

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень

Генератор завад антидронові рушниці
Назва теми

КПТР.022090.01.06ПЗ

Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»
Шифр, назва

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
Шифр, назва

Освітня програма «Телекомунікації та радіотехніка»
Назва

Виконав: студент 3 курсу, група ТР2с-22-1


Підпис

А.О. Сухий
Ініціали, прізвище

Керівник:


Підпис, дата

13.06.25

О.С. Пивовар
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ


Нормоконтроль:


Підпис, дата

17.06.25

В.І. Стецюк
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Зав. кафедри телекомунікацій,
медійних та інтелектуальних
технологій


Підпис, дата

17.06.25 С.К. Підченко
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

«17» червня 2024 р.

Факультет: інформаційних технологій
Кафедра: телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій
Освітній рівень: бакалавр
Галузь знань: 17 Електроніка та телекомунікації
Спеціальність: 172 Телекомунікації та радіотехніка
Освітня програма: Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМІТ

Сергій ПІДЧЕКНКО

« 10 » 02 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЕКТ

СУХИЙ Артем Олександрович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи): Генератор завад антидроновієї рушниці

Керівник (роботи) ПІВОВАР Олег Сергійович, к.ф.-м.н., доц.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 07.02.2025 р. № 23

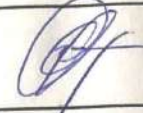

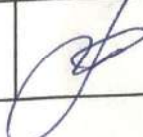

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 02.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи): Діапазон робочих частот - L1.
Мінімальна дальність роботи 500м. Габарити - не більше 100x100x100мм.
Вага - не більше 1кг, максимально випромінювана потужність - не більше 10Вт.
Напруга живлення - 3,6-7,2В. Час неперервної роботи - не менше 1год.
Вихідний опір навантаження - 50Ом. Вартість: не більше 300\$.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
Огляд антидронових рушниць, аналіз сучасних антидронових рушниць в Україні, та принцип їх роботи, електрона протидія, основні принципи радіозавад, техніка безпеки при експлуатації генератора завад, методи виявлення генератору завад противником, розробка генератора завад, розробка структурної схеми генератора завад, підбір частот глушіння, компоненти системи, схема підключення, алгоритмічне і програмне забезпечення генератора завад, алгоритм роботи, програмне забезпечення,

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень): Блок схема генератора завад. Схема ВЧ генаратора сигналу. Схема підсилювача сигналу. Принципово електрична схема генератора завад. Блок схема генератора завад.

6. Консультанти розділів кваліфікаційного проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Нормконтроль	СТЕЦЮК Віктор к.т.н., доцент		
Антиплагіат	ПИВОВАР Олег к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання « 10 » 02 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування виду роботи	Форма звітності, термін виконання	Відмітка наукового керівника
1.	Розробка завдання на кваліфікаційний проект	01.02.2025р.	виконано
2.	Складання індивідуального плану на кваліфікаційний проект	15.02.2025р.	виконано
3.	Написання першого (теоретичного) розділу	10.03.2025р.	виконано
4.	Написання другого розділу	26.03.2025р.	виконано
5.	Написання третього розділу	15.04.2025р.	виконано
6.	Написання вступу і загальних висновків та пропозицій до кваліфікаційного проекту	30.04.2025р.	виконано
7.	Оформлення кваліфікаційного проекту	10.05.2025р.	виконано
8.	Рецензування кваліфікаційного проекту	20.05.2025р.	виконано
9.	Презентаційні матеріали за результатами виконання кваліфікаційного проекту	28.05.2025р.	виконано

Здобувач
Науковий керівник



Артем СУХИЙ
Олег ПИВОВАР

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційного проєкту:

«Генератор завад антидронові рушниці».

Автор роботи: Сухий Артем Олександрович.

Керівник роботи: канд. техн. наук, доц. Пивовар Олег Сергійович.

Пояснювальна записка: 58 сторінки, 16 рисунки, 9 таблиць, 18 джерело.

Графічна частина: 1 креслення, 13 презентаційних слайдів.

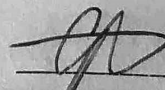
КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА, АНТИДРОНОВА РУШНИЦЯ,
ГЕНЕРАТОР ЗАВАД.

Метою кваліфікаційного проєкту: є розробка генератора завад для антидронові рушниці, що відзначається зменшеною вартістю, доступністю компонентів, високою ремонтпридатністю та надійністю роботи в умовах експлуатації.

У проєкті розглянуто структурну та схемотехнічну побудову генератора завад для ефективного придушення каналів керування дронів. Проведено аналіз існуючих рішень, обрано оптимальну композицію та розроблено технічне завдання для конструювання. Розроблено оригінальну конструкцію та підготовлено конструкторську документацію. Проведено необхідні електричні розрахунки, а також попередній аналіз надійності генератора завад. Працездатність пристрою підтверджено лабораторними дослідженнями та комп'ютерним моделюванням.

А.О. Сухий

Ініціали, прізвище здобувача


Підпис, дата

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.....	6
ВСТУП.....	7
1. ОГЛЯД АНТИДРОНОВИХ РУШНИЦЬ.....	9
1.1. Аналіз сучасних антидронових рушниць в Україні та принцип їх роботи.....	9
1.2. Електронна протидія, основні принципи радіозавад.....	14
1.3. Техніка безпеки при експлуатації генератору завад.....	17
1.4. Методи виявлення генератору завад противником.....	19
2 РОЗРОБКА ГЕНЕРАТОРА ЗАВАД.....	24
2.1. Розробка структурної схеми генератора завад.....	24
2.2. Підбір частот глушіння.....	25
2.3. Компоненти системи	26
2.4. Схема підключення.....	38
3. Алгоритмічне і програмне забезпечення генератора завад.....	48
3.1. Алгоритм роботи.....	49
3.2. Програмне забезпечення генератора завад.....	50
4. ВИСНОВКИ.....	56
5. ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	58

КІПТР.022090.01.06ПЗ

Змн.	Арк.	На докум.	Підпис	Дата				
		Сухий А.О.	<i>[Signature]</i>	12.06	Генератор завад антидронові рушниць	Літ.	Арк.	Аркушів
		Пивовар О.С.	<i>[Signature]</i>	13.06			1	58
		Стецюк В.	<i>[Signature]</i>	16.06.20	Пояснювальна записка	ХНУ, гр. ТР2с-22-1		
		Підченко С.К.	<i>[Signature]</i>	17.06				

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

GPS - Global Positioning System

БПЛА - безпілотний літальний апарат

РЕБ – радіоелектронна боротьба

ГЛОНАСС –Глобальна Навігаційна Спутникова Система

RC- Radio Control

LTE – Long-Term Evolution

WI-FI –Wireless Fidelity

FPV - First Person View

ЕВП – Ефективно випромінювана потужність

DC-DC – Перетворювач постійної напруги

					КІТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасному світі динамічний розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА), особливо квадрокоптерів, суттєво змінює підходи до виконання завдань у різних сферах — від військової справи й безпеки до сільського господарства, логістики, науки, екології та медичних перевезень. Завдяки компактності, мобільності та здатності до автономної навігації, дрони широко застосовуються для аерозйомки, моніторингу об'єктів, доставки вантажів, а також у пошуково-рятувальних операціях.

Найбільш інтенсивне використання БПЛА спостерігається у збройних конфліктах. Тут дрони відіграють ключову роль у веденні розвідки, коригуванні артилерійського вогню, нанесенні ударів, спостереженні за пересуванням супротивника, мінуванні місцевості, а також у постачанні боєприпасів та медикаментів у зони підвищеного ризику. Така ефективність дронів, у поєднанні з їх відносною доступністю, створює нові виклики для систем протиповітряної оборони, адже класичні засоби ППО не завжди здатні вчасно виявити й нейтралізувати малорозмірні цілі.

У зв'язку з цим зростає потреба у створенні високотехнологічних засобів протидії БПЛА. Одним із таких засобів є антидронові рушниці, які порушують зв'язок між дроном і його оператором або системою навігації за допомогою направлених радіоперешкод. Ключовим елементом таких пристроїв виступає генератор радіозавад, який створює сигнали у певному частотному діапазоні для блокування керування дроном.

Метою даної кваліфікаційної роботи є дослідження принципів роботи генератора радіозавад та розробка його функціонального прототипу для подальшого використання в антидроновій системі. Результати дослідження дозволять сформулювати уявлення про можливості застосування генераторів завад у складі сучасних засобів боротьби з БПЛА та

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечити підґрунтя для подальшої розробки систем активного захисту критичної інфраструктури, військових об'єктів і цивільних територій.

У роботі також буде висвітлений принципи роботи радіозавад, типи сигналів та способи пригнічення особливості інтеграції генератора завад в мобільні антидронові комплекси, а також юридичні, етичні та технічні аспекти застосування таких систем.

Актуальність дослідження зумовлена зростаючою загрозою з боку безпілотників у зонах конфліктів, а також потребою в ефективних засобах захисту об'єктів критичної інфраструктури. Вивчення та розробка генераторів завад, адаптованих до сучасних умов, є важливим кроком у підвищенні обороноздатності та технологічної незалежності України.

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ГЕНЕРАТОРІВ ЗАВАД ДЛЯ АНТИДРОНОВИХ РУШНИЦЬ

1.1 Аналіз сучасних генераторів завад в Україні та принцип їх керування в антидронових системах

Історія використання радіоперешкод бере свій початок ще з часів Другої світової війни, коли вперше були застосовані спеціальні пристрої для пригнічення радіозв'язку противника. Перші генератори завад працювали на обмежених частотах і створювали шум у діапазоні, в якому працювала ворожа техніка. Це дозволяло тимчасово порушити передачу команд або радіолокаційне спостереження.

З розвитком технологій, особливо у XXI столітті, генератори завад значно еволюціонували. Сучасні пристрої вже не просто створюють шумовий фон — вони працюють вибірково, таргетуючи конкретні діапазони, протоколи чи види сигналів, наприклад, GPS, ГЛОНАСС, Wi-Fi, RC-управління або LTE. Одним із основних напрямів застосування таких систем стали антидронові рішення, що активно впроваджуються в армії та системах охорони по всьому світу, зокрема й в Україні[1].

На сьогодні в Україні вже існують десятки зразків антидронових рушниць та станціонарних комплексів, обладнаних генераторами завад. Їх ефективність залежить від кількох факторів:

- діапазону частот, які перекриваються,
- потужності сигналу завади,
- спрямованості антени,
- тривалості впливу.

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Українські інженери також приділяють велику увагу портативності та енергоефективності пристроїв. Розробки враховують вимоги до мобільності (для використання на передовій), автономності живлення та можливості швидкого реагування на зміну тактики противника.

З початком повномасштабної війни в Україні у 2022 році виникла гостра потреба в засобах протидії безпілотникам, які активно застосовує противник. Саме тоді українські інженери, волонтери та науковці почали розробку компактних генераторів радіозавад, адаптованих до умов фронту. Були створені як стаціонарні рішення, так і портативні пристрої, що можуть використовуватися у складі антидронових рушниць або на борту транспортних засобів.

