ – програмне забезпечення

ДП – друкована плата

ЗЧ – звукові частоти

НВЧ – надвисокі частоти

ГКН – генератор керований напругою

ТЗ – технічне завдання

SDR – software defined radio (програмно-орієнтовне радіо)

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

СЕ – спільний емітер

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція.



## ВСТУП

На сьогоднішній день майже в кожному пристрої є функції бездротового зв'язку, які дозволяють швидко передати або отримати інформацію. На жаль, цією технологією активно користуються зловмисники для різних цілей – як у військовій так і в цивільній сферах, тому в цілях захисту приватності або радіоелектронної боротьби використовують генератори завад. Оскільки, сучасні моделі генераторів завад мають високу вартість і низький ККД, то не кожна людина чи організація може себе забезпечити подібними пристроями, тому розробка недорогого та ефективного пристрою є актуальним завданням на сьогоднішній день.

**Актуальність теми** обумовлена високим використанням генераторів завад, як в цивільних, так і у військових цілях. А наявні на ринку прототипів з високою вартістю та досить низьким ККД підтверджує те, що виникає необхідність розробити даний пристрій враховуючи приведені аспекти, тобто здешевити його і підвищити ККД.

**Метою даної роботи та дослідження** є розробка генератора електромагнітних завад для експлуатації у приміщеннях, який забезпечить генерацію широкосмугових завад та буде мати меншу собівартість, порівняно з існуючими прототипами, та з більшим ККД. Також необхідно дослідити ефективність способу створення широкосмугового шуму з мінімальними затратами на радіоелементи та мінімальну ціну разом із підвищенням ефективності системи в цілому.

Для досягнення поставленої мети, розв'язуються такі завдання:

- Створити математичну та фізичну модель пристрою з урахуванням всіх параметрів, перелічених вище. Використовуючи сучасне програмне забезпечення (ПЗ), провести симуляцію системи та дослідити її параметри, змінюючи різні схеми генерації шуму як програмним так і апаратним чином, дослідити спектр шуму та

зробити висновки щодо впровадження його в подальший функціонал системи.

- Розробити ергономічну систему керування пристроєм, а саме запровадити функції: ручного налаштування частоти, зміни спектру генеруючого сигналу та перепрограмування пристрою.
- Створити генератор керований напругою (ГКН), який буде мати широкий діапазон робочих частот та розробити вихідний підсилювальний каскад з високим ККД та з мінімальною вартістю.
- Створення ДП, яка буде відповідати всім вимогам надвисокочастотного (НВЧ) монтажу елементів та електромагнітної сумісності. Також створення ергономічного та невеликого корпусу для зручної експлуатації пристрою користувачами.

**Об'єктом дослідження** є сучасні системи генерації електромагнітних завад.

**Предмет дослідження:** удосконалення схемотехнічного рішення, створення робочої моделі, макету.

**Методи дослідження:** експериментальне макетування, яке включає в себе: створення прототипів плат для різних частин системи, створення ДП робочого прототипу, програмування мікроконтролера та дослідження його роботи в спеціальному ПЗ, дослідження ГКН та вихідного каскаду підсилювача за допомогою аналізатора спектра, дослідження генератора шуму за допомогою аналізатора спектра звукових частот (ЗЧ) та осцилографа, дослідження математичної та фізичної моделі за допомогою спеціального ПЗ для інженерних розрахунків та симуляторів електричних схем.

**Оригінальна частина** роботи полягає у зміні спектральних характеристик генерованого шуму за допомогою прямого використання виконуваної програми мікроконтролера, а також створення такого пристрою з високою ефективністю, яка позбавить необхідності відводу від елементів

тепла при вихідній потужності пристрою 0.5 Вт, що є відсутнім в більшості доступних для користувачів аналогів.

**Ключові слова:** електромагнітні завади, широкосмуговість, генератор шуму, ККД.

## 1 ОГЛЯД АНАЛОГІВ

### 1.1 Загальні відомості про генератори електромагнітних завад

Сьогоднішні тенденції розвитку радіотехніки та систем зв'язку дозволяють нам передавати великі об'єми даних по широкому спектру доступних радіоканалів. На жаль, в цілях перехоплення або незаконного отримання та передачі інформації використовують найрізноманітніші пристрої та системи, які працюють за допомогою безпроводної технології. Одним з методів уникнення витоку інформації за межі певної території, або ж для уникнення отримання інформації з певних джерел радіозв'язку використовують генератори електромагнітних завад.

Складність реалізації та експлуатації подібних пристроїв полягає в досягненні широкого спектру генерованого шуму одночасно із генерацією завад високої потужності для покриття якомога більшої території. Не складно зрозуміти, що така система потребує точного налагодження та потужного джерела живлення. Оскільки зазвичай ККД таких систем невисокий то така система буде потребувати хороше охолодження. Також, через схемотехнічні особливості таких систем, стабільність частоти генерованого шуму залежить від напруги живлення, тому більшість таких систем стаціонарні.

На даний момент існують генератори завад, які перешкоджають коректному отриманню чи відправці даних програмним шляхом. Серед переваг такого методу можна відмітити набагато менше споживання електроенергії та відсутність потужного охолодження. Недоліком даного методу є підтримка обмеженої кількості протоколів передачі даних та складність реалізації, відповідно ціна такого пристрою буде досить висока. Наприклад, популярний серед аматорів HackRF реалізовує генерацію завад виключно програмним методом, а його ціна сягає близько 500\$. Радіус дії такого генератора завад обмежується невеликою кімнатою.

Також, на даний момент існують військові генератори завад, які покривають доволі велику територію. Система, як правило має великі габарити і для її живлення може використовуватись окрема підстанція. Для ефективної дії такої системи можуть використовуватись цілі системи антен, як наприклад закинута радянська система “Об’єкт 811” біля міста Буськ Львівської області [1]. Для реалізації такого проекту необхідно багато матеріальних та інтелектуальних ресурсів, а також великий бюджет який не завжди наявний навіть на рівні держави.

## 1.2 Засоби генерації шуму та їх реалізація

Однією з найважливіших частин генератора завад є схема, яка буде задавати спектр генеруючого шуму, а саме генератор шуму, який подібний до білого шуму. Білий шум – це такий вид шуму, при якому спектр цього шуму має однакову амплітуду на всіх значеннях його частот. Реальний білий шум не має таких характеристик, але буде реалізовано шум, подібний до білого, який буде мати потрібні характеристики тільки в потрібному діапазоні частот.

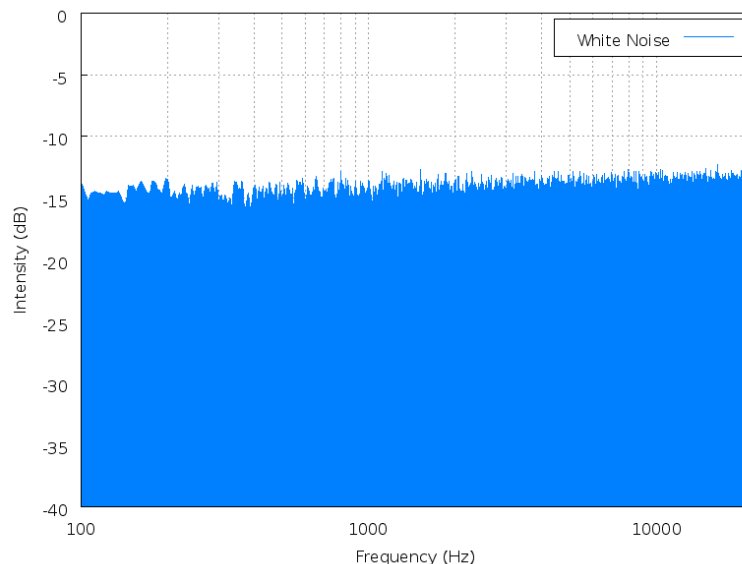


Рисунок 1.1 – Спектрограма білого шуму.

На сьогоднішній день чітких алгоритмів генерації білого шуму не існує, проте в цифрових пристроях використовують генератори псевдовипадкових чисел з високою розрядністю.

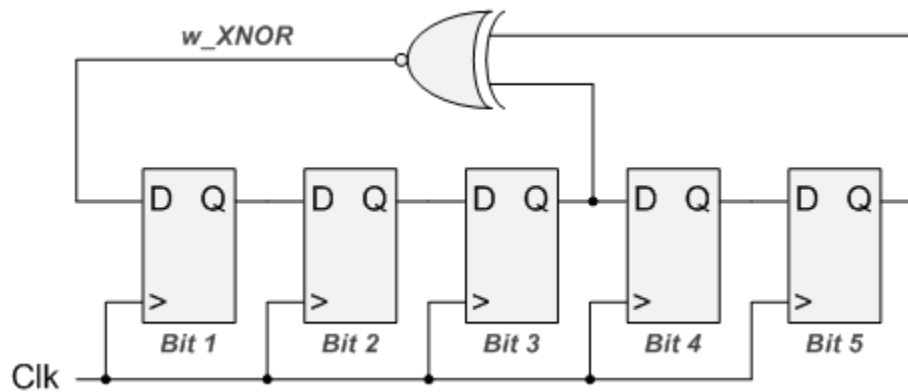


Рисунок 1.2 – Генератор псевдовипадкових чисел.

В такій схемі цифровий сигнал має псевдовипадковий порядок, тобто значення “0” та “1” в такому генераторі виникають псевдовипадковим чином. При високій розрядності такого генератора, псевдовипадковість важко помітити, але коли ці генератори мають малу розрядність то набір логічних станів починає повторюватись через певну кількість відліків.

Після перетворення такого сигналу в аналоговий за допомогою цифро-аналогового перетворювача (ЦАП), сигнал позбувається гармоніки несучої частоти (частоти відліків генератора псевдовипадкових чисел), та його спектрограма починає нагадувати білий шум.

Оскільки, як вже було зазначено вище, білий шум повинен мати свої характеристики лише в певному діапазоні частот, то такий пристрій цілком підійде для наших потреб, але виникає проблема в ширині спектру такого шуму. Так, для коректної роботи генератора завад, необхідна ширина спектру складатиме близько 133 кГц. Для генерації білого шуму з такою шириною спектра необхідно багато потужності і такий цифровий пристрій не зможе її забезпечити, тому була запропонована схема аналогового генератора білого шуму.

Аналогові генератори білого шуму засновані на підсиленні теплового шуму, який виникає на рп-переході діода, або на базі транзистора.

Принцип роботи лежить в наступному:

1. Тепловий шум на рп-переході стабілітрона (рис. 1.3) через розділовий конденсатор поступає на базу транзистора.
2. Оскільки струм теплового шуму є дуже малим, то його необхідно підсилити. Для цього використовують транзисторний підсилювач, де транзистор включений по схемі зі спільним емітером (СЕ). Така схема включення в даному випадку дозволяє підсилити струм теплового шуму та його напругу і цим збільшити свою потужність.
3. Далі підсилений шум поступає на операційний підсилювач, який ще більше підсилює потужність шуму і в даній схемі доводить його до амплітуди 5 В. В подальшому ця схема може регулювати амплітуду цього шуму для точного налаштування.

