

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Радіотехнічний факультет
Кафедра прикладної радіоелектроніки**

В.о. завідувача кафедри
_____ Михайло СТЕПАНОВ
« _____ » _____ 2021 р

**Звіт
про проходження виробничої практики
на підприємстві “НДІ радіоапаратури”**

Студент 6 курсу, групи РІ-01мп
Будовський Максим Ігорович

Керівник:
Непочатих Ю. В.

РЕФЕРАТ

Актуальність теми обумовлена високим використанням генераторів завад як в цивільних так і в воєнних цілях. Найявні пристрої на ринку мають високу вартість та досить низький 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 ДП, які будуть задовольняти всім вимогам 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 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	8
1.1 Загальні відомості про генератори електромагнітних завад	8
1.2 Огляд та аналіз аналогів	14
1.2.1 Генератор завад "Скорпіон PRO-5.8 G"	15
1.2.2 Генератор завад "Titan Pro"	16
1.2.3 Стаціонарний генератор завад GSM, 3G, 4G, LTE, CDMA	17
1.2.4 Програмно-орієнтований генератор завад HackRF	18
Висновки за розділом... ..	19
2 Розробка макету пристрою.....	19
2.1 Вибір елементної бази	19
2.2 Проектування макету пристрою	19
2.3 Розробка програмного забезпечення.....	19
2.4 Конструкція пристрою.....	19
3 Розрахунки що підтверджують працездатність пристрою	19
3.1 Аналіз конструкції пристрою	19
3.2 Моделювання роботи пристрою	19
3.3 Випробування фізичної робочої моделі пристрою	19
4 Охорона праці.....	19
4.1 Визначення основних потенційно шкідливих і небезпечних виробничих чинників.....	19
4.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії.....	19
4.3 Освітленість робочого місця.....	19

	4
4.4 Пожежна безпека та профілактика.....	19
Висновки	19
Перелік джерел посилань	20
Додаток А.....	21

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 в военній 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, не кожна людина чи організація може себе забезпечити подібними пристроями, тому розробка недорогого та ефективного пристрою є актуальним завданням, результат якого наведений в цій роботі.

Актуальність теми обумовлена високим використанням генераторів завад як в цивільних так і в воєнних цілях. Наявні пристрої на ринку мають високу вартість та досить низький ККД, тому розробка більш ефективного пристрою є досить актуальною.

Метою даної роботи та дослідження є розробка генератора електромагнітних завад, що буде експлуатуватися у приміщеннях. Тобто створення макету пристрою, який забезпечить генерацію широкопasmових завад та буде мати мінімум деталей з підвищеним ККД. Також буде досліджено ефективний спосіб створення широкопasmового 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 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 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 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 ЗЧ та осцилографа, дослідження математичної та фізичної моделі за допомогою спеціального ПЗ для інженерних розрахунків та симуляторів електричних схем.

Наукова новизна одержаних результатів роботи полягає в ефективному використанні генераторів завад з мінімальними втратами на тепловиділення та паразитне випромінювання водночас із зменшенням вартості готової системи, що робить їх більш доступними для користувачів порівняно з аналогічними системами.

Ключові слова: електромагнітні завади, широкосмуговість, генератор шуму.

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 схмотехнічні 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 воєнні 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.