Керування сучасними генераторами завад може здійснюватися:

- Мануально — перемикачами або кнопками для активації певних діапазонів;
- Дистанційно — через пульт керування або мобільний додаток;
- Автоматично — через вбудовані радіолокаційні модулі або детектори сигналів, які активують завади лише при виявленні БПЛА.

Генератори завад — це електронні пристрої, що створюють навмисні радіосигнали, які накладаються на сигнал управління безпілотником. Метою є ускладнення або повне блокування прийому команд керування, телеметрії, навігаційних сигналів (GPS, ГЛОНАСС), або передачі відео, що призводить до втрати контролю над дроном.

Зазвичай генератор завад працює в одному з таких режимів:

- **Неспеціалізований широкосмуговий шум** — заглушує широкий діапазон частот одразу. Це простий і ефективний метод, але енерговитратний.
- **Спеціалізований вузькосмуговий сигнал** — фокусується на конкретній частоті, наприклад, 2,4 ГГц або 5,8 ГГц (Wi-Fi), або на частотах GPS (1,575

									КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
										10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ГГц для L1). Це дозволяє заощадити енергію та діяти точково.

- **Імпульсні або псевдовипадкові сигнали** — використовуються для ускладнення виявлення джерела завади противником.

Антидронна рушниця — це спеціалізований пристрій радіоелектронної боротьби, який використовують для нейтралізації безпілотних літальних апаратів (БПЛА) шляхом створення радіочастотних перешкод. Серцем такого пристрою є джаммер він генерує електромагнітні сигнали, які маскують або блокують канали зв'язку між дроном і його оператором, а також системи навігації самого безпілота. Таким чином, джаммер не руйнує дрон фізично, а виводить його з ладу на електромагнітному рівні, роблячи неможливим його контроль[1-3].

Джамінг — це метод радіоелектронної боротьби, при якому створюються радіочастотні завади, що перевищують по силі і «забивають» корисні сигнали управління дрона. Джамери генерують шумові або імпульсні сигнали у визначених частотних діапазонах, що відповідають частотам пультів управління та систем GPS. Зокрема, основні цільові частоти — це 2.4 ГГц та 5.8 ГГц, які часто використовуються для передачі відео і команд керування, а також 433 МГц і 868 МГц для телеметрії. Крім того, джамери впливають на супутникову навігацію через GPS-частоти L1 (1575 МГц) і L2 (1227 МГц)[2].

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

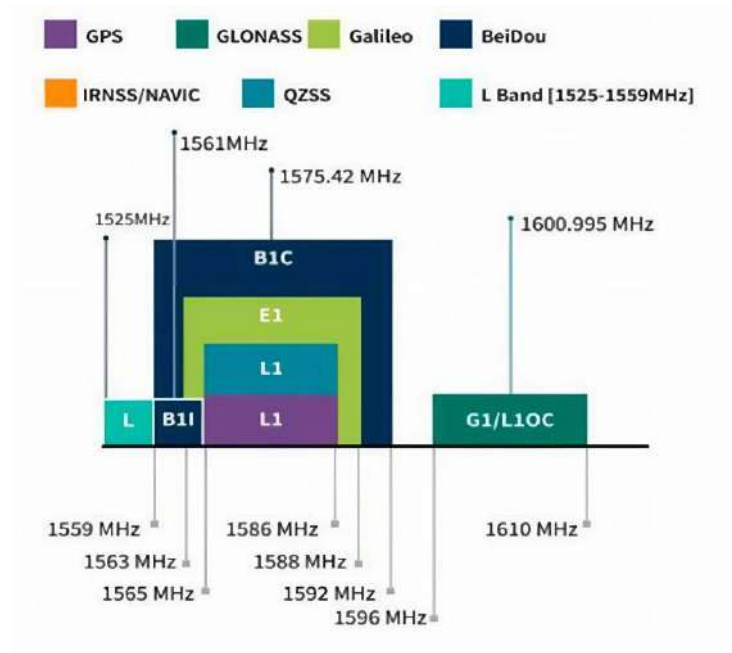


Рисунок 1.1 Графіки діапазонів частот супутникових навігаційних систем

Основним завданням джамера є формування спрямованого електромагнітного поля високої інтенсивності, яке перекриває частотний спектр, зайнятий сигналами дрона. Це досягається шляхом випромінювання потужних радіосигналів із певною модуляцією і характером, що створює «шумовий фон» — випадкові або псевдовипадкові коливання, які не дають приймачам дрона розпізнати справжні корисні дані.

Радіоперешкоди можуть мати різну форму — від безперервного широкосмугового шуму до імпульсних або частотно-модульованих сигналів. Це дозволяє адаптувати джамер під різні типи дронів і канали зв'язку, які вони використовують. Сучасні антидронові рушниці обладнані можливістю вибору або одночасної роботи у кількох частотних діапазонах, що підвищує ефективність боротьби з різноманітними моделями безпілотників.

Керування антидронною рушницею організовано максимально просто, щоб оператор міг швидко реагувати на загрозу. Пристрій має оптичний або коліматорний приціл для точного наведення на ціль. Оператор тримає рушницю у

						КІТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
							12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

руках, прицілюється і активує джамер спусковим механізмом. Після активації починається інтенсивне випромінювання сигналів глушіння, що призводить до миттєвої втрати дроном зв'язку з оператором.

Залежно від програмного забезпечення дрона, він реагує на втрату сигналу по-різному: може зависнути у повітрі, повернутися до точки старту, або здійснити аварійну посадку. Це забезпечує безпеку навколишніх об'єктів і людей, оскільки дрон перестає бути загрозою. При цьому джамер не застосовує фізичної сили, а лише порушує електронні канали управління.

Технічні характеристики сучасних антидронових джамерів, включають дальність роботи до 1 км, потужність випромінювання понад 100 ват, автономність близько 50 хвилин, а також можливість глушіння у широкому спектрі частот. Пристрій компактний і мобільний, що дозволяє оперативно застосовувати його в польових умовах.

При використанні джамера важливо дотримуватись правил безпеки через потужність електромагнітного випромінювання. Оператор повинен уникати тривалого перебування у зоні дії випромінювання, користуватися захисними засобами та контролювати рівень потужності для уникнення шкоди здоров'ю. Крім того, джамери можуть впливати на інші електронні пристрої поблизу, тому їх застосування регламентується відповідними нормами і законами[2].

Антидронові рушниці є ефективним інструментом протидії сучасним безпілотникам у військових, поліцейських і цивільних сферах. Вони дозволяють швидко і безпечно знешкоджувати дрони, що порушують повітряний простір або становлять загрозу. Використання джамера дає змогу забезпечити безпеку важливих об'єктів, громадських заходів і приватної власності.

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Електронна протидія: основні принципи радіозавад

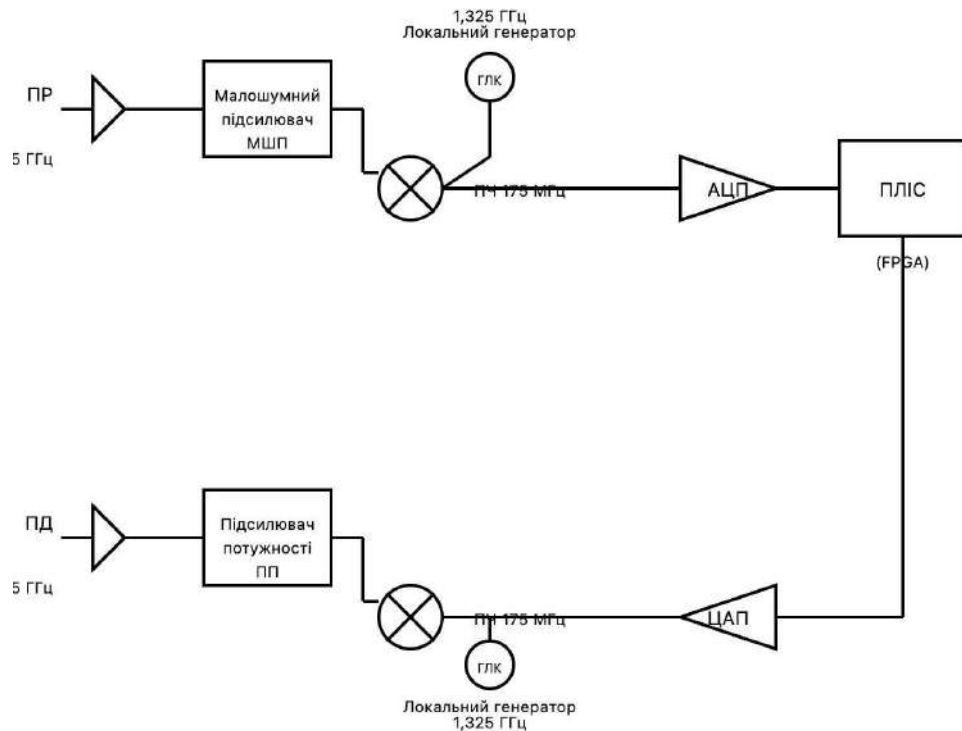


Рисунок 1.2 Схема роботи генератора завад в антидроновій рушніці

Суть радіозавади полягає в генерації потужного електромагнітного сигналу, який передається на тих самих частотах, що й сигнали керування або навігації дрона. Коли такий завадний сигнал досягає приймача дрона, той не здатен розрізнити потрібний йому корисний сигнал серед потоку шуму, унаслідок чого з'єднання з оператором втрачається. Це можна порівняти з ситуацією, коли під час телефонної розмови поруч вмикається гучна сирена — стає неможливо розчутити співрозмовника, навіть якщо він говорить. У випадку з дроном — апарат втрачає керування, припиняє трансляцію відео або взагалі зупиняється в повітрі[3].

Особливу увагу варто звернути на те, що дрони працюють у конкретних радіочастотних діапазонах, наприклад, 2.4 ГГц та 5.8 ГГц для передачі відео та керування, а також на частоті 1.575 ГГц для GPS-навігації. Це дозволяє сконструювати генератор завад, який буде "глушити" лише потрібні частоти, не

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

зачіпаючи інші радіослужби. Такий підхід дозволяє не порушувати загальну електромагнітну сумісність і не створювати зайвих перешкод для інших пристроїв у зоні дії[3-4].

У залежності від задачі, генератор може працювати або в широкому діапазоні, покриваючи одразу багато частот, що сприяє більшому споживанню енергії або у вузькому — для точного глушіння конкретного дрона на певній частоті. При використанні спрямованих антен, сигнал завади можна сфокусувати в одному напрямку, що значно підвищує дальність дії та знижує втрати потужності. Це дозволяє ефективно впливати на дрон навіть на відстані понад один кілометр. Потужність завади залежить від умов застосування — у польових умовах можуть використовувуватися компактні рішення потужністю 2–10 Вт.