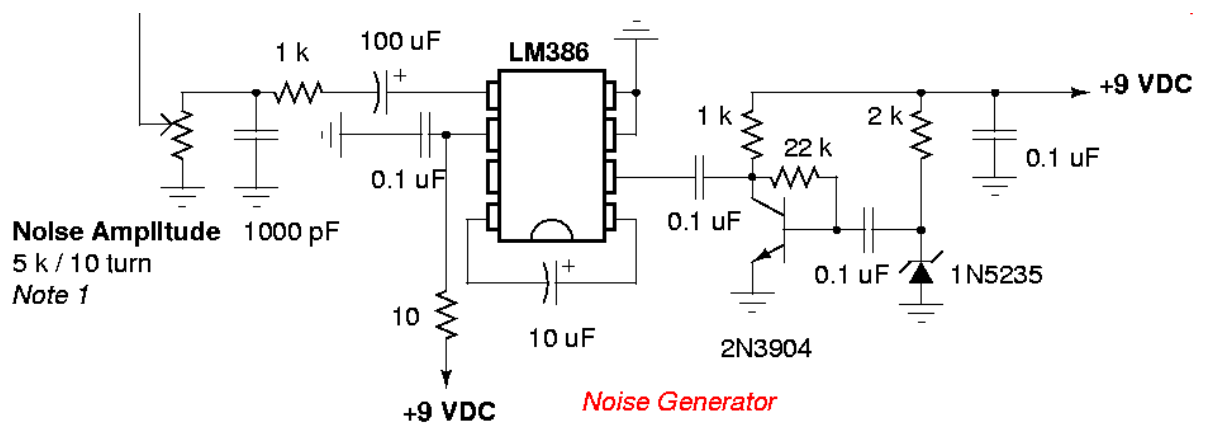


Рисунок 1.3 – Аналоговий генератор шуму.

Ширина спектру цього шуму не є великою і обмежується лише джерелом теплового шуму, тобто в даному випадку стабілітроном. Існують багато інших схем, де джерелом шуму є база біполярного транзистора, де шум також підсилюється і фільтрується. Однак, ширина спектру цього шуму не перевищує 10 кГц, що не зовсім задовільно для розроблюваного пристрою.

Ще один спосіб генерації шуму це програмний метод, який забезпечує контролер Atmega328.



Рисунок 1.4 – Генерація шуму програмним методом.

Принцип генерації шуму програмним методом є досить простим. В контролерах серії AVR є можливість низькорівневого програмування, тобто можливість контролю окремих регістрів всередині самого контролера. Оскільки ми хочемо щоб білий шум мав якомога більший спектр то необхідно задіяти якомога більше доступних регістрів в контролері.

Після оголошення регістрів, на аналоговий вхід контролера поступає шум, джерелом якого є електростатичні розряди та електромагнітні наводки, які контролер обробляє як випадкове число. В даному методі зчитування шуму з аналогового виводу є дійсно випадковим числом а не псевдовипадковим, як в першому методі, оскільки електростатичні наводки є випадковим джерелом фізичного шуму, який навіть використовується в цілях шифрування даних.

Після згенерованого масиву чисел, контролер їх оцифровує, тобто пропускає їх через аналогово-цифровий перетворювач (АЦП). Внутрішній генератор цього контролера працює на частоті 490 Гц, ця частота також є



частотою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) з якою подається у вигляді цифрового шуму масив випадкових чисел (Рис. 1.5).

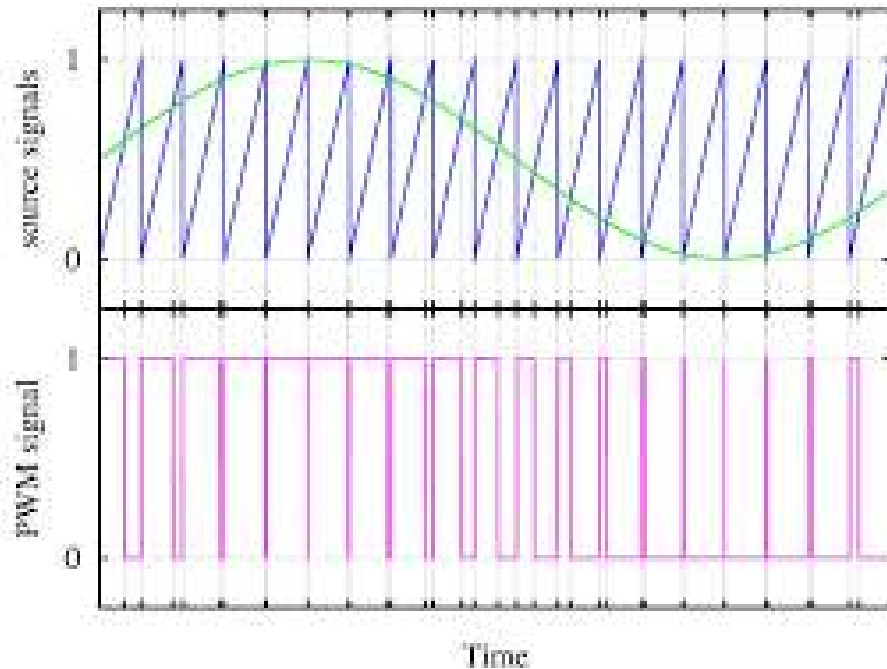


Рисунок 1.5 – ШІМ сигнал, модульований синусоїдою.

Частота ШІМ цього контролера напряму залежить від того якою буде центральна частота шуму на спектрограмі, тому частоту ШІМ необхідно збільшити. Контролер Atmega328p дозволяє збільшити частоту ШІМ до 31500 Гц, що значно змістить несучу ШІМ сигналу та збільшить спектр білого шуму.

Після виконання всіх операцій, сигнал залишається пропустити через ЦАП, аналогом якого може служити RC-фільтр. Така заміна не є найкращим методом перетворення цифрового сигналу в аналоговий, але результатом даної обробки сигналу має бути розширення спектру шуму, тому така заміна є цілком допустима.

В результаті ми отримали сигнал, схожий на білий шум, який має центральну частоту 31500 Гц та має ширину, яка обмежується кількістю регістрів. У готових проектах, ширина спектру такого шуму сягає від 20 до 40 кГц, що є дуже хорошим показником і цей метод буде застосований в схемі генератора електромагнітних завад.

### 1.3 Огляд та аналіз аналогів

Впровадження генераторів завад є відносно дорогим процесом. Тому, відповідно, актуальним питанням на даний час є зниження ціни на такі системи. Це дасть змогу компаніям або закладам обмежувати працівникам доступ до мереж коли це необхідно у приміщеннях від невеликих до цілих ангарів.

Для повного аналізу ситуації потрібно розглянути аналогічні пропозиції існуючих систем.

#### 1.3.1 Генератор завад "Скорпіон PRO-5.8 G"

Генератор перешкод «SCORPION PRO-5.8 G» – це багаточастотний портативний пристрій з вбудованим акумулятором, який має 10 частотних каналів для подавлення всіх сучасних стандартів зв'язку включаючи 5G.



Рисунок 1.6 — Генератор завад "Скорпіон PRO-5.8 G".

Основні характеристики [2]:

1. Кількість каналів: 10.
2. Максимальна потужність на один канал: 1 Вт.
3. Радіус дії: 10 м.
4. Час автономної роботи: 120 хв.
5. Маса пристрою: 1,5 кг.
6. Ціна пристрою: 1000\$.

Недоліки: низький ККД і відповідно високий нагрів; висока вартість пристрою, а також комплектуючих запчастин; неможливість налаштування та перепрограмування.

### ***1.3.2 Генератор завад “Titan Pro”***

Цей пристрій дозволяє вибирати потрібні діапазони частот для подавлення, також має індикатор заряду. Принцип роботи: для кожного каналу є свій генератор керований напругою (ГКН), який є генератором частот. Сигнал шуму, який являє собою трикутний сигнал частотою 133 кГц, поступає на керуючий вивід ГКН та утворює частотну модуляцію з шириною спектра, яка залежить від частоти сигналу шуму. На виході стоїть підсилювач потужності, який і підсилює сигнал до потрібного значення в 1 Вт (для цієї моделі), який також має систему активного охолодження. Вся система використовує стандартні види бездротового зв'язку в діапазоні частот від 760 МГц до 2700 МГц.

Основні характеристики [3]:

1. Має 8 робочих каналів.
2. Підтримує генерацію завад для всіх видів мобільного зв'язку.
3. Дальність пристрою від 5 до 20 м.
4. Наявність активної системи охолодження .



Рисунок 1.7 — Генератор завад “Titan Pro”.

Недоліки: висока вартість пристрою (700\$); можливість придбання тільки для воєнних та цивільних організацій охорони порядку; відсутність користувацьких налаштувань та низький ККД; великі габарити пристрою, які унеможливають портативність та мобільність пристрою.

### ***1.3.3 Стаціонарний генератор завад GSM, 3G, 4G, LTE, CDMA***

Пристрій створений для використання в приміщеннях, де отримання чи передача інформації по бездротових каналах заборонена. Ця модель пристрою є стаціонарною та для його живлення використовується окремий блок живлення. Завдяки наявності окремого блоку живлення та великим габаритам, пристрій дозволяє створювати завади в радіусі до 100 м, при цьому використовуючи активне охолодження. Також цей генератор завад має 6 каналів, кожен з яких може забезпечити необхідну потужність випромінювання. Маса пристрою складає 2 кг і він також має алюмінієвий корпус, який забезпечує додаткове пасивне охолодження.

Для функціонування системи потрібен блок живлення, набір спеціальних антен та приміщення з невисокою вологістю та температурою.

Основні характеристики [4]:

1. 6 каналів випромінювання.
2. Використання як у приміщенні, так і на відкритій місцевості.
3. Дальність подавлення 100 м.
4. Ціна 500\$.
5. Наявність активного охолодження.

Недоліки: висока вартість пристрою; великі габарити та маса; відсутність портативності та мобільності.

#### ***1.3.4 Програмно-орієнтований генератор завад HackRF***

HackRF – це програмно-орієнтовне радіо (SDR), здатне передавати або приймати радіосигнали в діапазоні частот від 1 МГц до 6 ГГц. HackRF One – це апаратна платформа з відкритим вихідним кодом, яка може бути використана в якості периферійного пристрою USB або запрограмована для автономної роботи. Вона призначена для тестування і розробки сучасних технологій радіозв'язку. Цей пристрій також має вбудовану функцію генерації завад програмним шляхом. Його неймовірна широкосмуговість дає змогу генерувати завади в діапазоні частот від 1 МГц до 6 ГГц, що охоплює абсолютно всі сучасні канали радіозв'язку, починаючи від звичайного радіо і закінчуючи системою мобільного зв'язку нового покоління.



Рисунок 1.8 – Генератор завад на основі SDR HackRF.

Основні характеристики [5]:

1. 1 канал випромінювання.
2. Використання як у приміщенні, так і на відкритій місцевості.
3. Радіус подавлення до 10 м.
4. Ціна 500\$.
5. Частотний діапазон роботи 1МГц – 6ГГц.

Недоліки: висока вартість пристрою; мала потужність випромінювання (10мВт); наявність всього одного каналу для випромінювання.

Після огляду наявних пропозицій на ринку, виникла ідея створити генератор завад з програмованим шумом з функціями зміни його рівня, ширини спектру та підстроювання частоти. Оскільки, наявні прототипи мають великий недолік, а саме низький ККД, то необхідно створити пристрій, який виправить це, для того, щоб досягти максимального підсилення сигналу і збільшення дальності дії генератора. Тому буде використано два каскади підсилення, використовуючи мікросхеми SGA3563Z, які мають досить високий ККД, підсилення до 20дБм та не потребують охолодження. Щоб забезпечити максимальний контроль та функцій користувацьких налаштувань слід використати контролер Atmega328p, який є досить бюджетним, легким для програмування та має можливість перепрограмування без використання сторонніх схем. Слід зазначити, що розроблювальна система буде призначена для встановлювання на обмежених локаціях, у межах однієї кімнати або будівлі.

Отже, основною метою створення генератора електромагнітних завад є збільшення ККД та зменшення собівартості, порівняно з існуючими аналогами.