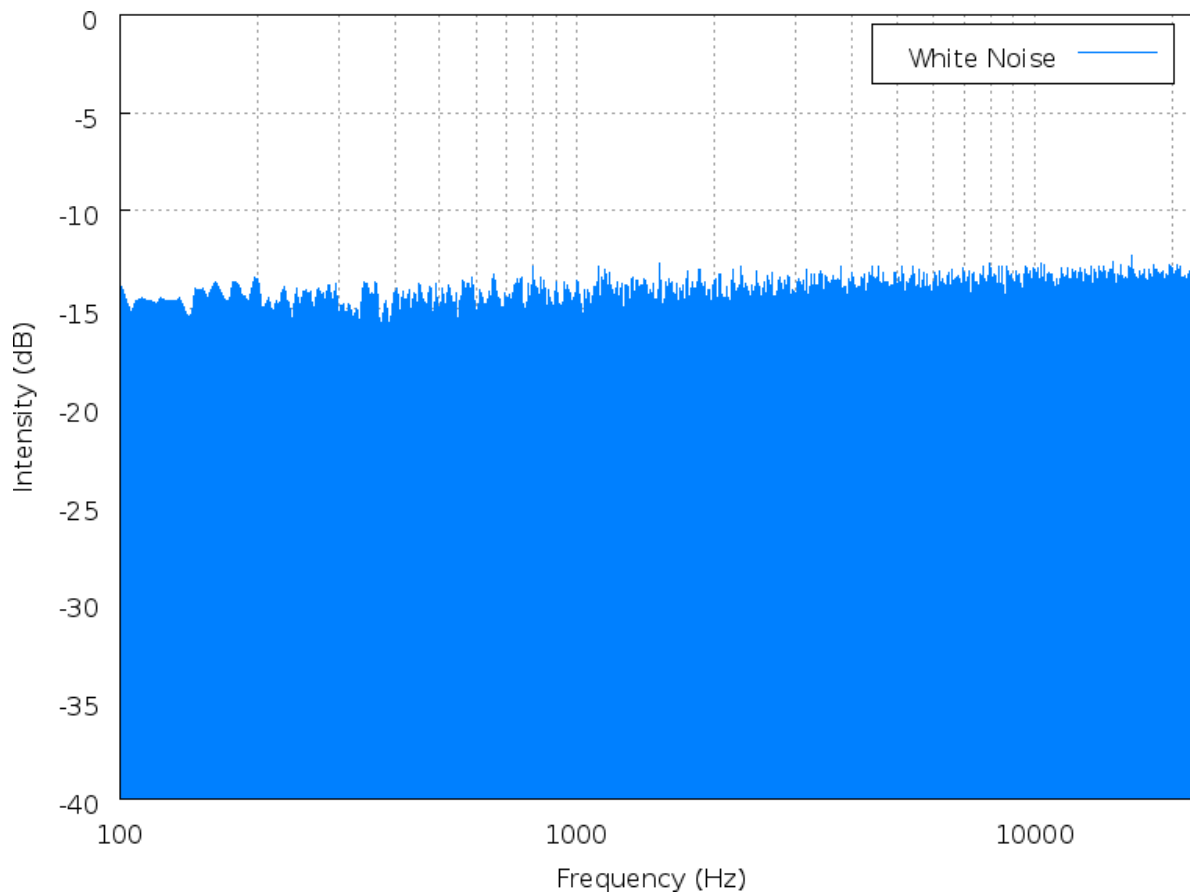


Рисунок 1.1 – спектрограма білого шуму.

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

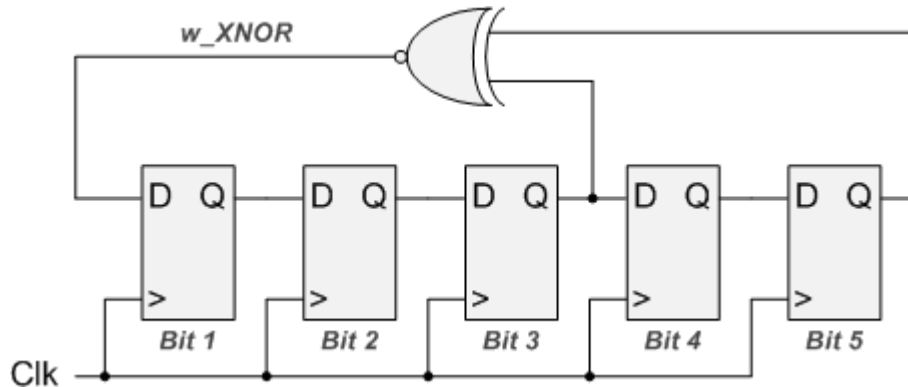


Рисунок 1.2 – генератор псевдовипадкових чисел.

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 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 заключається 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 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.

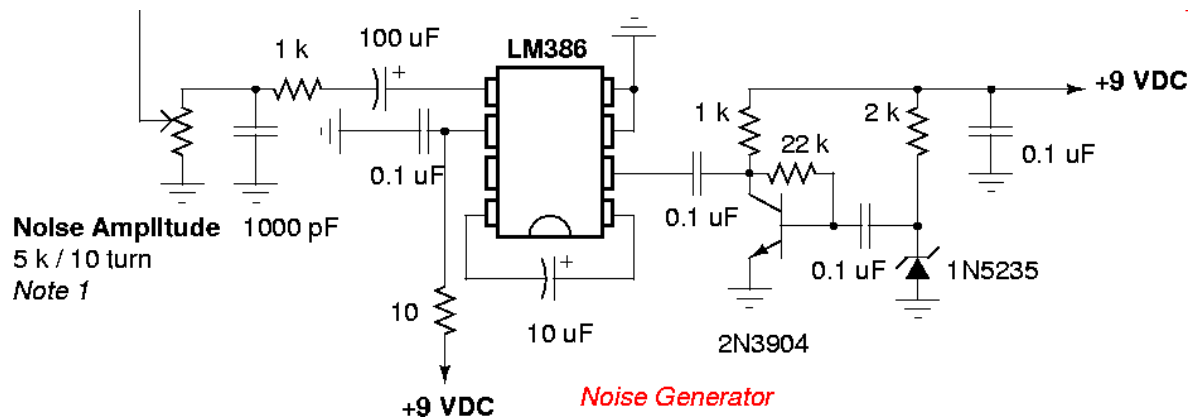


Рисунок 1.3 – аналоговий генератор шуму.