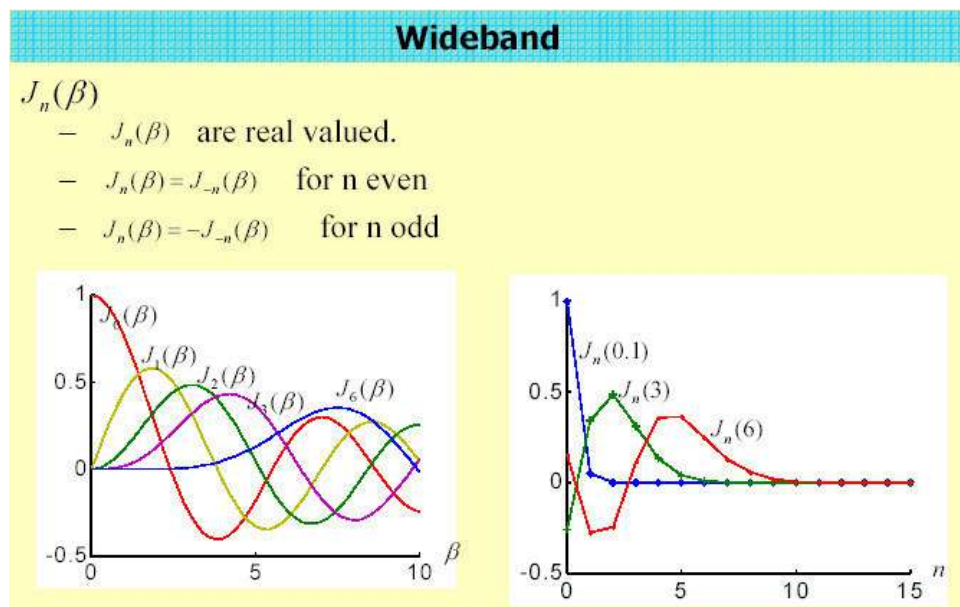


Рисунок 1.3 Широкосмуговий діапазон

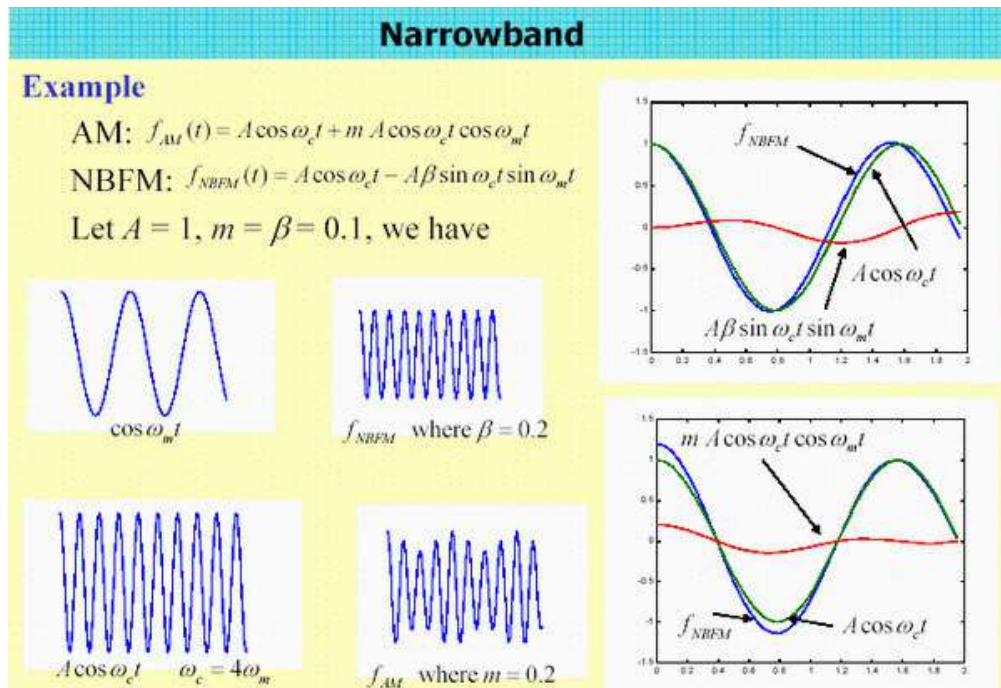


Рисунок 1.4 Вузкосмуговий діапазон

Залежно від моделі дрона, при втраті сигналу відбуваються різні сценарії. Деякі апарати зависають у повітрі, інші автоматично повертаються до точки запуску, а деякі — приземляються або падають. Саме це і є завданням генератора — не дозволити дрону виконати свою місію.

Ефективність роботи генератора радіозавод значною мірою визначається його здатністю створити перешкоду з більшою потужністю, ніж сигнал оператора, який керує дроном. Чим ближче дрон знаходиться до генератора — тим менше енергії потрібно для глушіння. Але при віддалених цілях слід забезпечити високоефективне випромінювання, що досягається за допомогою спеціально підібраної антени та підсилювача.

Особливо важливо враховувати особливості сигналів GPS, оскільки вони є дуже слабкими. Для глушіння таких сигналів достатньо навіть порівняно слабкої перешкоди, тому генератори завод можуть ефективно позбавити дрон можливості орієнтуватися в просторі.

Варто зазначити, що електронна протидія дронам не є універсальним рішенням. Існують дрони з захищеними каналами зв'язку, адаптивною навігацією або програмами, що дозволяють обійти прості методи глушіння. Саме тому конструкція генератора має враховувати можливість роботи у кількох діапазонах, підтримку імпульсного режиму та захист від зворотного впливу на самого оператора.

Таким чином, генератор завад виконує завдання блокування зв'язку між дроном та оператором, порушення навігації і, в деяких випадках, навіть створення умов для примусового приземлення дрона. Це є базовим і водночас найважливішим принципом електронної боротьби з безпілотними загрозами. Технічні особливості реалізації таких систем будуть розглянуті у наступних розділах.

1.3 Техніка безпеки при експлуатації генератору завад

Метою даної роботи є комплексний аналіз заходів безпеки при експлуатації генераторів завад антидронові зброї, включаючи медико-біологічні аспекти впливу електромагнітного випромінювання, технічні вимоги до безпечної експлуатації, тактичні особливості застосування в бойових умовах та організаційні заходи забезпечення безпеки особового складу.

1. Фізичні характеристики електромагнітного випромінювання генераторів завад
Генератори завад для антидронові зброї працюють переважно в діапазонах частот, які використовуються для керування БПЛА та передачі даних. Основні робочі діапазони включають:

- **433 МГц** - діапазон ISM, використовується для керування RC-моделями
- **868 МГц** - європейський діапазон SRD (Short Range Devices)
- **915 МГц** - американський діапазон ISM
- **1.2 ГГц** - діапазон для відеопередачі
- **1.5 ГГц** - діапазон для **GPS** передачі

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- **2.4 ГГц** - найпоширеніший діапазон для Wi-Fi та Bluetooth зв'язку
- **5.8 ГГц** - діапазон для високошвидкісної передачі даних та FPV-систем

Потужність випромінювання сучасних портативних генераторів завад коливається від 10 до 100 Вт на канал, при цьому загальна потужність багатоканальних систем може досягати 500 Вт. Ефективна випромінювана потужність (ERP) з урахуванням коефіцієнта підсилення антени може перевищувати 1000 Вт.

2. Біологічна дія електромагнітного випромінювання
Взаємодія електромагнітного випромінювання з біологічними тканинами відбувається через декілька механізмів:

Тепловий ефект виникає внаслідок поглинання енергії електромагнітного поля тканинами організму. Інтенсивність поглинання характеризується коефіцієнтом SAR (Specific Absorption Rate), який вимірюється у ватах на кілограм (Вт/кг). При високих значеннях SAR відбувається локальне нагрівання тканин, що може призвести до теплового ураження[12].

Нетепловий ефект проявляється при рівнях випромінювання, недостатніх для значного нагрівання тканин, але здатних впливати на біохімічні процеси в клітинах. Цей механізм менш вивчений, але деякі дослідження вказують на можливий вплив на нервову систему та клітинні мембрани[12].

Кумулятивний ефект полягає в накопиченні наслідків тривалого опромінення навіть при відносно низьких рівнях потужності. Це особливо важливо для операторів, які регулярно працюють з генераторами завад.

Нормативні вимоги та стандарти безпеки: Міжнародні стандарти безпеки електромагнітного випромінювання базуються на рекомендаціях Міжнародної комісії з захисту від неіонізуючого випромінювання (ICNIRP). Основні нормативи включають:

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- **SAR для всього тіла:** не більше 0.08 Вт/кг при усередненні за 6 хвилин
- **SAR для голови та тулуба:** не більше 2 Вт/кг при усередненні за 10 грамів тканини
- **SAR для кінцівок:** не більше 4 Вт/кг при усередненні за 10 грамів тканини

Для професійного використання допускаються більш високі рівні опромінення, але з обов'язковим дотриманням часових обмежень та застосуванням засобів індивідуального захисту.

1.4 Методи виявлення генератору завад противником

Сучасні засоби радіотехнічної розвідки противника використовують різноманітні методи для виявлення та визначення місцезнаходження генераторів завад. Одним з найефективніших методів є пасивна радіолокація, принцип роботи якої полягає у використанні власного випромінювання генератора завад як джерела підсвічування цілі. При цьому засоби пасивної радіолокації аналізують сигнали, що відбиваються від навколишніх об'єктів і модулюються рухом або зміною положення генератора завад. Цей метод особливо ефективний у міських умовах або при наявності значної кількості відбиваючих поверхонь, оскільки дозволяє виявити джерело випромінювання навіть за умови використання спрямованих антен.

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

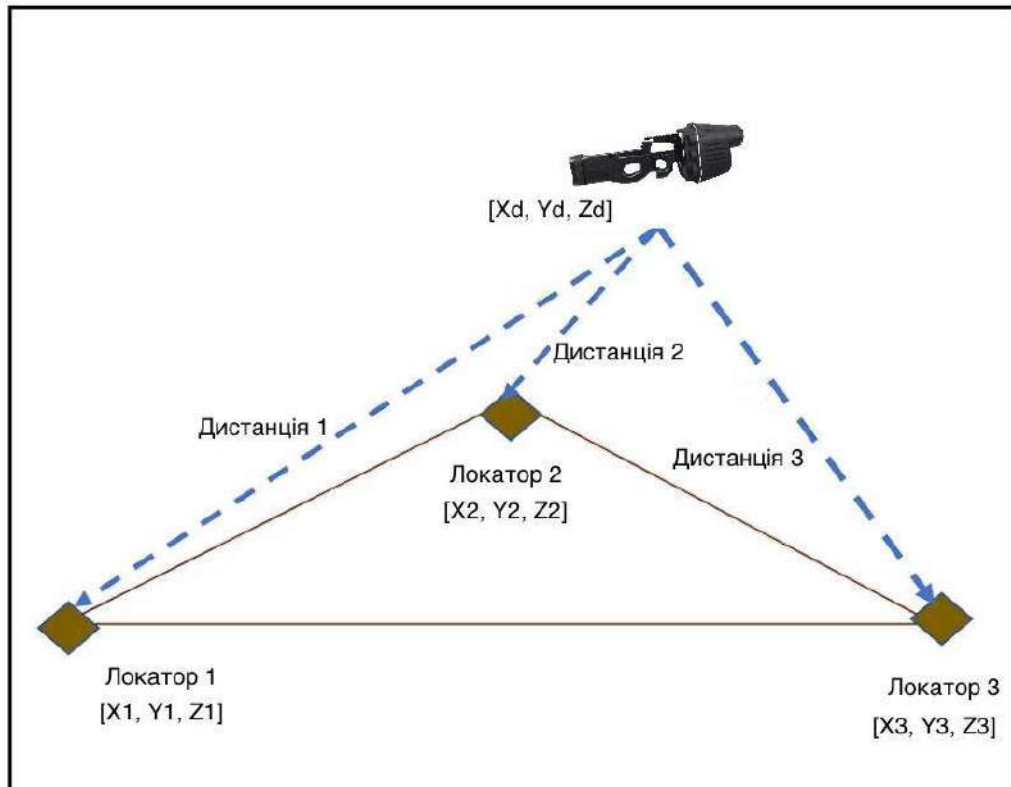


Рисунок 1.5 Принцип роботи триангуляції

Триангуляція як метод визначення координат джерела випромінювання базується на використанні кількох географічно розділених пунктів прийому сигналу.