## 2 РОЗРОБКА МАКЕТУ ПРИСТРОЮ

### 2.1 Розробка схеми електричної принципової

Перед початком розробки принципової електричної схеми необхідно зрозуміти, які характеристики повинен мати пристрій. Оскільки задача пристрою буде полягати в створенні завад для систем WiFi та Bluetooth, то несуча частота повинна мати центральну частоту 2450 МГц з можливістю настрійки частоти від 2400 МГц до 2480 МГц. Саме в цьому діапазоні частот працюють системи WiFi та Bluetooth. Для того, щоб подавити увесь спектр частот на великій відстані, необхідно, щоб випромінювання мало доволі високу потужність. Для нашої задачі буде достатньою потужність +20dbm, що дорівнює 100мВт. Для досягнення такої потужності, одного задаючого генератора буде мало, тому на виході з генератора будуть стояти два каскади підсилення шуму. Також, для ефективної роботи пристрою необхідно мати джерело живлення, яке би змогло забезпечити пристрій доволі високим стабільним струмом. Для цієї цілі було вибрано живлення від двох акумуляторів типу 18650, які мають напругу 4,2 В при максимальному струмі 2 А. Для створення шуму буде використано програмний метод, переваги якого описано вище. Для цієї цілі цілком підійде мікроконтролер Arduino Pro mini, який буде виконувати функцію створення шуму, створення пилоподібного сигналу, а також буде обробляти сигнали з кнопок керування, таким чином підстроюючи частоту.

Також, для коректної роботи пристрою, необхідно керуватись правилами розробки плат на НВЧ, тобто необхідно: всі сигнальні доріжки НВЧ робити з імпедансом 50 Ом, при проектуванні підсилювальних вузлів уникати великогабаритних елементів та уникати різких переходів, антену встановлювати через спеціальний НВЧ конектор, для сигнальних НВЧ доріжок спроектувати мікросмужкову лінію з заземленими наскрізними отворами. Всі ці дії забезпечать високий КСВ сигналу на виході та дозволять встановлювати додаткові підсилювальні вузли на вихід пристрою за необхідності.

Схема електрична принципова наведена на рис. 2.1. Розглянемо принцип роботи схеми.

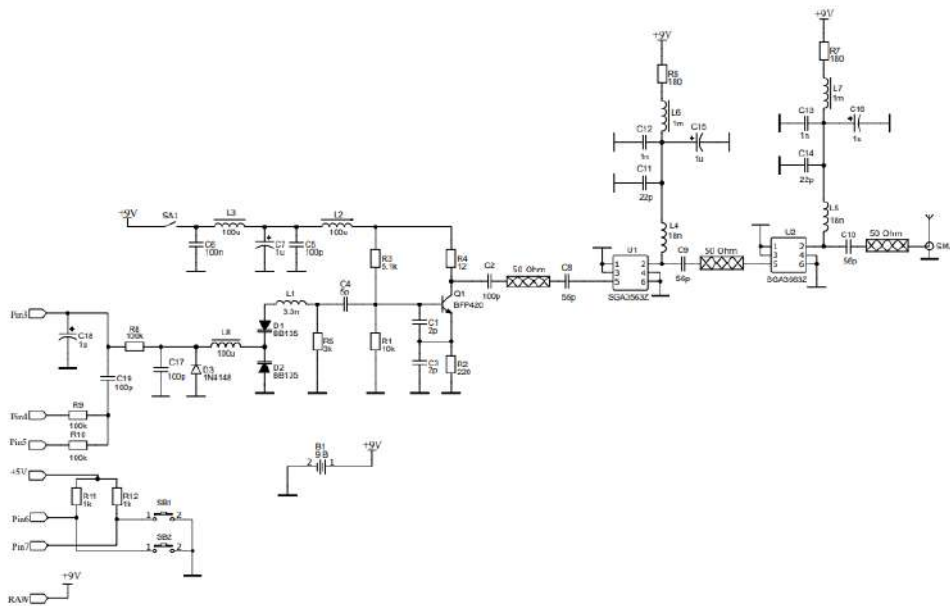


Рисунок 2.1 – Схема електрична принципова пристрою.

Джерелом створення несучої частоти є транзисторний НВЧ генератор, виконаний за схемою Колпітца. Транзистор Q1 вибраний з максимальною частотою роботи 25 ГГц, що для нашого випадку буде достатньо. Конденсатори C1 та C3 беруть участь у генерації несучої частоти, де зв'язок між конденсаторами та резистором R2 є ланкою позитивного зворотнього зв'язку генератора. Частоту генератора задають конденсатор C4 та індуктивність L1 разом із варикапами D1 та D2. Варикапи дадуть нам можливість перестроювати частоту, подаючи різні рівні напруги на них, тому що при різних рівнях напруги, на переході варикапів міняється ємність, таким чином цей генератор є генератором керованим напругою.

На виході генератора встановлені блокуючі конденсатори C2, C8, що розділені мікросмужковою лінією імпедансом 50 Ом. Підсилювальний каскад виконаний на мікросхемі SGA3563Z, яка використовує систему трійника зміщення. Вона полягає в тому, що на підсилювальний сигнал подається зміщення з джерела живлення, яке розділене ємністю для підсилювального



сигналу та індуктивністю. Таким чином корисний сигнал проходить на вихід через ємність в той час як постійне зміщення не впливає на подальші вузли, а індуктивність не пропускає корисний сигнал до джерела живлення. Вся обв'язка мікросхеми виконана за рекомендацією виробника. Всі каскади підсилення розділені між собою мікросмужковими лініями, де після другого каскаду підсилення сигнал подається на конектор типу SMA, на який встановлюється антена.

Також, на схемі ми можемо бачити порти мікроконтролера, які виконують функції, описані вище. Виходи 6 та 7 мікроконтролера приймають сигнали від кнопок SB1 та SB2, де, після обробки, сигнал з виходу 3 подається керуючий вхід генератора. Конденсатор C18 призначений для згладжування імпульсів з виходу 3, оскільки в даного мікроконтролера відсутній ЦАП. Вихід 4 використовується для виводу пилоподібного сигналу, а вихід 5 для виводу синтезованого шуму з контролера. За допомогою резисторів R9 та R10, сигнал шуму починає модулюватись пилоподібним сигналом, таким чином збільшуючи спектр створеного шуму.

Діод D3 необхідний для усунення від'ємної складової сигналу. Живлення 9 В подається на живлення генератора через фільтруючу обв'язку, на живлення підсилювачів та на вхід RAW мікроконтролера, де за допомогою влаштованого стабілізатора напруги, контролер перетворює 9 В у 5 В.

## **2.2 Розрахунки, що підтверджують працездатність пристрою**

Для вибору елементної бази та номіналів елементів, необхідно провести розрахунок основних вузлів пристрою. В цьому розділі буде проведено розрахунок генератора керованого напругою та розрахунок мікросмужкових ліній передач.

### 2.2.1 Розрахунок генератора керованого напругою

Перед розрахунком генератора, потрібно розуміти, що у схемі Колпітца частотозадаючими є не тільки елементи коливального контуру, а ще й конденсатори зворотнього зв'язку та базовий перехід транзистора. Відповідно до [6] було визначено оптимальні умови для початку генерації, формули яких наведено нижче.

$$\begin{aligned}
 U_{ке} &= \frac{U_{ж}}{2}; \\
 P_0 &= 0,8P_{тр}; \\
 I_R &= 10I_б; \\
 C_1, C_3 &\gg C_{бе}; \\
 h_{fe} &> \frac{C_3}{C_1}; \\
 g_m &> \omega_0^2 R_s C_1 C_3; \\
 g_m &= \frac{I_k}{\varphi_T}.
 \end{aligned}$$

Де:  $U_{ке}$  – напруга на переході колектор-емітер,  $U_{ж}$  – напруга живлення,  $P_0$  – робоча потужність транзистора,  $P_{тр}$  – максимальна робоча потужність транзистора,  $I_R$  – струм на резисторах базового зміщення,  $I_б$  – струм бази,  $C_{бе}$  – ємність переходу база-емітер,  $h_{fe}$  – коефіцієнт підсилення транзистора,  $g_m$  – реактивна провідність транзистора,  $\omega_0$  – резонансна частота генератора,  $R_s$  – активний опір індуктивності коливального контуру,  $\varphi_T$  – тепловий потенціал (приблизно рівний 26 мВ).

Використовуючи дані, наведені вище, ми можемо обчислити номінали елементів для генератора.

$$C_T = \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_D} + \frac{1}{C_{бе}} \right)^{-1} = 1,28 \text{ пФ} - \text{загальна ємність у вузлі коливального контуру,}$$

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 C_T} = 3,3 \text{ нГн} - \text{індуктивність у вузлі коливального контуру,}$$

$$R_e = \frac{U_{ж} - U_{ке} - U_{к}}{I_{к}} = 220 \text{ Ом} - \text{опір резистора R2,}$$

$$R_{к} = \frac{U_{к}}{I_{к}} = 12 \text{ Ом} - \text{опір резистора R4,}$$

$$R_{д1} = \frac{U_{ж} - (U_{6e} + U_e)}{I_R} = 5,1 \text{ кОм} - \text{опір резистора R3,}$$

$$R_{д2} = \frac{U_e + U_{6e}}{I_R} = 10 \text{ кОм} - \text{опір резистора R1.}$$

### 2.2.2 Розрахунок мікросмушкової лінії передач

Для розрахунку мікросмушкової лінії передач необхідно вибрати тип текстоліту та його параметри. Для нашої задачі підійде двохсторонній текстоліт FR4 товщиною 0,5 мм та товщиною шару міді 35 мкм. Переріз лінії передач наведений на рис. 2.2. Розрахунок буде проводитись за формулою, приведеною нижче (рис. 2.3).

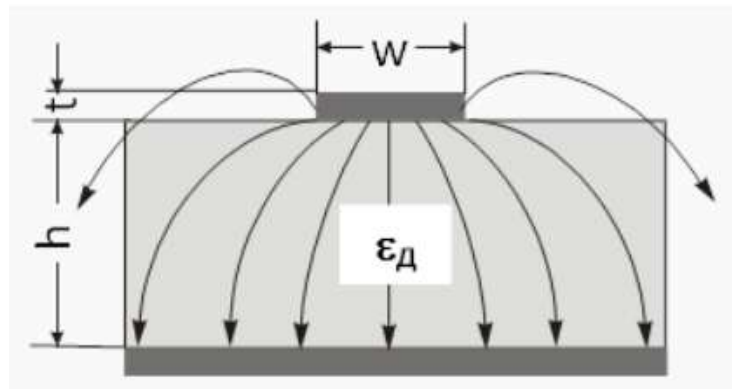


Рисунок 2.2 – Переріз та розміри мікросмушкової лінії передач.

$$Z_0 = \frac{120\pi \cdot \frac{h}{w}}{\sqrt{\epsilon_{eff}} \cdot \frac{h}{w}} \cdot \frac{1}{1 + 2.42 \frac{h}{w} - 0.44 \left(\frac{h}{w}\right)^2 + \frac{h}{w} \left(1 - \frac{h}{w}\right)^6}$$

Рисунок 2.3 – Формула імпедансу мікросмушкової лінії передач.

Оскільки формула імпедансу наведена в певному наближенні то і результат розрахунку буде приблизним. Після підстановки всіх значень та

проведення декількох ітерацій, було визначено, що ширина доріжки  $t = 0,95$  мм. Також, як видно з формули, імпеданс лінії не залежить від частоти, в той же час від частоти залежить ефективна діелектрична проникність текстоліту. Для FR4 діелектрична проникність текстоліту приблизно дорівнює 4,5, що показує, що такий текстоліт підходить для частотного діапазону роботи плати. Наприклад для частот порядку 10 ГГц і вище такий текстоліт буде мати занадто багато втрат, тому для вищого діапазону використовують плати, виконані на кераміці.