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 АЦП. Внутрішній генератор цього контролера працює на

частоті 490 Гц, ця частота також є частотою ШІМ з якою подається у вигляді цифрового шуму масив випадкових чисел (Рис. 1.5).

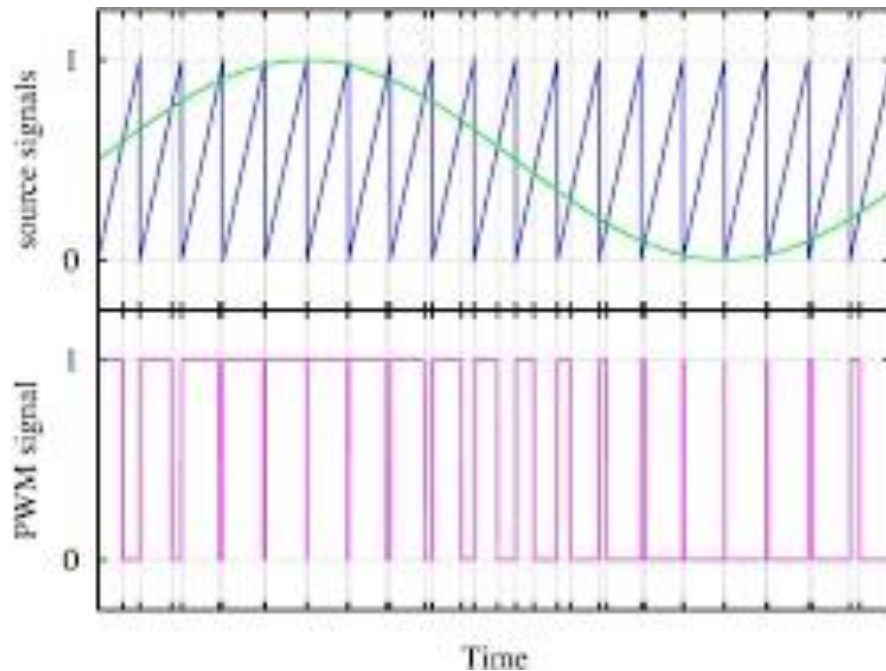


Рисунок 1.5 – ШІМ сигнал, модульований синусоїдою.

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. Майбутня розроблювальна система буде призначена для встановлювання на обмежених локаціях, у межах однієї кімнати або будівлі.

Отже, основним критерієм вибору системи генерації завад буде її вартість і відповідно простота.

Після огляду наявних пропозицій на ринку, виникла ідея створити генератор завад з програмованим шумом з функціями зміни його рівня, ширини спектру та підстроювання частоти. Також потрібно буде створити підсилювач з високим ККД для максимального підсилення сигналу і збільшення дальності дії генератора. Для цього буде використано два каскади підсилення, використовуючи мікросхеми SGA3563Z, які мають досить високий ККД, підсилення до 20дБм та не потребують охолодження. Для забезпечення максимального контролю та функцій користувацьких налаштувань буде використано контролер Atmega328p, який є досить бюджетним, легким для програмування та має можливість перепрограмування без використання сторонніх схем.

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 [1]:

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.



Рисунок 1.7 — генератор завад “Titan Pro”.

Основні характеристики [2]:

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 .

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 [3]:

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 SDR, здатний 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 [4]:

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.

Висновки за розділом

В розділі були розглянуті сучасні пристрої генерації завад. Популярним рішенням є використання декількох незалежних каналів, потужність яких можна міняти.

Так як на даний час спостерігається тенденція до портативності та мініатюризації, то майбутній пристрій буде мати розміри, які не перебільшують розмір сучасного смартфона. Також пристрій буде позбавлений активного охолодження, оскільки ціль буде максимально збільшити його ККД.

Використовуючи сучасне ПЗ та елементну базу, можна значно здешевити та покращити уже існуючі на ринку рішення, що підтверджує актуальність даного проекту.

Враховуючи результати аналізу метою даного проекту є збільшення ККД пристрою та зменшення його вартості. Також додати можливість інтелектуального контролю параметрів з функцією користувацького контролю та перепрограмування.

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-signala/glushilka-gsm-3g-4g-lte>
5. HackRF: первое знакомство [Електронний ресурс]. Режим доступу:
<https://хакер.ru/2013/10/24/hack-rf/>