Класичний метод перетину пеленгів передбачає визначення напрямку на джерело сигналу з кожного пункту прийому з подальшим геометричним визначенням точки перетину цих напрямків[5].

Більш сучасний та точний метод різниці часу приходу сигналу використовує високоточну синхронізацію часу між пунктами прийому для вимірювання різниці в часі надходження сигналу. Цей метод дозволяє досягти точності визначення координат до кількох метрів при використанні відповідного обладнання та сприятливих умов поширення радіохвиль.

Кореляційний аналіз представляє собою складний математичний метод обробки сигналів, який дозволяє виділити характерні особливості випромінювання конкретного генератора завад на фоні природних та штучних перешкод. Сучасні

системи кореляційного аналізу здатні створювати унікальні "відбитки" кожного генератора завад на основі особливостей його схемотехніки, нестабільності частоти, спектральних характеристик та інших параметрів. Це дозволяє не тільки виявити сам факт роботи генератора завад, але й ідентифікувати конкретний пристрій, відстежувати його переміщення та прогнозувати тактику його застосування.

Доплерівська пеленгація є спеціалізованим методом виявлення рухомих джерел радіовипромінювання, який широко застосовується з борту літальних апаратів противника. Принцип методу базується на аналізі доплерівського зсуву частоти сигналу, що виникає внаслідок відносного руху між джерелом випромінювання та приймачем. Сучасні системи доплерівської пеленгації здатні не тільки виявити факт руху генератора завад, але й визначити швидкість та напрямок його переміщення. Особливо ефективним цей метод є при використанні з безпілотних літальних апаратів, які можуть тривалий час кружляти над потенційними районами розташування генераторів завад.

Використання генераторів завад створює декілька демаскуючих факторів:

Електромагнітне випромінювання може бути виявлене ворожими засобами радіотехнічної розвідки на значних відстанях. Сучасні системи SIGINT здатні виявляти джерела випромінювання на відстанях до 50 км залежно від потужності та частоти[5-6].

Порушення роботи власних засобів зв'язку може демаскувати присутність генератора завад через аналіз змін у роботі радіомереж[5-6].

Акустичні сигнатури включають шум систем охолодження та звуки роботи електронних компонентів.

Теплове випромінювання може бути виявлене тепловізійними системами, особливо при тривалій роботі потужних генераторів.

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Заходи протидії виявленню

Ефективна протидія засобам виявлення противника вимагає комплексного підходу, що включає застосування різноманітних методів маскування та введення противника в оману. Часова модуляція роботи генератора завад є одним з найпростіших, але в той же час ефективних методів зниження ймовірності виявлення[5-6]. Суть методу полягає у постійній зміні режимів роботи пристрою, що ускладнює процес накопичення сигналу засобами розвідки противника.

Використання імпульсного випромінювання з випадковими інтервалами між імпульсами робить практично неможливим застосування кореляційних методів виявлення, оскільки руйнує регулярну структуру сигналу. Періодичне вимкнення пристрою на короткі проміжки часу дозволяє перервати процес пеленгації та змусити противника починати процедуру виявлення заново.

Частотна модуляція представляє собою більш складний, але надзвичайно ефективний метод протидії виявленню. Швидке перестроювання частоти випромінювання в межах відведеного діапазону робить неможливим застосування вузькосмугових засобів розвідки та значно ускладнює роботу широкосмугових систем. Використання сигналів з розширеним спектром та псевдовипадковою послідовністю перестроювання частоти дозволяє розподілити енергію випромінювання по широкому частотному діапазону, що робить сигнал схожим на шум для засобів розвідки противника. Застосування методів розсіювання спектра не тільки ускладнює виявлення, але й підвищує стійкість самих завад до протидії з боку систем противника[3].

Просторова модуляція включає комплекс заходів, спрямованих на спотворення просторових характеристик випромінювання генератора завад. Зміна діаграми спрямованості антени в реальному часі може здійснюватися як механічним поворотом антени, так і електронними методами при використанні антенних решіток. Використання відбивачів різних типів дозволяє створювати фейкові

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

джерела випромінювання, що вводять в оману засоби пеленгації противника. Застосування активних ретрансляторів, які приймають сигнал генератора завад та передають його з іншої точки простору, створює складну електромагнітну обстановку, в якій визначення справжнього місцезнаходження джерела стає вкрай складним завданням.

Координація з іншими засобами радіоелектронної боротьби є критично важливим аспектом забезпечення скритності роботи генераторів завад. Синхронізація роботи з іншими системами РЕБ дозволяє створювати складну багат шарову систему перешкод, в якій виділення сигналів окремого генератора завад стає практично неможливим. Використання спеціалізованих фейкових джерел випромінювання, які імітують роботу справжніх генераторів завад, дозволяє розподілити увагу засобів розвідки противника між реальними та фіктивними цілями. Тісна координація з підрозділами протиповітряної оборони забезпечує захист генераторів завад від ударів з повітря та дозволяє своєчасно попереджати про загрози з боку засобів повітряної розвідки противника[5].

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

2 РОЗРОБКА ГЕНЕРАТОРА ЗАВАД

2.1 Розробка структурної схеми генератора завад

Після ознайомлення з основними принципами створення і роботи генераторів радіочастотних завад, наступним етапом є розробка концепції системи генератора завад.

Структурна схема - це наочне представлення складових компонентів системи та їх взаємозв'язків. Вона показує, як різні елементи системи взаємодіють між собою або як виконуються послідовні дії у процесі формування і випромінювання завад.

Така схема є важливим інструментом для аналізу, проєктування та пояснення роботи системи генерації завад у антидроновій рушніці.

Структурна схема генератора завад включає набір компонентів, які спільно працюють для формування, обробки і потужного випромінювання радіочастотних сигналів, що створюють перешкоди для дронів.



Рисунок 2.1 - Структурна схема генератора завад (TODO)

Ці компоненти взаємодіють для забезпечення ефективності, надійності та адаптивності роботи системи у різних умовах.

2.2 Підбір частот глушіння

Що таке частота і чому вона важлива? Частота — це кількість коливань електромагнітної хвилі за секунду. Вимірюється вона в герцах (Гц). Радіосигнали дронів передаються саме на певних частотах — це як "канал", по якому йде зв'язок між пультом управління і самим дроном.

Щоб "заглушити" або заблокувати дрон, потрібно створити на цій же частоті потужний шум — заваду. Це заважає дрону отримувати команди і координати, через що він втрачає контроль і може зупинитися або повернутися назад[6].

1. GPS (Global Positioning System) — це система глобального позиціонування, яка допомагає дрону знати своє місце розташування. Основна GPS частота — 1575,42 МГц (це L1-діапазон). Якщо заглушити цю частоту, дрон втрачає орієнтир, він не зможе визначити свою позицію і навігацію.

2. Частота 2.4 ГГц — це дуже популярна частота для бездротових пристроїв, у тому числі для керування дроном. Частота 2.4 ГГц — це діапазон, де працюють Wi-Fi, Bluetooth, деякі пульти дистанційного керування. Більшість побутових дронів отримують команди по цій частоті.

3. Частота 5.8 ГГц також часто використовується для передачі відеосигналу FPV. Якщо заглушити 5.8 ГГц, оператор не зможе бачити з камери дрона.

4. Частоти 433 МГц, 868 МГц, 915 МГц, ці діапазони використовуються у професійних та промислових системах керування. Деякі дрони та системи зв'язку можуть працювати на цих частотах, зокрема LoRa-модулі, які дають довгий радіус дії.

Дрони можуть одночасно працювати на декількох частотах: наприклад, GPS для позиціонування, 2.4 ГГц для керування та 5.8 ГГц для передачі відео. Щоб ефективно заблокувати дрон, генератор завад повинен створювати шум на всіх цих частотах.

Якщо заглушити тільки одну, наприклад GPS, але не глушити 2.4 ГГц, дрон може втратити позицію, але все ще приймати команди. Або навпаки, якщо заблокувати

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

тільки 2.4 ГГц — оператор не зможе керувати дроном, але той все ще буде знати своє місце розташування.

Глушіння — це створення сигналу з потужністю, достатньою для перекриття корисного сигналу дрона[7]. Потужність залежить від:

1. Відстані до дрона (чим далі — тим потужніший потрібен сигнал)
2. Чутливості дрона до радіосигналів
3. Якості антени (спрямована антена дозволяє концентрувати сигнал на дроні)

Частота	Призначення	Чому глушити
1575.42 МГц	GPS (позиціонування)	Дрон втрачає орієнтацію
2.4ГГц	Керування дроном	Втрата команд керування
2.4ГГц	Передача відео (FPV)	Оператор не бачить відео
433, 868, 915 МГц	Професійні канали зв'язку	Забезпечення блокування нових моделей

Рисунок 2.1 Діапазони частот які використовують дрони

2.3 Компоненти системи

Для побудови ефективного генератора завад, який зможе успішно глушити сигнали GPS, Wi-Fi, FPV/RC та інші частоти, потрібен ряд основних технічних компонентів. Кожен з них виконує свою важливу функцію і має значення для загальної роботи пристрою

Генератор високочастотного сигналу:

Першим і найважливішим елементом системи є **генератор високочастотного (ВЧ) сигналу**. Це пристрій, який створює електромагнітні хвилі з певною частотою. У нашому випадку він потрібен для того, щоб створити сильний сигнал на заданих частотах, які будуть "заглушувати" або блокувати прийом інших корисних сигналів (GPS, Wi-Fi тощо)[7].

Без генератора неможливо створити потрібну завадну хвилю, бо саме він задає частоту, на якій працює глушіння. Генератор видає електричний сигнал з заданою частотою. Цей сигнал потім підсилюється і передається через антену в простір.