### 2.3 Вибір елементної бази

Провівши розрахунки, які показали нам необхідні номінали елементів, тепер можна провести аналіз елементної бази, яка буде використана для реалізації пристрою. Оскільки більшість ланок пристрою є чутливими при роботі з НВЧ, елементи повинні мати максимально зосереджені параметри для уникнення великих паразитних ємностей, індуктивностей та опорів. Для цієї задачі підійдуть елементи типу SMD типорозміру 0603-0805. Оскільки обрані елементи мають малі габарити то і сама плата буде невеликого розміру, що є хорошою ознакою в плані портативності та ергономічності.

Так як всі ємності та опори будуть мати вказаний вище типорозмір, далі буде розглянуто характеристики основних нелінійних елементів та мікросхем.

На рис. 2.4 наведено транзистор BFP420 в корпусі SOT-343.

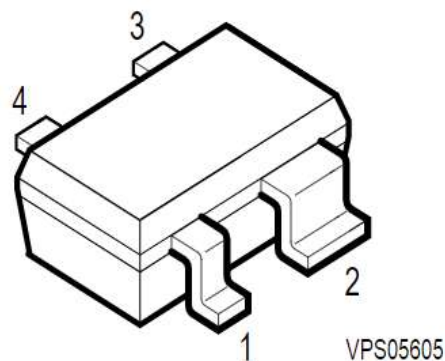


Рисунок 2.4 – Транзистор BFP420.

Даний транзистор має наступні параметри:

- Гранична частота підсилення по струму 25 ГГц.
- Максимальна напруга колектор-емітер 6,5 В.
- Максимальний струм колектора 35 мА.
- Максимальна розсіювана потужність 160 мВт.
- Ємність база-емітер 0,15 пФ
- Активна складова імпедансу на частоті 2400 МГц рівна 50 Ом.

Також, для додаткового аналізу розглянемо діаграму Смітта для даного транзистора (рис. 2.5).

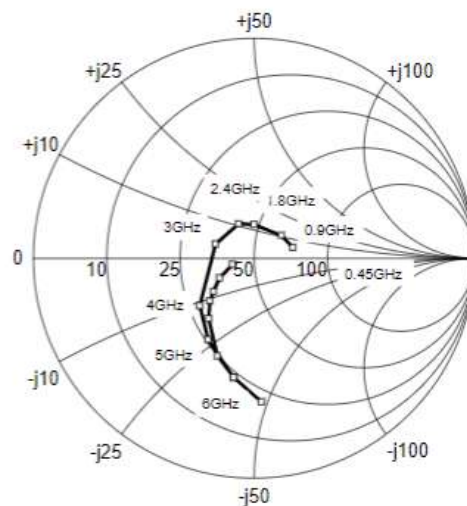


Рисунок 2.5 – Діаграма Смітта для транзистора BFP420.

На рисунку видно, що на робочій частоті 2400 МГц активна складова імпедансу дорівнює 50 Ом, але реактивна складова опору рівна 10 Ом і має індуктивний характер. Для компенсації індуктивної складової, на вихід генератора необхідно встановити конденсатор такої ємності, щоб повністю усунути індуктивну складову імпедансу, тобто необхідно щоб на робочій частоті реактивний опір ємності також дорівнював 10 Ом.

На рисунку 2.6 наведено варикап BB135 в корпусі SOD-323.



Рисунок 2.6 – Варикап BB135.

Даний варикап має наступні параметри:

- Максимальна зворотня напруга 30 В.
- Максимальний прямий струм 20 мА.
- Ємність варикапа при напрузі 0,5 В рівна 20 пФ.
- Ємність варикапа при напрузі 5 В рівна 8 пФ.

Оскільки в нашій схемі два варикапи включені послідовно, то загальна ємність цього вузла визначається як ємність послідовно увімкнених елементів.

На рисунку 2.7 наведено мікросхему SGA3563Z в корпусі SOT-363.

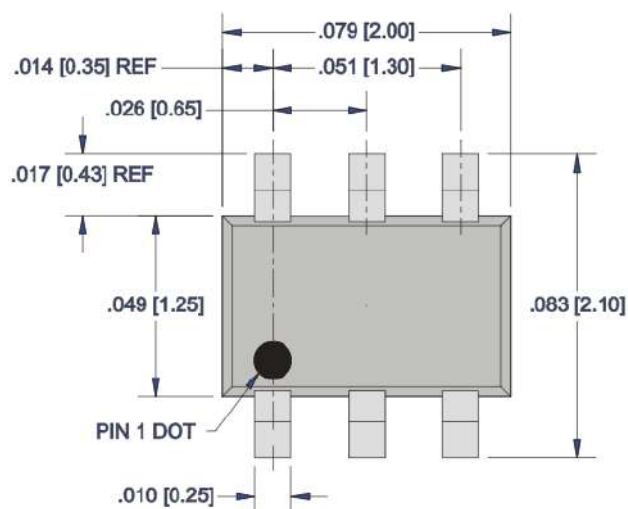


Рисунок 2.7 – Мікросхема SGA3563Z.

Дана мікросхема має наступні параметри:

- Підсилення на частоті 2400 МГц рівне 20 db.
- Максимальна вхідна потужність 18 dbm.
- Максимальна напруга живлення 6 В.
- Максимальний струм живлення 70 мА.
- Вихідний імпеданс 50 Ом.

Для коректної роботи пристрою, виробник рекомендує включати мікросхему за схемою, наведеною на рис. 2.8.

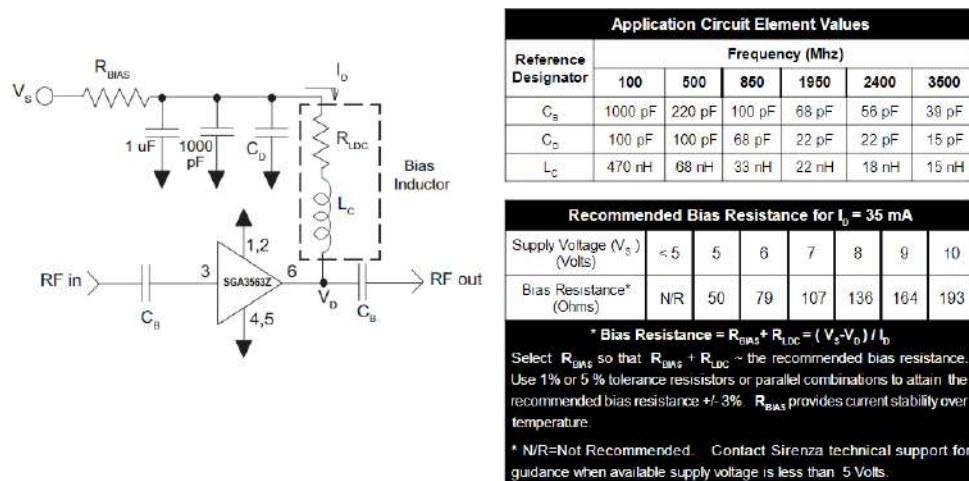


Рисунок 2.8 – Рекомендована схема та номінали для мікросхеми SGA3563Z.

Як видно з рисунка, виробник попідкувався про можливість живлення мікросхеми від більшої напруги, ніж заявлено в параметрах, тому для нашого випадку, струмообмежувальний резистор буде мати опір 180 Ом. В процесі розробки реального прототипу, було виявлено що вихідна потужність генератора складає -13 dbm за напруги 9 В, тому після першого підсилювального каскаду вихідна потужність буде складати +7 dbm, а після другого +27 dbm. Таким чином, ми вписуємось в заявлені обмеження по вхідній потужності мікросхеми.

На рисунку 2.9 зображений мікроконтролер Arduino Pro mini.

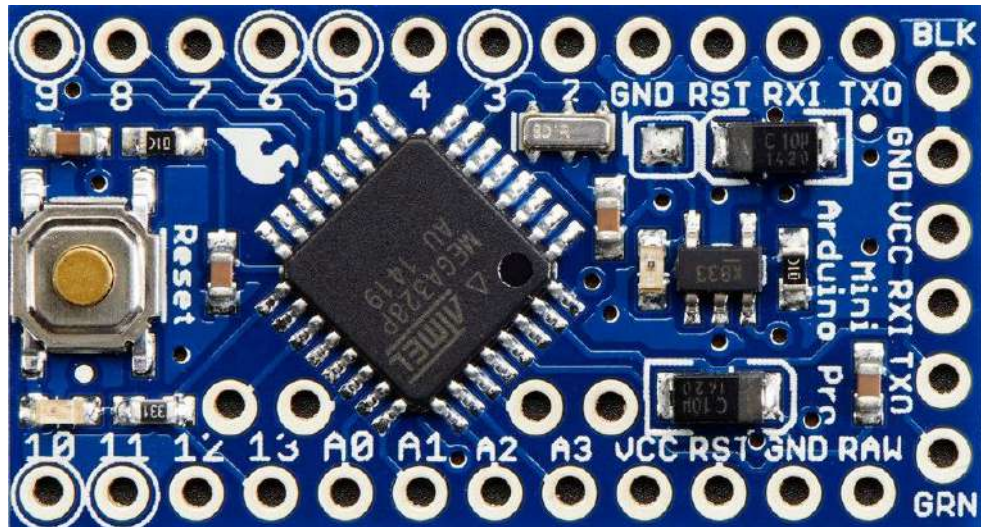


Рисунок 2.9 – Мікроконтролер Arduino Pro mini.

Даний мікроконтролер має наступні характеристики:

- Тактова частота 16 МГц.
- Розрядність АЦП 10 біт.
- Вхідна напруга живлення до 12 В.
- Вихідний струм до 150 мА.

Цей мікроконтролер є ідеальним рішенням для нашого пристрою. Його компактність та простота дозволяє нам легко інтегрувати його в наш пристрій шляхом прямої його запайки на плату, а 10-бітний АЦП дозволить нам виводити сигнали хорошої якості без необхідності додаткової їх фільтрації.

Таким чином, ми бачимо що всі використані радіоелементи доступні, не мають складного монтажу та не містять в собі дорогоцінних металів, що робить готовий прилад дешевим порівняно з існуючими аналогами. Також, присутність контролера дозволить налаштувати пристрій під конкретні задачі користувача, що додасть гнучкості у використанні пристрою.



## 2.4 Симуляція роботи пристрою в різних програмних середовищах.

Для того щоб переконатись в коректній роботі пристрою, необхідно просимулювати роботу його окремих вузлів та виявити можливі неполадки, які можуть виникнути в процесі створення пристрою. Для цього буде використано декілька програмних забезпечень, які дадуть можливість зробити симуляцію задаючого генератора, мікросмужкових ліній передач, антени та аналіз спектру вихідного сигналу. Для початку, розглянемо симуляцію схеми задаючого генератора пристрою та дослідимо його роботу.

### 2.4.1 Симуляція схеми в середовищі MicroCAP.

Для аналізу схеми, вихідного сигналу та спектру було використано програмне забезпечення MicroCAP. Після створення схеми в цьому середовищі, було проведено аналіз перехідних процесів для дослідження вихідного сигналу системи. Графік вихідного сигналу наведено на Рис. 2.10.

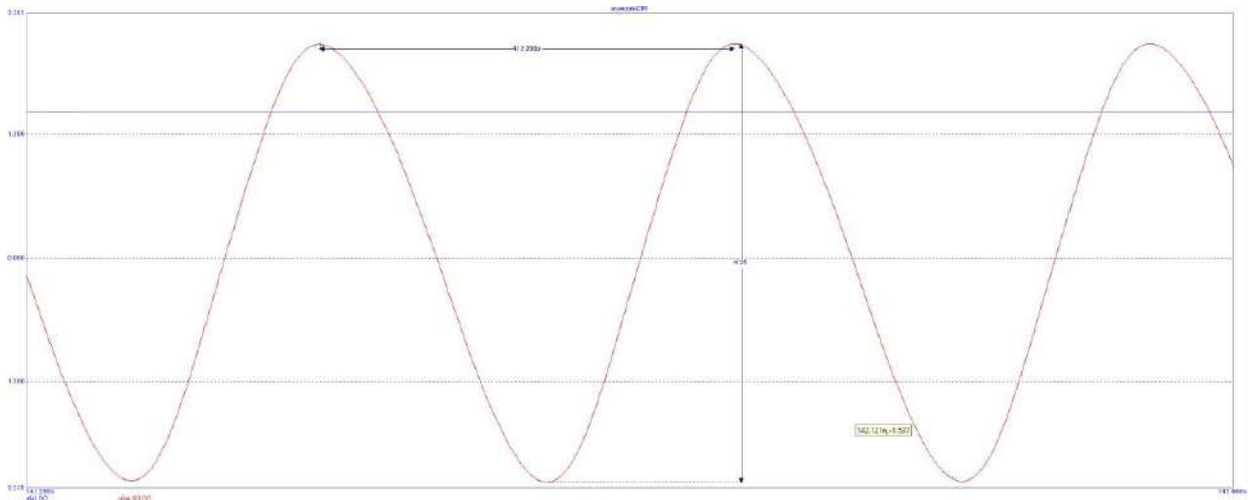


Рисунок 2.10 – Амплітуда та період вихідного сигналу.

Як видно з рисунку, період сигналу складає 412 пс, що відповідає частоті 2,427 ГГц. Амплітуда сигналу складає 4,3 В, що показує доволі високу потужність вихідного сигналу, проте в реальності амплітуда сигналу буде нижча, оскільки симуляція не враховує втрати, геометрію доріжок та інші фізичні властивості системи.

Оскільки частота даної системи буде керуватись напругою, необхідно також дослідити цю залежність і в програмі. На вхід пристрою був поданий сигнал трикутної форми, який водночас був модульований меандром. Це було зроблено для розширення спектру вхідного сигналу, а також це покаже поведінку амплітуди сигналу в залежності від зміни вхідного керуючого сигналу шуму. На рис. 2.11 зображено вихідний сигнал (червоного кольору) та керуючий сигнал (синього кольору).

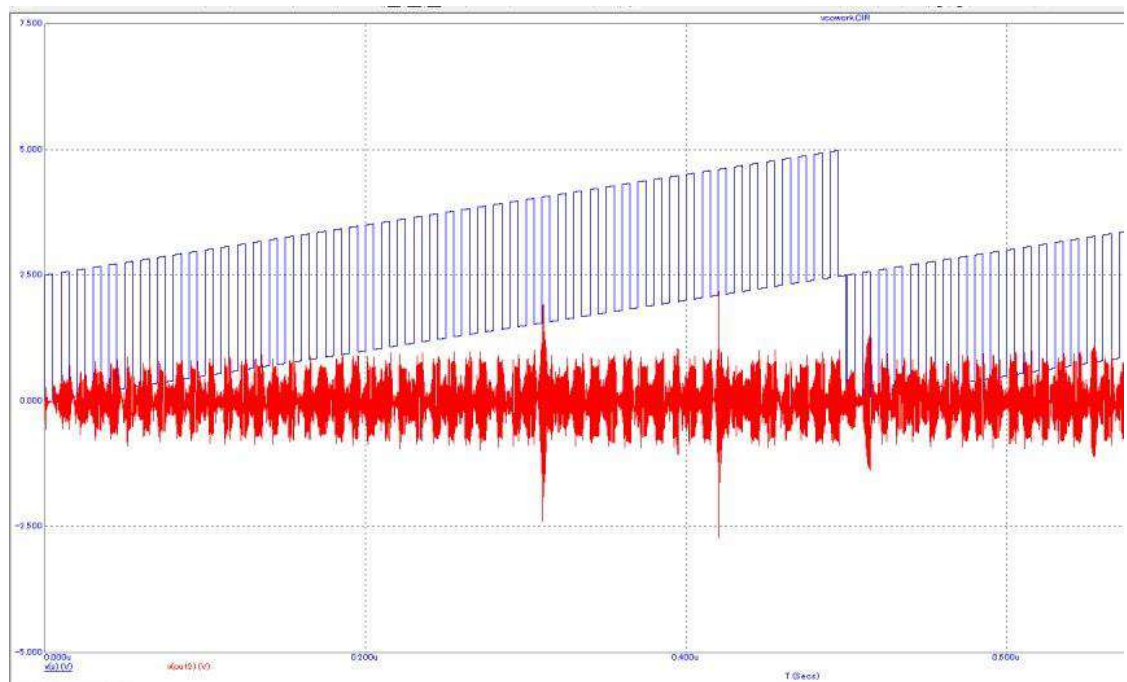


Рисунок 2.11 – Вихідний та керуючий сигнали системи.

На рисунку видно, що амплітуда сигналу напряму залежить від амплітуди керуючого сигналу, а також, що вихідний сигнал має спотворення і навіть суттєві збільшення амплітуди, що показує високий рівень впливу шуму на спектр вихідного сигналу.

Тепер приблизимо графік в точці, де амплітуда керуючого сигналу падає від свого максимального значення до мінімального (рис. 2.12).

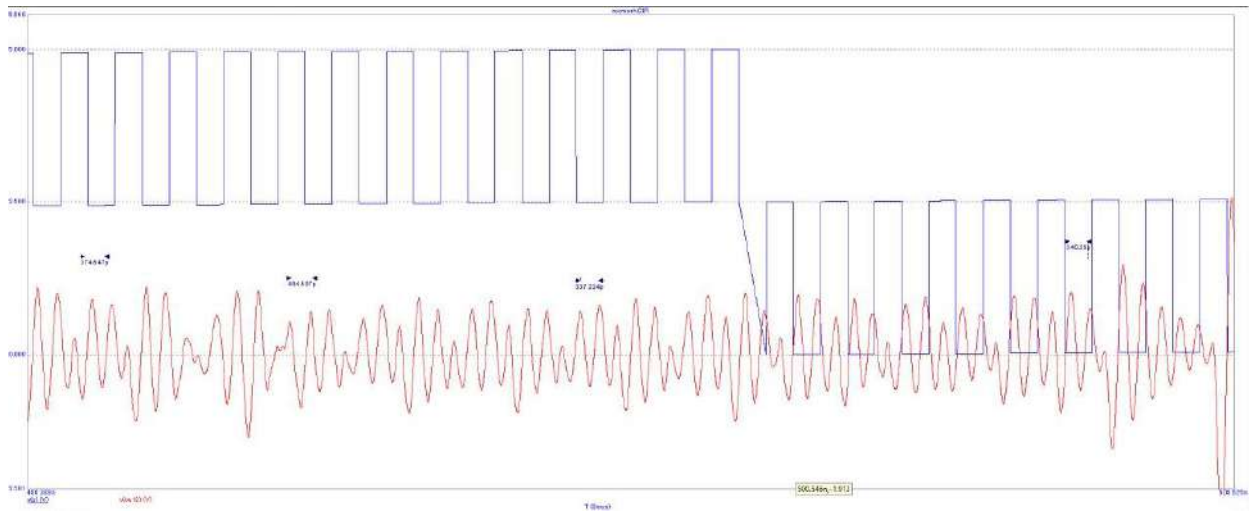


Рисунок 2.12 – Вихідний та керуючий сигнали (приблизно).

Як видно, різких викидів при переході керуючого сигналу немає, а отже нам не потрібно захищати чутливі елементи обернено-ввімкненими діодами.

Наступним кроком аналізу буде аналіз спектру вихідного сигналу. Більшість енергії спектру буде припадати на керуючий сигнал, оскільки його частота менша, а амплітуда більша, але амплітуда корисного сигналу буде підсилена вподальшому.

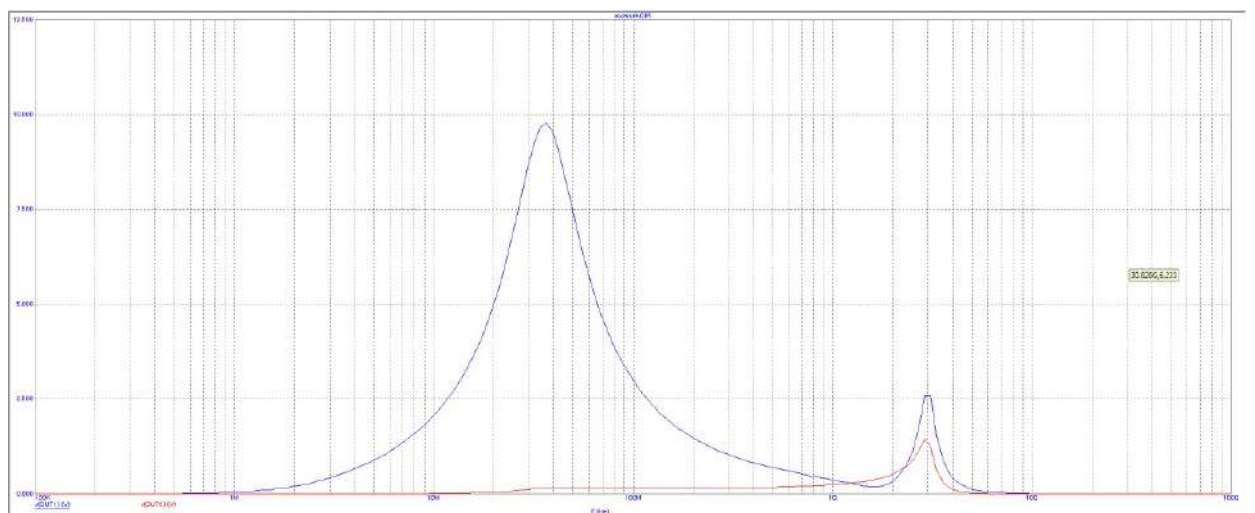


Рисунок 2.13 – Спектр вихідного сигналу (червоний).

Як видно з рисунку, спектр вигідного сигналу розтягнений, що означає що його спектр має наявність в ньому високого рівня шуму. Для детального аналізу, поглянемо на цей спектр ближче (рис. 2.14).

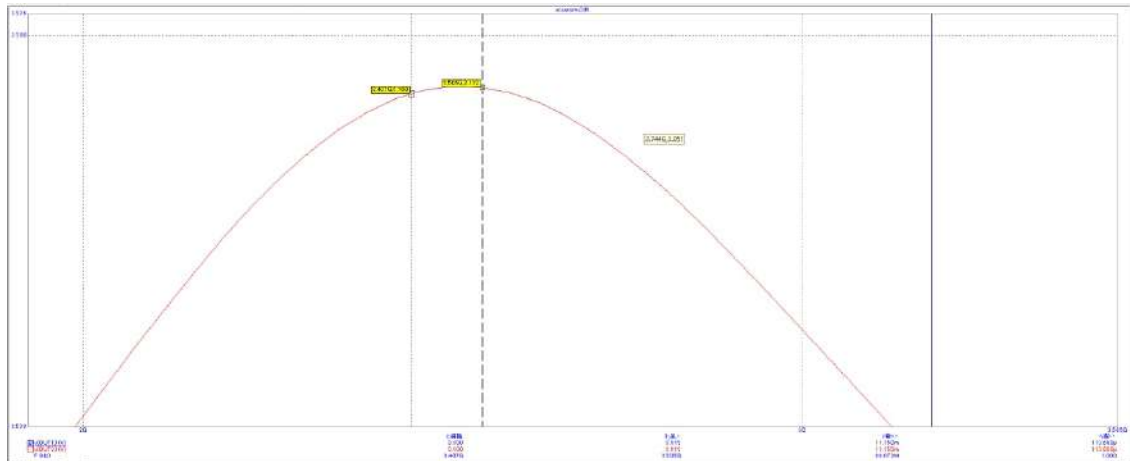


Рисунок 2.14 – Спектр вихідного сигналу (приблизно).