У даному дипломному проєкті, спрямованому на створення мобільного пристрою для глушіння радіочастотних каналів дронів, в якості генератора високочастотного сигналу було обрано ADF4351-модуль — інтегрований широкодіапазонний PLL-синтезатор частоти з підтримкою фракційного ділення. Він дозволяє реалізувати стабільний та перебудований сигнал в широкому діапазоні частот без складної аналогової обв'язки. Це RF-синтезатор з PLL (фазозсувним зворотним зв'язком), який підтримує генерацію сигналів у діапазоні 35 МГц – 4400 МГц. Модуль широко використовується в радіоелектроніці, SDR-системах, а також в системах зв'язку та РЕБ завдяки широкому діапазону частот (включає GPS L1, 868 МГц, 2.4 ГГц, 5.8 ГГц)

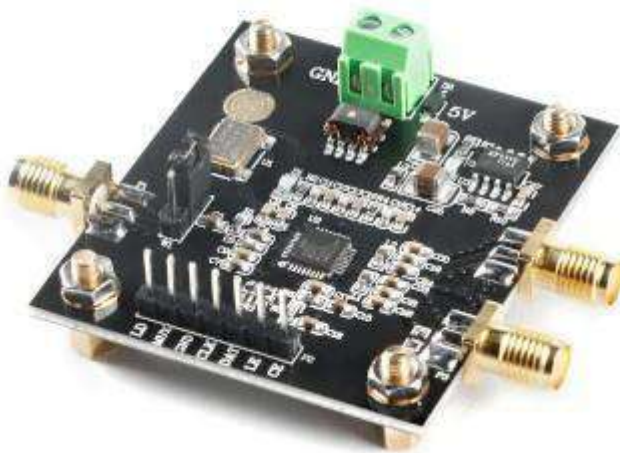


Рисунок 2.2 Генератор ВЧ сигналів ADF4351

Підсилювач потужності (ПП) на кожен канал:

Генератор сам по собі виробляє сигнал, але його потужності часто недостатньо, щоб ефективно перекрити необхідну територію. Тому сигнал потрібно підсилити — для цього існує **підсилювач потужності (ПП)**[7]. Електронний пристрій, який приймає слабкий сигнал і робить його набагато сильнішим. Підсилювач забезпечує достатній рівень енергії сигналу, щоб завада могла поширюватися на

										КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
											27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

потрібну відстань. Оскільки ми хочемо глушити GPS L1 (1.57542 ГГц) потрібен свій підсилювач. Це дозволяє більш точно і ефективно налаштувати систему.

1. RF підсилювачі потужності на модульній базі

Це популярний тип, де ПП складається з готових RF-модулів, які можна підключити до генератора сигналу. Вони підтримують широкий діапазон частот.

- **Mini-Circuits Amplifiers** — модулі з потужністю від кількох ват до сотень ват, з різними частотними діапазонами. Дуже популярні в лабораторіях та промислових системах.



Рисунок 2.3 Mini-Circuits Amplifiers

- **Analog Devices RF Amplifiers** — серія підсилювачів з гарними характеристиками, часто застосовуються в професійній техніці.



Рисунок 2.4 Analog Devices RF Amplifiers

2. Підсилювачі потужності на транзисторах LDMOS

					КІТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

LDMOS (Laterally Diffused Metal-Oxide Semiconductor) — традиційна і надійна технологія для RF підсилювачів.

- Використовуються в базових станціях мобільного зв'язку, радіомаяках та в антидронових системах.
- Забезпечують стабільну потужність і хорошу ефективність у частотних діапазонах від 400 МГц до 3 ГГц.



Рисунок 2.5 LMDOS RF транзистори для підсилювачів потужності

3. Підсилювачі на GaN-транзисторах (Gallium Nitride)

GaN-транзистори — це сучасна технологія, яка дозволяє підсилювати сигнали з великою потужністю і високою ефективністю, при цьому маючи менші розміри і менше тепловиділення. До прикладу MACOM GaN amplifiers — використовуються в сучасних антитерористичних та антидронових системах. Перевагою якою є висока потужність (до 1кВт), компактність, стійкість до нагріву[7].

					КІТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

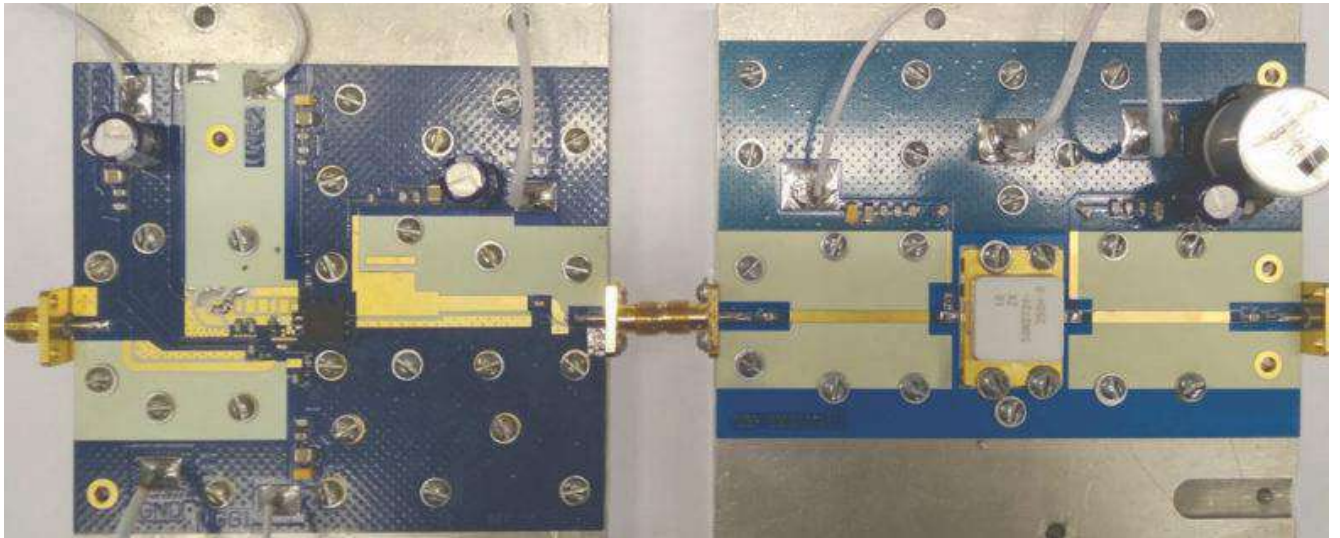


Рисунок 2.6 Підсилювач на GAN транзисторах SGFCF2002S-D та SGN2729-250H-R

Для ефективної роботи антидронної рушниці важливо підібрати підсилювач потужності, який забезпечить достатній рівень сигналу для глушіння дрона, але при цьому не створить зайвих незручностей для оператора. Найкраще рішення — це використання GaN-підсилювача потужністю 5-20 Вт або модульного LDMOS-підсилювача з потужністю 10-30 Вт[10].

Чому саме ці варіанти?

1. Оптимальна потужність

Підсилювач у цьому діапазоні потужності забезпечує достатній радіус дії для глушіння сигналів дрона на відстанях до кількох сот метрів, що є типовою робочою дистанцією для ручної рушниці.

2. Компактність і вага

Такі ПА мають відносно невеликі розміри і вагу, що дозволяє зберегти мобільність і зручність експлуатації. Для оператора важливо, щоб рушниця не була занадто важкою або громіздкою.

3. Ефективність і тепловиділення

Особливо GaN-транзистори відомі високою ефективністю — вони менше нагріваються порівняно з класичними напівпровідниковими підсилювачами. Це знижує потребу в складному охолодженні та робить роботу з рушницею комфортнішою.

4. Енергоспоживання

Менша потужність означає і менше споживання енергії, що позитивно впливає на час роботи пристрою від акумулятора — важливий фактор для портативного обладнання.

5. Надійність та доступність

Модульні рішення на базі LDMOS вже довели свою надійність і простоту у використанні, мають широку підтримку та велику кількість готових рішень.

Таким чином, вибір між GaN та LDMOS підсилювачами в цьому діапазоні потужності — це збалансований компроміс між ефективністю, розміром, вагою і комфортом використання, що дозволяє створити зручну, ефективну та мобільну антидронову рушницю, здатну надійно глушити сигнали без зайвих складнощів для оператора.

У даному дипломному проєкті, спрямованому на створення мобільного пристрою для глушіння радіочастотних каналів дронів, в якості генератора високочастотного сигналу було обрано Dykbcells 1.5Ghz 1550-1620Mhz 2W



Рисунок 2.7 Підсилювач потужності Dykbcells 1.5Ghz 1550-1620Mhz 2W

Для підсилювача потужності обрано саме варіант з вихідною потужністю 2 Вт, розмір якого становить 78×38×15 мм. Такий компактний форм-фактор забезпечує зручність інтеграції підсилювача у конструкцію генератора завод, що є важливим фактором при обмеженому просторі пристрою.

					КІТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Плоскостність потужності підсилювача становить 1–1,5 дБ, що свідчить про стабільне посилення сигналу по всьому робочому частотному діапазону без значних спотворень. Коефіцієнт стоячої хвилі (VSWR) дорівнює 1,5 дБ, що є низьким показником відбиття сигналу. Це забезпечує ефективну передачу потужності на антену і одночасно захищає підсилювач від можливих пошкоджень через зворотній сигнал. Роз'єм SMA — стандартний і поширений, зручний для швидкого підключення генератора і антени. Легко замінювати і підключати різне обладнання.

Споживаний струм при потужності 2 Вт становить близько 1–1,1 А, що дозволяє оптимально підібрати джерело живлення з урахуванням обмежень по енергоспоживанню. Підсилювач оснащений стандартним роз'ємом SMA, що забезпечує зручне та надійне підключення до генератора та антени, а також полегшує заміну та обслуговування обладнання.

Вага модуля коливається в межах 80–156 грамів, що робить його придатним для використання в портативних або мобільних системах. Робочий температурний діапазон від -20 °С до +80 °С гарантує стабільну роботу підсилювача в різних кліматичних умовах, забезпечуючи надійність та довговічність експлуатації.

Спрямована антена:

Антенна це одна з найважливіших складових будь-якої радіоелектронної системи, і генератори завад для антидронових рушниць тут не виняток[8]. Саме антени відповідають за те, як і куди буде передаватися радіосигнал, тобто вони формують «промені» електромагнітної енергії в просторі. Без правильного вибору та налаштування антени навіть найпотужніший RF-модуль не зможе ефективно виконувати свої завдання. В антидронових системах використовуються два основні типи антен — спрямовані (дирекційні) та всенаправлені (омні дирекційні). Кожен тип має свої переваги та особливості, які впливають на якість, дальність і точність створюваних перешкод.

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.8 -Антенна спрямована Yagi 12 дБ 1.5 ГГц

У даному проєкті для генератора завад, що працює в діапазоні близько 1,5 ГГц, була використана спрямована Yagi антена з частотною характеристикою, що підходить для роботи в діапазоні L1 GPS. Обрана антена має наступні ключові характеристики та переваги:

Частотний діапазон антени близький до 1,5 ГГц, що забезпечує ефективне випромінювання та прийом сигналу в робочому діапазоні генератора завад. Це дозволяє досягти максимальної взаємодії з цільовими GPS-пристроями. Коефіцієнт підсилення 12 dB є досить високим для антени такого типу, що дозволяє зосередити радіохвилі у вузькому напрямку. Завдяки цьому, генеровані перешкоди мають більшу потужність у потрібному напрямку, що підвищує ефективність блокування сигналу GPS. Забезпечує фокусування випромінювання на певну зону простору, що є важливою властивістю для пристрою завад, адже це дозволяє спрямовано глушити сигнал на конкретному напрямку, не розсіюючи енергію в усі сторони. Це підвищує енергетичну ефективність та знижує рівень перешкод у небажаних напрямках. Радіочастотний роз'єм SMA є стандартним та поширеним типом підключення, що полегшує процес монтажу та заміни антени, а також підключення різноманітних RF-компонентів.

					КІТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Щоб розрахувати коефіцієнт підсилення сигналу потрібно скористатися формулою:

$$G = 10^{\frac{\text{підсилення}}{10}}$$

Підставимо значення:

$$G = 10^{\frac{12}{10}} = 10^{1.2} \approx 15.85$$

Отже, антена з підсиленням 12dBi підсилює сигнал приблизно в 16 разів сильніше ніж всенаправлена антена.

DC-DCперетворювачі

Це спеціальні електронні пристрої, які перетворюють одну постійну напругу живлення в іншу з високою ефективністю та стабільністю[9]. Вони відіграють ключову роль у системі живлення генератора завад, адже різні компоненти пристрою працюють при різних напругах і потребують надійного та стабільного живлення. Тому вони вирішують ряд таких проблем:

- 1. Різна напруга для різних компонентів:** генератор високочастотного сигналу та підсилювач зазвичай працюють від 12 В, тоді як логічні плати керування, наприклад Arduino, потребують 5 В. DC-DC перетворювач дозволяє отримати ці напруги з одного джерела живлення (наприклад, 3S батареї 11.1 В).
- 2. Стабільність напруги:** в процесі роботи акумулятора напруга може змінюватись — від максимальної заряду до трохи меншої у міру розряду. Без DC-DC перетворювача ці коливання можуть викликати непередбачувану роботу електроніки. Перетворювач стабілізує вихідну напругу, забезпечуючи стабільне живлення для всіх вузлів системи.
- 3. Ефективність та економія енергії:** імпульсні DC-DC перетворювачі працюють з високою ефективністю — часто понад 90%. Це означає, що значна частина енергії батареї не втрачається у вигляді тепла, що продовжує час роботи генератора без підзарядки.

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

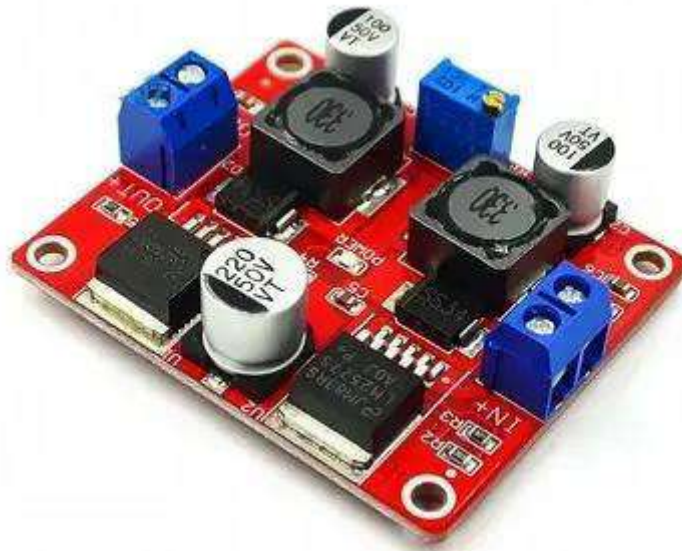


Рисунок 2.11 DC-DC Перетворювач

Вибір DC-DC перетворювачів для антидронові рушниці

У системі генератора завад рекомендується використовувати два окремих DC-DC перетворювачі:

1. **Перетворювач на 12 В** — для живлення підсилювача потужності. Цей модуль повинен витримувати високий струм (до 10 А), оскільки підсилювач споживає багато енергії під час роботи.
2. **Перетворювач на 5 В** — для живлення Arduino або інших цифрових компонентів керування. Він працює при меншому струмі (1–3 А), але повинен забезпечувати стабільність, щоб уникнути збоїв.

Живлення:

Це те, з чого починається робота будь-якої електронної системи, і генератор завад не є винятком. Без стабільного, надійного та достатньо потужного джерела живлення навіть найсучасніший генератор не зможе ефективно створювати радіоперешкоди для ворожих дронів. У системі антидронові рушниці живлення — це своєрідне «серце», яке забезпечує роботу всіх складових: від генератора високочастотного сигналу, через підсилювач потужності, до антен і модуля керування на базі Arduino[13].

Основні вимоги до системи живлення:

									КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
										35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

- **Висока потужність:**

Для генерації потужних перешкод потрібна велика сила струму, особливо коли використовується підсилювач потужності 5–30 Вт і більше. Зазвичай споживання струму може сягати 5–10 ампер при напрузі 7.4- 11.2 В залежно від режиму роботи.

- **Стабільність напруги:**

Навіть короточасне зниження напруги може спричинити збої в роботі генератора сигналів або підсилювача. Особливо це критично в реальних умовах застосування, де важлива безперервність роботи. Тому для стабілізації використовуються DC-DC перетворювачі (стабілізатори напруги), які забезпечують рівномірне живлення компонентів при коливаннях напруги батареї.

- **Переносимість:**

Джерело живлення має бути компактним і легким, не обтяжувати користувача. Найкращим вибором є акумулятори Li-Ion або Li-Po. Такі батареї мають високу енергетичну щільність, тривалий ресурс і відносно малу вагу.



Рисунок 2.10. LiPo - батарея 6500 mah 7.4v (2S)

					КІТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Для живлення генератора завад на базі ADF4351 із підсилювачем потужності Dукbcells 2Вт було обрано літій-полімерну батарею типу 2S із номінальною напругою 7.4 В та ємністю не менше 6500 мА·год. Це забезпечує роботу пристрою мінімум 1 годину при піковому споживанні 6.08 А, включаючи генератор, підсилювач і керуючу електроніку. Вибір 2S Li-Po зумовлений потребою у стабільній напрузі живлення, яка відповідає робочим характеристикам підсилювача потужності, а також компактністю і високою енергетичною щільністю батареї. Для безпечної експлуатації передбачено використання балансувального зарядного пристрою та захисту від перезаряду і глибокого розряду[11].

Щоб розрахувати приблизно споживання енергії, беремо основні компоненти з яких складається генератор завад:

1. Генератор ВЧ сигналу ADF4351:

Напруга живлення — 3.3 В.

Споживаний струм — 0.5 А.

Потужність: $P = U \times I = 3.3 \text{ В} \times 0.5 \text{ А} = 1.65 \text{ Вт}$

1. Підсилювач потужності Dукbcells 2Вт:

Напруга живлення — 12 В.

Споживаний струм — 3 А.

Потужність: $P = U \times I = 12 \text{ В} \times 3 \text{ А} = 36 \text{ Вт}$

2. Arduino nano:

Напруга живлення — 5 В

Споживаний струм — 0.5 А

Потужність: $P = U \times I = 5 \text{ В} \times 0.5 \text{ А} = 2.5 \text{ Вт}$

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Загальна потужність:

$$P = 1.65 + 36 + 2.5 = 40.5 \text{ Вт}$$

Щоб розрахувати максимальне споживання від батареї, потрібно скористатися формулою:

$$I = P / (U \times \eta)$$

P - загальна потужність,

U - напруга батареї,

η - ефективність DC-DC перетворювачів

$$I = 40.5 / (7.4 \times 0.9) \approx 6.08 \text{ А}$$

Щоб порахувати, яку ємність батареї потрібно для роботи **1** годину при струмі споживання **6.08 А**, потрібно скористатися формулою:

$$C = I \times t$$

C — ємність батареї в ампер-годинах (А·год),

I — струм споживання в амперах (А),

t — час роботи в годинах (год).

Ємність:

$$C = 6.08 \times 1 = 6.08 \text{ А} * 1000 = 6080 \text{ мА год.}$$

Це значення потрібно враховувати при виборі батареї.

$$\text{Час роботи } t = \frac{6500}{6080} \approx 1.06$$

Це приблизно 1 година 3 хвилини та 36 секунд

2.4 Схема підключення

Щоб генератор завад працював ефективно і міг подавати сигнал на різні частоти, дуже важливо правильно підключити всі основні компоненти системи. Ці компоненти — генератор високочастотного сигналу (ВЧ), підсилювач потужності

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

(ПА) та напрямлена антена — утворюють єдиний ланцюг, по якому проходить радіосигнал і в решті-решт випромінюється у простір для глушіння сигналів дрона.

Основні елементи підключення:

Живлення: є ключовим елементом системи, адже підсилювач та генератор можуть споживати значну потужність, особливо при тривалій роботі[10]. Правильний вибір джерела живлення забезпечує стабільність, надійність і безпеку.

DC-DC перетворювачі: система використовує два понижувальні (або підвищувальні) перетворювачі, щоб забезпечити відповідні рівні напруги[10].

Генератор ВЧ сигналу: це пристрій, який створює електромагнітні хвилі на певній частоті. Вони здатні генерувати сигнал в діапазоні від декількох мегагерц до гігагерц, що підходить для глушіння різних типів безпілотників[7].

Підсилювач Потужності: сигнал, який видає генератор, зазвичай дуже слабкий — малої потужності, недостатньої для впливу на дрон на відстані. Тому сигнал подається на підсилювач, який збільшує його потужність до рівня, необхідного для глушіння[9].

Спрямована антена: після підсилювача потужності сигнал надходить на антену, яка перетворює електричний сигнал у радіохвилю і спрямовує її у простір. Направлена антена допомагає сфокусувати сигнал у потрібному напрямку, що підвищує дальність дії і ефективність завад[8].

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

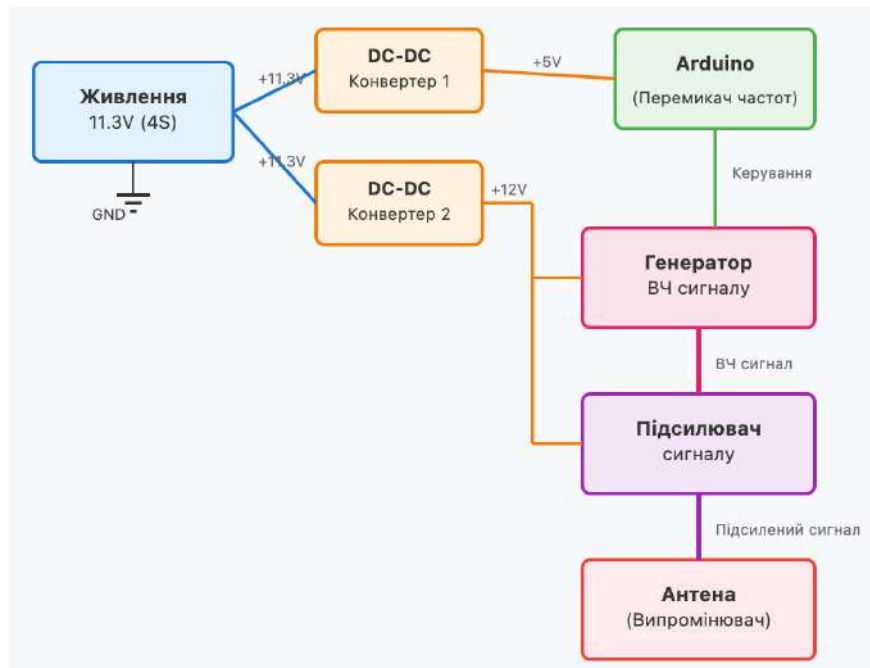


Рисунок 2.11 Блок схема підключення генератора завад

2.5. Моделювання та розрахунки

Генератор завад — це високочастотний пристрій, призначений для випромінювання радіосигналу на визначеній частоті з метою подавлення (глушіння) зв'язку чи управління у ворожих радіоелектронних системах, зокрема безпілотних літальних апаратів (БПЛА)[11].