Центральна частота даного спектру складає 2,45 ГГц зі смугою пропускання від 2,4 ГГц до 2,5 ГГц, що ідеально підходить для створення завод системам Wi-Fi та Bluetooth.

Оскільки вподальшому смуга пропускання спектру буде змінюватись для аналізу ефективності системи, необхідно поглянути на спектр керуючого сигналу окремо та з'ясувати як буде змінюватись його спектральна щільність в залежності від частоти. Для цього було написано невелику програму в середовищі MathCAD та проведено швидке перетворення Фур'є даного сигналу (рис. 2.15).

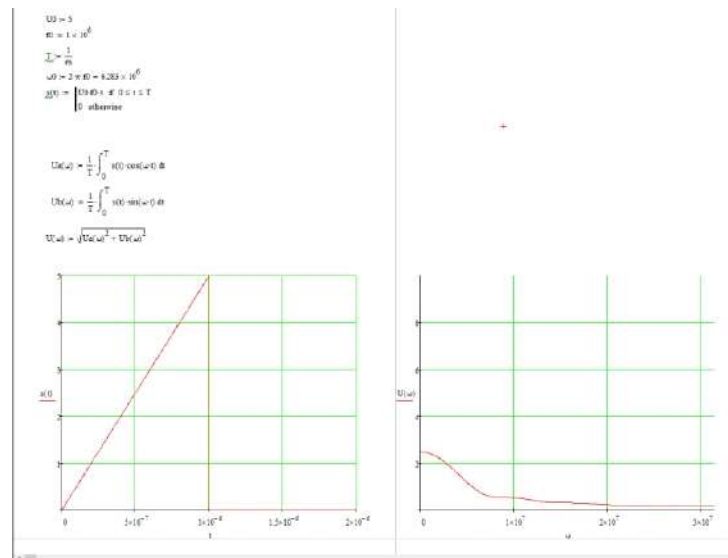


Рисунок 2.15 – Аналіз спектру керуючого сигналу.

Для аналізу було проведено симуляцію сигналу з періодом 1 мкс, або частотою 1 МГц. Як видно зі спектру сигналу, його більша частина енергії зосереджена до його несучої частоти, що означає що при зміні частоти, його основна енергія буде мінятись в проміжку його несучої частоти яка рівна частоті сигналу. Також, важливо відмітити, що чим більша частота керуючого сигналу тим ширший буде спектр вихідного сигналу. Таким чином, частота керуючого сигналу буде складати орієнтовно одиниці МГц, що в сумі з широким спектром шуму дасть нам вихідний широкий спектр, який покриє весь необхідний діапазон частот.

#### 2.4.2 Симуляція НВЧ вузлів в середовищі CST.

Після проведення аналізу схеми, тепер необхідно провести аналіз елементи плати, оскільки на робочій частоті системи, на сигнал впливають такі параметри як геометрія доріжок і плати, товщина плати, матеріал плати, розмір елементів та багато інших. Для проведення аналізу було використано середовище CST, яке дозволить нам створювати тривимірні моделі досліджуваних систем та аналізувати їх роботу при різних частотах.

Для початку, проаналізуємо розраховану вище мікросмушкову лінію передач. Як було сказано раніше, для коректної роботи НВЧ тракту, необхідно створити металізовані отвори, які зв'язують верхній шар

заземлення з нижнім, що обмежить вплив НВЧ на інші компоненти плати та дасть змогу концентрувати енергію НВЧ в мікросмузжковій лінії передач.

Створивши тривимірну модель мікросмузжкової лінії по розмірам, розрахованим раніше, було проведено аналіз лінії на частоті 2,45 ГГц (рис. 2.16).

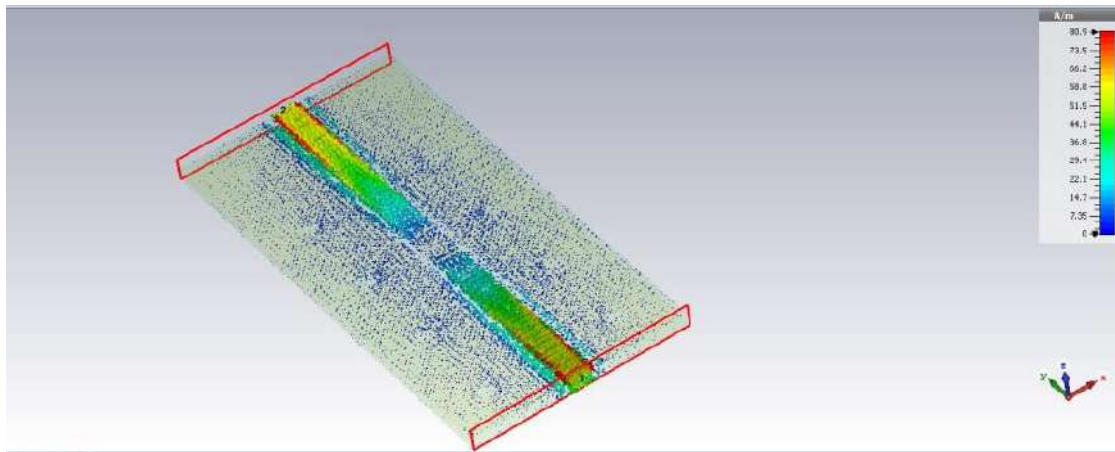


Рисунок 2.16 – Модель мікросмузжкової лінії передач.

В процесі аналізу був взятий малий відрізок довжини лінії, що дорівнював одній довжині хвилі робочої частоти. Як видно з аналізу, на мікросмузжковій лінії дійсно утворюються біжучі хвилі заданої частоти та силові лінії полів зосереджені в самій лінії, що доводить необхідність використання металізованих отворів в даній системі. Також дана симуляція показала що імпеданс даної лінії при заданій ширині доріжки 0,95 мм складає близько 50 Ом, що повністю узгоджується з виходом задаючого генератора та входом підсилювачів потужності.

Наступним кроком аналізу є розрахунок антени та аналіз її діаграми направленості. В даному пристрої буде використано штиркову антену, довжиною що рівна чверті ефективної довжини хвилі, тобто близько 4 см. Діаграма направленості такої антени всенаправлена, що дасть змогу створювати завади в усіх напрямках, не залежно від того де знаходиться джерело передачі інформації. В заданій моделі, антена буде під'єднана до

проаналізованої раніше лінії передач, що дасть додаткове уявлення про характеристики антени та її узгодження з лінією передач. На рис. 2.17 наведено тривимірну модель антени.

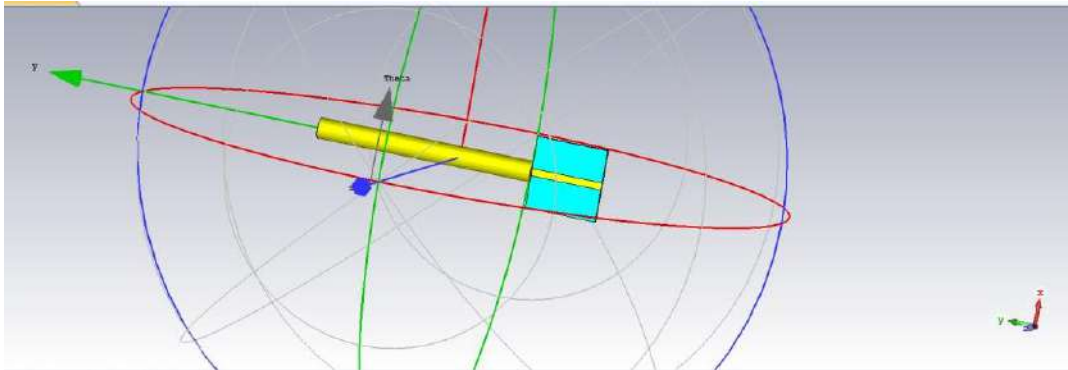


Рисунок 2.17 – Тривимірна модель антени.

На вхід буде поданий радіосигнал частотою 2,45 ГГц, який буде випромінений антеною у вигляді радіохвиль такої ж частоти. Діаграма направленості антени наведена на рис. 2.18. Як видно з рисунку, діаграма направленості співпадає з теоретичною але максимальне підсилення антени знаходиться в зоні, де є поверхня лінії передач. Це пояснюється тим що з іншої сторони знаходиться контакт заземлення який поглинає всі радіохвилі. Таким чином потрібно використовувати спеціальний конектор для установки антени щоб уникнути цього ефекту. Максимальне підсилення антени складає 3.2 dbi, що приблизно дорівнює підсиленню у 2 рази.

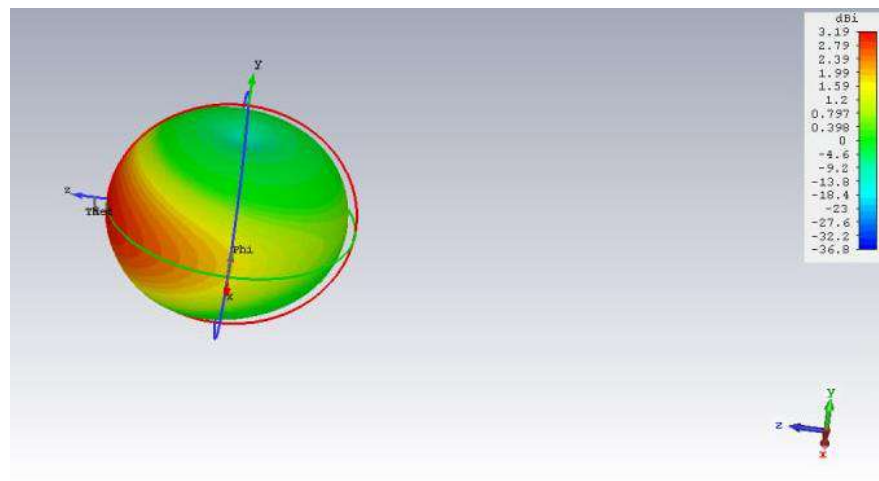


Рисунок 2.18 – Діаграма направленості антени.

В даному пристрої для установки антени буде установлений конектор типу SMA який зображений на рис. 2.19.



Рисунок 2.19 – SMA конектор на плату.

Такий конектор позбавить нас недоліків, які показала симуляція та дозволить компактно встановлювати різні типи антен до пристрою або під'єднувати пристрій до інших систем, наприклад підсилювачів. Антену будемо використовувати зі встроєним SMA конектором (рис. 2.20).



Рисунок 2.20 – SMA антена.

Ця антена має підсилення 3 dBi, вхідний імпеданс 50 Ом та призначена для роботи на частотах діапазону 2,4 ГГц, що повністю підходить для нашого пристрою.



## 2.5 Написання програмного коду для створення шуму.

В процесі написання програмного коду для створення шуму, буде розглянуто три різних варіанти модуляції які вплинуть на подальший спектр сигналу. Основною ідеєю є генерація пилоподібного сигналу, який модулюється бінарним шумом, тобто програма буде генерувати випадкові логічні значення сигналу шуму, який на виході дасть шум, подібний до Гаусівського. Після написання відповідного коду, було побудовано графік сигналу, який генерується з виходу мікроконтролера (рис. 2.21). В якості джерела випадкових чисел був використаний аналоговий вхід мікроконтролера, який уловлює різноманітні слабкі електричні поля та перетворює їх значення в 10 бітне число, яке потім перетворюється в двійкову форму.

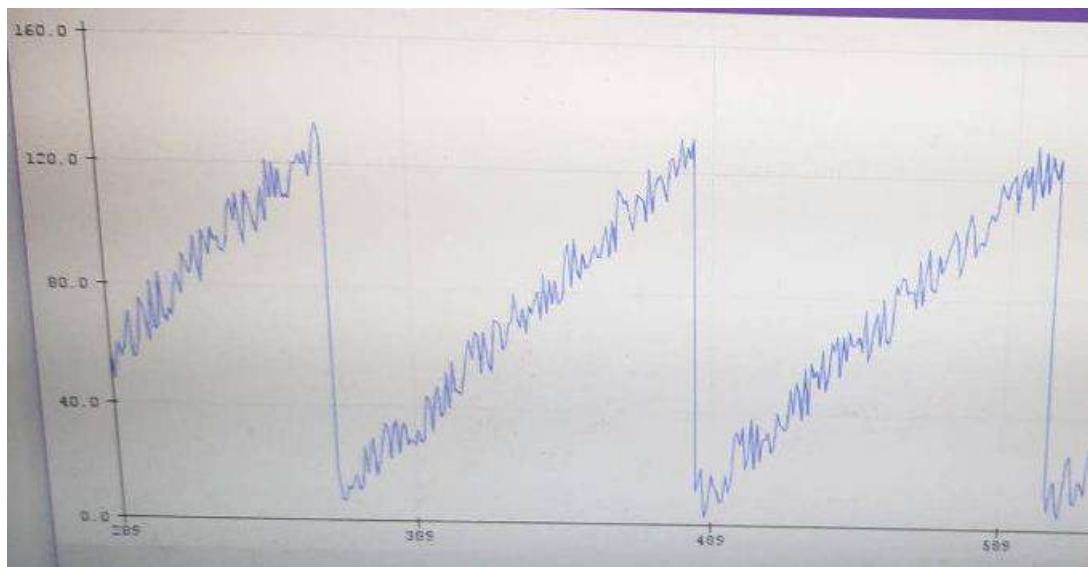


Рисунок 2.21 – Згенерований сигнал шуму.

В цьому дослідженні буде змінюватись частота пилоподібного сигналу, амплітуда шуму, амплітуда пилоподібного сигналу та постійне зміщення сигналів. Таким чином ми отримаємо різні спектри на виході та з'ясуємо яка конфігурація охоплює найбільший спектр та має найбільшу дальність подавлення пристроїв.

## 3 ВИРОБЛЕННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ПРИСТРОЮ

### 3.1 Конструювання пристрою.

Першим кроком до конструювання пристрою буде створення друкованої плати. Як зазначалося вище, друкована плата є двосторонньою з товщиною мідної фольги 35 мкм, товщиною текстоліта 0,5 мм та матеріалом текстоліта FR-4. Головна особливість плати полягає в тому, що вона в собі містить великі полігони, які під'єднані до землі шляхом металізованих отворів. Також всі елементи мають типорозмір SMD, що означає малу площу посадкових майданчиків та необхідну високу точність травлення доріжок плати. Друкована плата пристрою представлена на рис. 3.1.

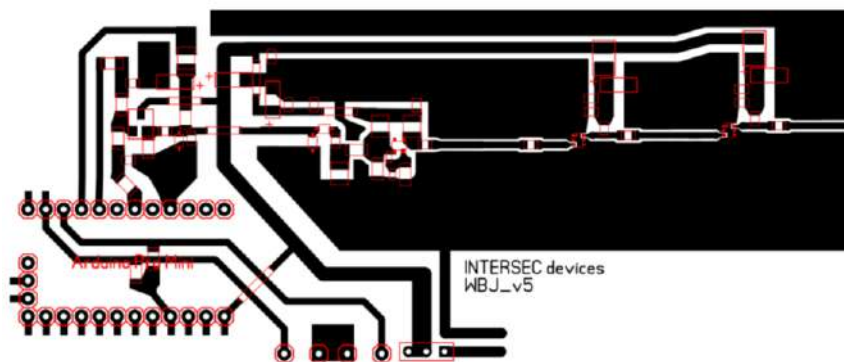


Рисунок 3.1 – Друкована плата пристрою.

Виготовлення плати виконане методом ЛПТ та в якості травного розчину був використаний хлорид заліза, який забезпечує точність травлення доріжок до 0,1 мм. Для створення металізованих отворів було просвердлено отвори діаметром 0,5 мм по всьому периметру частото задаючих вузлів плати та вздовж мікросмужкових ліній передач. В отвори були продіті мідні жили та запаяні до земляних полігонів з обох сторін плати. Далі всі посадкові майданчики та доріжки були залужені припоєм для усунення корозії на платі та для кращого припаювання елементів. Пайка елементів проводилась термофеном, що дало високу точність встановлення елементів на відповідні

майданчики, а також полегшило задачу встановлення елементів малих розмірів, таких як мікросхем SGA3563Z.

Всі кнопки та перемикачі були встановлені з лівої сторони плати, що дало ергономічність у використанні пристрою. Також, в процесі створення плати, було вимушено використати вивідні елементи, оскільки між окремими вузлами плати проходили доріжки, які мали велику ширину. Також в процесі тестування окремих вузлів виявилось, що необхідно встановити електролітичний конденсатор великої ємності для згладжування цифрового сигналу на виході контролера, який відповідає за встановлення базової частоти роботи пристрою. Попередньо підготувавши виводи контролера, він був встановлений поверхневим монтажем на плату. Готовий пристрій зображено на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Виготовлений пристрій.

### 3.2 Тестування пристрою.

Для початку необхідно з'ясувати, яка споживана потужність пристрою. Під'єднавши до пристрою два акумулятори формату 18650 була виміряна напруга на пристрої та споживаний струм. Повністю заряджені акумулятори мають вихідну напругу 8,4 В, а споживаний струм на виході склав 460 мА, що приблизно дорівнює 3,86 Вт.

Оскільки мікроконтролер не потребує великої потужності для його роботи, можна зробити висновок, що найбільше всього нагріваються НВЧ вузли. І дійсно, в процесі пошуку вузлів з найбільшим розсіянням потужності було виявлено, що вихідні каскади підсилювачів нагрівались найбільше. Більше того, другий каскад підсилення нагрівався більше за перший, що пояснюється тим що на каскад другого підсилювача надходить більша потужність сигналу ніж на перший, (а саме на 20 dbm), але нагрівання не є настільки сильним для необхідності встановлення тепловідводу, оскільки більшість тепла відводить сама поверхня плати, в якій нижня частина є земляним полігоном.

Також було помічено, що розділові конденсатори між каскадами та конектор для антени теж нагрівались. Це пояснюється не ідеальним узгодженням окремих каскадів з лініями передач та лінії передач з антеною, що призводить до відбивання деякої частини енергії радіохвиль від елементів та перетворення цієї енергії в тепло. Цю проблему можна легко вирішити проаналізувавши реальні імпеданси кожного вузла пристрою та узгодити їх будь-яким методом.

### ***3.2.1 Тестування перестройки частоти пристрою.***

Перед початком повної перевірки працездатності пристрою, необхідно перевірити, як працює функція настройки та перестройки частоти. Для моніторингу цього процесу, був використаний портативний аналізатор спектру, побудований на радіомодулі nRF, частотний діапазон якого 2,4 – 2,5 ГГц. На жаль, цей пристрій не має владшованої шкали амплітуди, але для порівняльного аналізу цього буде достатньо.

Увімкнувши пристрій, спостерігали деякі гармоніки пристрою, які мали малу амплітуду та вузький спектр. Шляхом налаштування кнопками частоти, на варикапи генератора було подано постійне зміщення, яке міняє частоту генератора. Згодом, центральна частота була знайдена та значення напруги при цьому було запрограмоване в мікроконтролері, як початкове.

Відповідно до навколишніх умов, частота може “плавати”, тому функціональність кнопок все ще залишається актуальною. Для центральної частоти характерна висока амплітуда, спектр шириною близько 10 МГц та відносна стабільність. Таким чином можна перейти до різних методів генерації та модуляції шуму і перевірити який метод буде найефективнішим для створення електромагнітних завад.

### 3.2.2 Тестування різних видів модуляції шуму.

Як було сказано раніше, для створення шуму буде використано пілкоподібний сигнал в якості несучої та бінарний Гаусівський шум, який буде модульований несучим пілкоподібним сигналом.

Спочатку було поставлено частоту пілкоподібного сигналу невеликою (близько 1 МГц) та амплітуду виставимо від 0 до 5 В. Результуючий спектр випромінювання наведений на рис. 3.3.

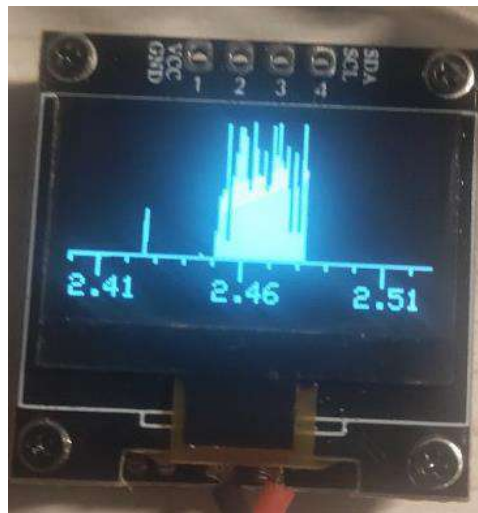


Рисунок 3.3 – Спектр сигналу при заданих умовах шуму.

Як видно, спектр сигналу має високу амплітуду та ширину близько 30 МГц, який показує, що такий сигнал ефективно може глушити сигнал в даній частотній області. Так як сигнал Wi-Fi та Bluetooth мають ширину спектру 80 МГц, то цей спектр необхідно розширити. Для цього було за програмовано

контролер так, щоб він рухав цей спектр в частотній області від 2400 МГц до 2480 МГц з частотою оновлення частоти даних систем Wi-Fi та Bluetooth, тобто з частотою 1 МГц. В результаті цього отримали спектр, зображений на рис. 3.4.



Рисунок 3.4 – Спектр сигналу за зазначених вище умов.

Ми можемо спостерігати рівномірно розподілений спектр по всій смузі частот, але амплітуда такого спектру є малою, це означає, що дальність подавлення сигналу при такому типі шуму є малою.



Рисунок 3.5 – Спектр сигналу за зазначених нижче умов.

Оскільки протокол сигналу Wi-Fi та Bluetooth передбачає випадкову зміну частоти передачі інформації з періодом 1 мкс, то спробували генерувати випадкові значення частот широкого спектру і з великою ймовірністю перекрити частоту сигналу, який необхідно подавити. Для цього виставили в програмі випадкову зміну частоти з періодом 1 мкс та запрограмували заново контролер. Результат наведений на рис. 3.5.

Видно, що присутня центральна частота на частоті 2,47 ГГц та спостерігаються гармоніки, які віддаленні одна від одної на приблизно 15 МГц. Таким чином дійсно видно, що шляхом перепрограмування пристрою, можна легко змінити частотні та спектральні характеристики сигналу, а також шляхом різних модуляцій можна змінювати спектр сигналу відповідно до заданих цілей. Наприклад, для подавлення багатьох пристроїв на середній дальності підійде останній варіант модуляції з гармоніками, для одного конкретного пристрою на великій дальності підійде варіант зі щільним спектром з великою амплітудою, а для цілей, які використовують широкий спектр частот для передачі інформації підійде другий варіант з широким модульованим спектром та малою амплітудою, яку за необхідності можна підсилити, під'єднавши до пристрою додаткові підсилювачі.

## 4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

У даному розділі розглянуто економічні показники використання радіометричних засобів . Визначено потенційні ринки збуту та проаналізовано конкурентоспроможність устаткування, що використовується.