Основними параметрами, що впливають на ефективність роботи генератора завад є:

1. Споживана електрична потужність
2. Коефіцієнт корисної дії (ККД) підсилювача
3. Коефіцієнт підсилення сигналу
4. Напруга та струм живлення

1. Потужність завад:

Для прикладу розглянемо наступні вихідні параметри системи:

					КІТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Параметр	Значення
Напруга живлення, U	12 В
Струм споживання, I	1.1 А
Коефіцієнт корисної дії, η	60% (0.6)
Коефіцієнт підсилення, G	33 дБ

Розрахунок споживаної потужності:

Споживана потужність розраховується за формулою: $P_{\text{спож}} = U \times I$

Підставимо значення: $P_{\text{спож}} = 12\text{В} \times 1.1\text{А} = 13.2\text{Вт}$

Розрахунок вихідної потужності:

Вихідна потужність визначається як частка споживаної потужності, яка ефективно перетворюється у ВЧ сигнал з урахуванням ККД підсилювача[6]:

Вихідна потужність розраховується за формулою: $P_{\text{вих}} = P_{\text{спож}} \times \eta$

Підставимо значення: $P_{\text{вих}} = 13.2\text{Вт} \times 0.6 = 7.92\text{Вт}$

Переведемо потужність у логарифмічну шкалу (децибелі відносно 1 Вт):

$P_{\text{вих, дБВт}} = 10 \cdot \log_{10}(7.92) \approx 9.0\text{ дБВт}$

Розрахуємо децибел відносно 1 мВт за формулою:

$$\text{дБм} = \text{дБВт} + 10 \times \log_{10}(1000) \text{ дБм}$$

$P_{\text{вих, дБм}} = 9.0 + 30 = 39.0 \text{ дБм}$

Розрахунок потужності на вході підсилювача:

Коефіцієнт підсилення у децибелах (дБ) пов'язаний із лінійним коефіцієнтом за формулою[5]:

$$G = 10 \cdot \log_{10}(K) \Rightarrow K = 10^{G/10}$$

Підставимо значення: $K = 10^{33/10} = 1995$

Отже, потужність на вході підсилювача:

$$P_{\text{вх}} = \frac{P_{\text{вих}}}{K}$$

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Підставимо значення:

$$P_{\text{вх}} = \frac{21.6}{1995} = 0.01082 \text{ Вт}$$

У міліватах: $P_{\text{вх}} = 10.82 \text{ мВт}$

У логарифмічній шкалі: $P_{\text{вх, дБм}} = 10 \cdot \log_{10}(10.82) \approx 10.34 \text{ дБм}$

Таким чином, при напрузі живлення 12 В і споживанні струму 3 А, загальна споживана потужність системи становить 36 Вт. З урахуванням ККД підсилювача 60%, вихідна ВЧ потужність становить 21.6 Вт ($\approx 13.35 \text{ дБВт}$), що є достатньо високим рівнем для формування ефективного сигналу завад. Для досягнення такої потужності необхідно сформувати вхідний сигнал з потужністю приблизно 10.82 мВт ($\approx 10.34 \text{ дБм}$), що знаходиться в межах досяжності для більшості генераторів ВЧ сигналів[14].

2. Дальність дії (втрати у вільному просторі)

Оцінка дальності дії системи глушіння є ключовим етапом під час проектування засобів радіоелектронної боротьби. Розрахунок дозволяє визначити максимальну відстань, на якій генератор завад ефективно впливатиме на безпілотні літальні апарати (дрони), перешкоджаючи їхній нормальній роботі. У цьому розділі використовується класична модель втрат у вільному просторі (FSPL), яка враховує відстань до цілі та робочу частоту сигналу. Ці розрахунки виконуються на етапі попереднього проектування системи, а також можуть застосовуватись під час тестування для оцінки фактичної ефективності системи у польових умовах[9].

Формула втрат у вільному просторі (FSPL):

$$\text{FSPL (дБ)} = 20 \times \log_{10}(d) + 20 \times \log_{10}(f) + 32.45$$

d – відстань у кілометрах,

f – частота в мегагерцах (МГц)

Коефіцієнт **32.45** є сталою, яка враховує швидкість світла у вакуумі, одиниці вимірювання (кілометри та мегагерци) та перехід до логарифмічної шкали.

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

FSPL показує, наскільки ослабне сигнал, коли поширюється у вільному просторі, без перешкод, відбиттів або поглинання. Це фундаментальний розрахунок у всіх бездротових системах — GPS, Wi-Fi та систем радіоелектронної боротьби.

Знання FSPL дозволяє:

- оцінити, на якій відстані сигнал ще буде достатньо сильним;
- правильно підібрати потужність передавача;
- визначити потребу у підсилювачах або антенах з високим коефіцієнтом підсилення;
- визначити зону покриття або зону ефективного глушіння.

У практиці глушіння частіше постає зворотне завдання: відома максимально допустима втрата сигналу (тобто, наскільки сигнал може ослабнути, перш ніж втратить ефективність), і треба визначити, на якій відстані це настане. Це дозволяє розрахувати максимальну дальність дії пристрою[13].

Формула для обчислення максимальної дальності при заданих втратах:

$$d_{\text{макс}} = 10^{((\text{FSPL} - 20 \times \log_{10}(f) - 32.45) / 20)}$$

FSPL — максимально допустимі втрати (у дБ), які система може «дозволити»;
f — частота сигналу (у МГц).

Щоб заглушити сигнал, потрібно створити перешкоди з потужністю хоча б на 10 дБ більшу, ніж сигнал приймача, щоб гарантувати надійне глушіння. Вхідний сигнал GPS на приймачі дуже слабкий — приблизно -130 дБм.

Ефективна випромінювана потужність розраховується за формулою:

$$\mathbf{EIRP = P + G}$$

Де: P - потужність передавача, G - коефіцієнт підсилення антени (дБі)

Рівень сигналу на прийомі розраховується за формулою:

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$P_{rx} = EIRP - FSPL$$

Розрахунок дальності дії:

Перетворимо потужність передавача 2W в дБм:

$$P_{tx} = 10 \times \log_{10}(2 \times 1000) = 10 \times 3,301 = 33,01 \text{ дБм} \approx 33 \text{ дБм}$$

Ефективна випромінювана потужність:

$$EIRP = 33 \text{ дБм} + 12 \text{ дБі} = 45 \text{ дБм}$$

Параметри GPS-приймача

Для успішного глушіння GPS-сигналу необхідно створити перешкоду, що перевищує чутливість типового GPS-приймача:

- Чутливість GPS-приймача: -130...-135 дБм
- Центральна частота L1: 1575,42 МГц
- Для розрахунку приймемо критерій глушіння: $P_{rx} \geq -130 \text{ дБм}$

Підставимо значення у формулу втрат:

$$FSPL = 20 \times \log_{10}(d) + 20 \times \log_{10}(1575,42) + 32,45$$

$$FSPL = 20 \times \log_{10}(d) + 20 \times 3,197 + 32,45$$

$$FSPL = 20 \times \log_{10}(d) + 63,94 + 32,45$$

$$FSPL = 20 \times \log_{10}(d) + 96,39$$

Умова глушіння:

$$P_{rx} = EIRP - FSPL \geq -130 \text{ дБм}$$

$$45 - (20 \times \log_{10}(d) + 96,39) \geq -130$$

$$45 - 20 \times \log_{10}(d) - 96,39 \geq -130$$

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

$$-51,39 - 20 \times \log_{10}(d) \geq -130$$

$$20 \times \log_{10}(d) \leq 78,61$$

$$\log_{10}(d) \leq 3,93$$

$$d \leq 10^{3,93} = 8511 \text{ м}$$

Максимальна теоретична дальність: 8,51 км

Перевірка точності розрахунку:

$$\text{При } d = 8,51 \text{ км: FSPL} = 20 \times \log_{10}(8,51) + 96,39 = 20 \times 0,93 + 96,39 = 115 \text{ дБ}$$

$$P_{\text{гх}} = 45 - 115 = -70 \text{ дБм}$$

Оскільки $-70 \text{ дБм} > -130 \text{ дБм}$, умова глушіння виконується з великим запасом.

У практичних умовах дальність дії значно зменшується через додаткові втрати:

- Втрати на дифракцію: 10-20 дБ
- Втрати на відбиття від поверхні землі: 5-15 дБ
- Втрати в атмосфері: 1-3 дБ
- Втрати через рослинність: 5-30 дБ
- Втрати в забудові: 10-40 дБ

Коефіцієнт зменшення дальності:

Реальна дальність становить 15-30% від теоретичної, тобто:

$$d_{\text{реальна}} = 8,5 \text{ км} \times 0,15 = 1,3 \text{ км}$$

Це дозволяє обґрунтувати, на яку реальну відстань система буде працювати ефективно в заданих умовах.

3. Захист від перегріву

У будь-якому електронному пристрої, особливо в потужних підсилювачах або блоках живлення, захист від перегріву та перевантаження є критично важливим елементом надійної та безпечної роботи. Без належного контролю температури,

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

струму та напруги пристрій може вийти з ладу, спричинити коротке замикання або навіть пожежу. У цьому розділі ми детально розглянемо, як реалізується захист з погляду теплового розрахунку, струмового та напругового контролю, а також програмного забезпечення на базі Arduino[16].

Під час роботи електронні компоненти (особливо потужні транзистори, мікросхеми, стабілізатори напруги тощо) виділяють тепло. Якщо це тепло не відводити — температура підвищується до критичних значень, що призводить до деградації матеріалів і виходу з ладу[16]. Щоб оцінити, скільки тепла буде виділятися, обчислюємо потужність розсіювання — це різниця між спожитою енергією та корисною енергією на виході.

Формула обчислення потужності розсіювання:

$$P_{\text{тепло}} = P_{\text{споживана}} - P_{\text{вихідна}}$$

Підставимо значення:

$$P = 13.2 \text{ Вт} - 2 \text{ Вт} = 11.2 \text{ Вт}$$

Це значення говорить нам, що 11.2 Вт тепла треба ефективно розсіювати, щоб уникнути перегріву.