### 4.1 Опис ідеї проекту

Під час розробки стартап-проекту проведено аналіз суті ідеї, можливі сфери застосування, основні якості даного товару, що може отримати користувач на відміну від існуючих аналогів.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Певний пристрій та методологія за допомогою яких стає можливим подавлення пристроїв радіочастотного діапазону	Створення завод для подавлення пристроїв, які працюють по протоколам Wi-Fi та Bluetooth	Мала вартість та портативність пристрою порівняно з аналогами
	Проектування систем міліметрового діапазону	Спрощення системи виробництва подібних пристроїв які споживають менше енергії ніж аналоги

Конкурентами на ринку є як вітчизняні так і зарубіжні виробники існуючих засобів заводогенеруючої апаратури для подавлення сигналів.



Таблиця 4.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту.

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Слабка сторона	Нейтральна сторона	Сильна сторона
1	Витратні матеріали		+	
2	Портативність			+
3	Ціна			+
4	Дальність подавлення	+		
5	Важкість виготовлення			+

#### 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В даному підрозділі представлені основні результати огляду ПЗ, за допомогою якого було проведено збір та оброблення даних для аналізу стартап-проекту.

Для обробки даних вирішено обрати наступні ПЗ:

1. MS Excel – проста програма для аналізу даних та виконання математичних операцій.
2. Matlab – пакет прикладних програм для чисельних та інженерних розрахунків або аналізу числових даних.
3. Пристрій, розроблений самостійно.

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненість проекту

№ п/п	Технології аналізу пристрою	Наявність технології	Доступність технології
1	MS Excel	Так	Так
2	Matlab	Так	Так
3	Пристрій, розроблений самостійно	Ні	Ні
Обрана технологія аналізу ідеї проекту: MS Excel			

Для аналізу стартап-проекту було обрано MS Excel, оскільки програма є простою для використання та інтуїтивно зрозуміла для користувача.

### 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В даному розділі представлено результати проведеного аналізу ринкової спроможності запропонованого засобу проведення подавлення сигналів, тобто можливість комерціалізації даного проекту та аналіз можливих економічних загроз. Аналіз таких характеристик дозволяє теоретично аналізувати напрямки та стратегії розвитку комерційного проекту по виготовленню та способу продажу виробів.

Таблиця 4.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	До 5
2	Загальний обсяг продаж, ум. од	Невідомо
3	Динаміка ринку	Не міняється
4	Наявність обмежень для входу	Існують
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Існують
6	Середня норма рентабельності в галузі, %	250

За результатами аналізу можна зробити висновок, що ринок починає занепадати, оскільки основні учасники не зацікавлені в розвитку даної галузі, але ціна на такі пристрої все ще лишається високою. Це дасть можливість ввійти на ринок з новими ідеями, та водночас, знизити середню ціну як на готовий пристрій так і на його виробництво. Ціна входу на ринок є відносно не високою, але потребує додаткових сертифікацій. Також визначено потенційних клієнтів пристрою.

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Необхідність подавити сигнали небажаних систем для передачі та приймання даних	Приватні підприємці, військові та цивільні структури	Не досліджувалось в рамках даного проекту	Здешевлення та збільшення портативності пристрою

В таблиці 4.6 наведено дані для аналізу ринкового середовища, а саме фактори, що сприяють ринковому впровадженню проекту та фактори, що можуть перешкоджати цьому.

Таблиця 4.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Ризик не основної аудиторії застосовувати даний пристрій в легальних цілях	Приватні особи, які можуть використовувати пристрій в нелегальних цілях, що дасть обмеження до реалізації продукту зі сторони влади	Застосувати кампанію продажу пристроїв тільки сертифікованим організаціям та юридичним особам

Таблиця 4.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Компактність та гнучкість у налаштуванні пристрою	Наявність цих характеристик дасть додаткову можливість у використанні пристрою широким колом осіб	Розробка нових моделей пристрою, які будуть мати можливість до персоналізації

Проведемо аналіз пропозиції: визначимо загальні риси конкуренції на ринку.

Таблиця 4.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<b>Особливості конкурентного середовища</b>	<b>В чому проявляється дана характеристика</b>	<b>Вплив на діяльність підприємства</b>
Тип конкуренції – не монополістична	Багато виробників без світового лідера	Незначний
За рівнем конкурентної боротьби – міжнародний	Виробництво розташоване в різних країнах світу	Значний
За галузевою ознакою – внутрішньогалузева	Конкуренція відбувається в межах однієї галузі	Значний
Конкуренція за видами товарів – невідомо		
За характером конкурентних переваг – цінова	На що орієнтується компанія в конкурентній боротьбі	Значний
За інтенсивністю – невідомо		

Проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції у галузі.

Таблиця 4.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові і аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари - замінники
	Підприємства, які виробляють пристрої генерації завод та військові підприємства, які виробляють спеціальну радіоапаратуру	Інженерні компанії, які працюють над пристроями в НВЧ діапазоні	Невідомо	Юридичні особи та військові і цивільні організації, які зацікавлені у використанні даної технології	Невідомо
Висновки	Конкуренція на ринку існує	Існує можливість виходу на ринок за певних умов	Невідомо	Компанії орієнтуються на конкретне ТЗ від замовника	Невідомо

За результатами аналізу можна зробити висновок, що виходити на ринок можна, є висока ймовірність конкуренції з боку багатьох компаній, які працюють під конкретного користувача. Продукт цікавий для потенційних користувачів своєю низькою ціною, енергетичною ефективністю,

портативністю та вмінням змінювати свої характеристики під певного користувача, що дасть змогу використовувати прилад широкому колу клієнтів.

Перелічимо фактори конкурентоспроможності.

Таблиця 4.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Витратні матеріали	Система багаторазового використання
2	Розміри	Система менша за розмірами порівняно з аналогами
3	Ціна	Ціна менша порівняно з аналогами
4	Гнучкість переналаштування	Гнучкість дуже висока порівняно з подібними пристроями
5	Дальність подавлення	Дальність дещо менша порівняно з іншими пристроями

Таблиця 4.11 – SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Розміри Витратні матеріали Ціна Гнучкість	Слабкі сторони: Дальність подавлення Невідомий виробник Малий розмір стартового капіталу
Можливості: Гнучкість використання Доступність великосерійного виробництва	Загрози: Нелегальне використання пристрою приватними особами Пристрої-підробки

З огляду на SWOT-аналіз можна прийти до висновку що нема потреби розробляти альтернативи ринкового впровадження цього проекту.

#### 4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

На основі вище описаного аналізу, розробляється ринкова стратегія, що передбачає напрямки охоплення ринку, в першу чергу це так званий портрет потенційного покупця.

Таблиця 4.12 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
1	Компанії та структури, що користуються генераторами завод	Готові	Середній	У сегменті є конкуренція	Важко
Цільові групи обрано: Компанії та структури, що користуються генераторами завод					

Для роботи в обраних сегментах ринку сформулюємо базову стратегію розвитку.



Таблиця 4.13 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні пропозиції	Базова стратегія ринку
1	Диференційований маркетинг	Ціна, розміри, гнучкість	Стратегія спеціалізації

Виберемо конкурентну поведінку

Таблиця 4.14 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект першопрохідцем на ринку ?	Чи буде компанія шукати нових користувачів або забирати існуючих у конкурентів ?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкуренту ?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні	Так	Ні	Стратегія зайняття конкурентної ніші

#### 4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Сформуємо маркетингову концепцію товару, який отримає споживач.

Таблиця 4.15 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Генерація електромагнітних завад для подавлення небажаних пристроїв які передають або приймають дані	Створення завад пристроєм, який займає мало місця, дешевший та гнучкий до використання	Ціна, розміри, гнучкість

Таблиця 4.16 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
1. Товар за задумом	Генерація завад для подавлення сигналу пристроїв
2. Товар у реальному виконанні	Властивості: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Витратні матеріали</li> <li>2. Розміри</li> <li>3. Ціна</li> <li>4. Гнучкість налаштувань</li> </ol>
	Якість: проведення експериментальних досліджень
	Пакування: коробка
	Марка: присутня
3. Товар із підкріпленням	До продажу: невідомо
	Після продажу: невідомо

Захист буде організовано за рахунок захисту ідеї товару (захист інтелектуальної власності).

Визначимо цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на товар.

Таблиця 4.16 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари - аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар
1	50 – 500 USD	500 – 20000 USD	середній	100-300 USD

Визначимо оптимальну систему збуту.

Таблиця 4.17 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Невідомо	Зберігання, пакування, контактування, інформування	Невідомо	Продажі в інтернеті та продажі за контрактом покупця

Розробимо концепцію маркетингових комунікацій.

Таблиця 4.18 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфік а поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуютьс я клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонуванн я	Завдання рекламного повідомлен ня	Концепція рекламного звернення
1	Невідомо	Інтернет, телефон, пошта	Можливості приладу	Донести про функціонал, доступність та можливості приладу	Донесення про доступність, можливості та сильні сторони розробки

### Висновки

За результатами проведеного аналізу ринку можна зробити висновок, що в майбутньому є можливість втілення стартап-проекту даного приладу і вихід його на ринок, оскільки попит на даний прилад існує і є ще не зайняті конкурентські ніші. Оскільки даний прилад використовує доступні радіоелементи, потрібно максимально знизити ціну виробництва даного приладу, щоб стати конкурентноспроможним використовуючи цю сильну сторону.

## ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз сучасних пристроїв. З'ясовано, що на даний момент основними їхніми недоліками являються низький коефіцієнт корисної дії, великі габарити та висока ціна. Також було виявлено, що більшість генераторів завад запрограмовані під певні задачі та не можуть міняти своїх характеристик в процесі роботи.
2. Встановлено, що при різних варіантах модуляції шуму, дальність подавлення – різна. Досягнуто найбільшої дальності, яка склала близько 10 м, що досить суттєво для подавлення сигналів в окремій кімнаті. Однак, в процесі випробування, було з'ясовано, що якість подавлення також залежить від взаємного розташування пристроїв, тобто передавача, приймача та генератора завад.
3. Доведено, що при вихідній потужності 0,5 Вт, теплове розсіювання виявилось невеликим, тобто мікросхеми SGA3563Z не потребують додаткових радіаторів або активної системи охолодження, що відповідає вимогам поставленої задачі.
4. Показано, що перепрограмування пристрою дає можливість змінювати параметри генерації шуму, що призводить до гнучкості переналаштування, а, також, можливість під'єднання до додаткових пристроїв.
5. Стартап-проект дав повне розуміння про конкурентів на існуючому ринку, можливості входу та виробництва даного пристрою. В цілому вийти на ринок можливо, але це передбачає отримання певних сертифікацій на масове виробництво та продаж пристроїв.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ**

1. Об'єкт №811 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://urbexplore.wordpress.com/2016/08/31/object811/>
2. Глушилка "Скорпіон PRO-5.8 G" 10 частот [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://lockers.com.ua/6477-15-an-104/>
3. Мощная портативная глушилка сотовой связи "ТИТАН-ПРО" GSM, 4G, 3G, DCS, GPS, Wi-Fi / Bluetooth, VHF/LOJACK [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://bezpekainfo.com.ua/podaviteli-sotovoj-svyazi/moschnay-glushilka-sotovoy-svyazi-titan-pro>
4. Стационарная глушилка мобильных телефонов и сетей GSM 3G 4G LTE CDMA 2,4 ГГц увеличенной мощности [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://sagent.ru/katalog-tovarov-china/podaviteli-signal/glushilka-gsm-3g-4g-lte>
5. HackRF: первое знакомство [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://hacker.ru/2013/10/24/hack-rf/>
6. Guillermo Gonzalez, "Foundations of Oscillator Circuit Design", 2007 p. – 438 с.