Наступним кроком є розрахунок необхідного теплового опору. Щоб визначити, яку максимальну температуру ми допускаємо (наприклад, 85°C) і яка температура навколишнього середовища (припустимо, 25°C). Це дає нам допустиму різницю температур (ΔT):

$$\Delta T = 85^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} = 60^\circ\text{C}$$

Формула обчислення теплового опору радіатора:

$$R_{\text{th}} = \Delta T / P_{\text{тепло}}$$

Підставимо значення:

$$R_{\text{th}} = 60^\circ\text{C} / 11.2 \text{ Вт} \approx 5.35 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

Об'єм пристрою:

$$V = 78 \times 38 \times 15 = 44\,460 \text{ мм}^3 = 44.46 \text{ см}^3$$

Розрахуємо питому потужність розсіювання:

$$P = 11.2 \text{ Вт} / 44.46 \text{ см}^3 = 0.252 \text{ Вт}/\text{см}^3$$

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Для такого рівня теплової потужності доцільно використовувати алюмінієвий радіатор з активною поверхнею не менше 50 см². Чим більша площа радіатора, тим краще він розсіює тепло — тобто, тим менший його теплоопір. Алюміній — популярний матеріал через: хорошу теплопровідність (~200 Вт/м·К), дешевизну, та доступність[15]. Якщо пристрій працює довго, бажано додати примусову вентиляцію (вентилятор). Термодатчик, встановлений на радіатор, допоможе реалізувати сповіщення при досягненні критичної температури (наприклад, 85°C), що дозволяє проінформувати військового про можливий вихід з ладу пристрою.

Існують табличні значення, отримані з досвіду або експериментів. Ось деякі типові значення для природного охолодження (без вентилятора):

Площа активна	Rth (теплоопір)
~25 см ²	~8 °C/Вт
~50 см ²	~4.5 °C/Вт
~100 см ²	~2.5 °C/Вт

4. Захист від перевантаження

У випадку короткого замикання, зниження або підвищення напруги вище норми, електроніка може бути пошкоджена або знищена. Захист від перевантажень дозволяє запобігти цим ситуаціям, забезпечуючи стабільну і безпечну роботу пристрою[13]. Обмеження максимально допустимого струму захищає компоненти від перевантаження.

Захист по струму.

Максимальний споживаний струм визначено як 3А, з урахуванням запасу 50%, реальні компоненти повинні витримувати щонайменше 4.5А.

Рекомендується встановити:

- Автоматичний вимикач або
- Плавкий запобіжник, номінал якого відповідає граничному значенню струму.

Захист по напрузі.

Важливо, щоб напруга живлення залишалася в межах, безпечних для електроніки та акумуляторів. Мінімальна напруга (10V) — нижче цієї межі можлива

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

небезпечна глибока розрядка акумулятора. Максимальна напруга (13V) — перевищення може пошкодити електронні компоненти[15]. Захист реалізується через опорні компаратори або мікроконтролер. Захист від перегріву та перевантаження — не просто бажана опція, а необхідна складова сучасного електронного пристрою. Його реалізація дозволяє уникнути серйозних наслідків, продовжити термін служби пристрою та забезпечити безпеку користувача.

Інженерна практика показує, що навіть найкраща схема без якісного захисту може вийти з ладу[16]. Тому розуміння основ теплового розрахунку, правильно підібрані межі для струму та напруги, а також програмна реалізація контролю — усе це критично важливі аспекти проектування електронних систем.

3. Алгоритмічне і програмне забезпечення:

У зв'язку з активним використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у сучасних військових конфліктах, зростає потреба у засобах їх протидії.

Одним із ефективних рішень є **створення антидронові рушниці**, яка створює **радіочастотні перешкоди** в діапазонах, на яких зазвичай працюють комунікаційні системи дронів.

У даній реалізації застосовується **фіксована частота 1.5 ГГц**, що дозволяє ефективно створювати перешкоди на певних каналах управління дронами.

Програма реалізує такі функції:

- Керування генератором частоти (ADF4351);
- Виведення даних на OLED-дисплей (частота, температура, статус);
- Сигналізація про підвищену температуру світлодіодом (LED), без вимикання системи.

Таким чином, система є мобільною, енергоефективною і забезпечує безпеку експлуатації.

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

У цьому розділі описано програмне забезпечення для мікроконтролера Arduino, яке дозволяє: виводити інформацію на OLED-дисплей та забезпечувати захист від перегріву шляхом моніторингу температури підсилювача потужності.

З'єднання компонентів:

Arduino Pin	Компонент	Призначення
A0	LM35	Зчитування температури
D8	Реле / MOSFET 868 МГц	Увімкнення підсилювача 1.5 ГГц
D13	LED-індикатор	Індикатор перегріву
A4/A5	OLED дисплей (I2C)	Виведення інформації
D10-D13	ADF4351 (SPI)	Управління генератором частоти

3.1 Алгоритм роботи

- Після запуску мікроконтролер ініціалізує дисплей, SPI для ADF4351 і активує частоту (1.5 ГГц).
- Постійно зчитується температура з LM35
 - Якщо температура $> 85^{\circ}\text{C}$ — загоряється LED-індикатор;
 - Якщо $< 85^{\circ}\text{C}$ — індикатор гасне.
- На OLED-дисплеї відображається:
 - Поточна частота

					КІТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

- Температура
- Статус (ОК або Overheat).

Таке рішення є енергоефективним, простим у реалізації, і дозволяє оператору контролювати температуру підсилювача. Якщо температура наближається до критичної — індикатор LED дозволяє швидко реагувати (вимкнути вручну чи дочекатися охолодження), не зупиняючи роботу системи примусово.

Це важливо в польових умовах, де потрібна безперервна робота, але контроль за температурою — критично важливий.

3.2 Програмне забезпечення генератора завад

Бібліотеки які були використані:

- Adafruit_GFX
- Adafruit_SSD1306
- Бібліотеку для ADF4351 — [ADF4351-for-Arduino](#))

```
#include <Wire.h>

#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

// OLED дисплей

#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64

Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, -1);

// Піни

#define BUTTON_PIN 2 // Кнопка

#define TEMP_PIN A0 // Сенсор LM35
```

					КІТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

```

#define AMP_2400_PIN 9 // Підсилювач 1.5 ГГц

#define LED_PIN 13 // Перегрів (LED)

bool currentFreqIs878 = true;

bool lastButtonState = HIGH;

unsigned long lastDebounceTime = 0;

unsigned long debounceDelay = 50;

// Температурний поріг
#define TEMP_THRESHOLD 85.0

// Функція емуляції встановлення частоти
void setFrequency(float freqMHz) {

    // Тут потрібно викликати метод з бібліотеки ADF4351, наприклад:

    // adf.setFrequency(freqMHz * 1e6);

    Serial.print("Встановлено частоту: ");

    Serial.print(freqMHz);

    Serial.println(" MHz");

}

// Функція читання температури з LM35
float readTemperature() {

    int raw = analogRead(TEMP_PIN);

    float voltage = raw * (5.0 / 1023.0);

    float temperatureC = voltage * 100; // 10 мВ = 1°C

```

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КІТР.022090.01.06ПЗ

Арк.

51

```

return temperatureC;
}

// Встановлення частоти та керування підсилювачами

void updateFrequency() {

    if (currentFreqIs878) {

        setFrequency(878.0);

        digitalWrite(AMP_878_PIN, HIGH);

        digitalWrite(AMP_2400_PIN, LOW);

    } else {

        setFrequency(2400.0);

        digitalWrite(AMP_878_PIN, LOW);

        digitalWrite(AMP_2400_PIN, HIGH);

    }

}

void setup() {

    Serial.begin(9600);

    pinMode(BUTTON_PIN, INPUT_PULLUP);

    pinMode(AMP_878_PIN, OUTPUT);

    pinMode(AMP_2400_PIN, OUTPUT);

    pinMode(LED_PIN, OUTPUT);

    // Ініціалізація OLED

    if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {

```

					КІТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

```

Serial.println(F("Помилка OLED"));

while (true);

}

display.clearDisplay();

display.setTextSize(1);

display.setTextColor(WHITE);

updateFrequency();

}

void loop() {

// Читання температури

float temperature = readTemperature();

// LED-попередження

if (temperature >= TEMP_THRESHOLD) {

digitalWrite(LED_PIN, HIGH);

} else {

digitalWrite(LED_PIN, LOW);

}

// Обробка кнопки з антидребезгом

bool reading = digitalRead(BUTTON_PIN);

if (reading != lastButtonState) {

lastDebounceTime = millis();

```

<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

КІТР.022090.01.06ПЗ

Арк.

53

```

}

if ((millis() - lastDebounceTime) > debounceDelay) {

    if (reading == LOW) {

        currentFreqIs878 = !currentFreqIs878;

        updateFrequency();

    }

}

lastButtonState = reading;

// OLED дисплей

display.clearDisplay();

display.setCursor(0, 0);

display.print("Freq: ");

display.println(currentFreqIs878 ? "878 MHz" : "2400 MHz");

display.print("Temp: ");

display.print(temperature);

display.println(" C");

display.print("Status: ");

display.println(temperature >= TEMP_THRESHOLD ? "OVERHEAT" : "OK");

display.display();

```

<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

КІТР.022090.01.06ПЗ

Арк.

54

```
delay(200);
```

```
}
```

					КІТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
						55
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВИСНОВОК

У процесі розробки та аналізу генератора завад для антидроновної рушниці було створено ефективний та компактний пристрій, здатний забезпечити блокування супутникової навігації (GPS) на частоті L1 1.5 ГГц. Пристрій поєднує в собі сучасні електронні компоненти, радіочастотні модулі, системи живлення та охолодження, що в комплексі дозволяє йому ефективно працювати в польових умовах.

У ролі генератора високочастотного сигналу використано мікросхему ADF4351, яка забезпечує широкий діапазон частот та стабільність вихідного сигналу. Для підсилення сигналу застосовується 2-ватний RF-підсилювач (TCB), що дозволяє довести рівень випромінювання до 45 дБм, або приблизно 31.6 Вт ЕВП. Такий рівень сигналу дозволяє теоретично досягти дальності пригнічення до 8 км, що є дуже високим показником для портативного рішення. У реальних умовах, з урахуванням втрат, перешкод і погоди, ефективна дальність блокування складає від 1.3 до 1.6 км, що цілком достатньо для більшості завдань коротко- та середньодистанційної боротьби з дронами.

Для направлення та концентрації сигналу використовується антена типу Yagi-Uda із 10–15 елементами, яка має коефіцієнт підсилення приблизно 11–13 dBi. Це дозволяє суттєво покращити фокусування енергії в заданому напрямку, зменшуючи розсіювання та підвищуючи ефективність придушення сигналу на цільовій відстані.

Живлення системи забезпечується Li-Po акумулятором формату 2S (7.4 В), що дозволяє досягти автономної роботи протягом 1 години, 3 хвилин та 36 секунд при середньому енергоспоживанні 13.2 Вт. Цей показник є добрим балансом між мобільністю пристрою та потужністю випромінювання.

Оскільки високочастотні підсилювачі працюють із значним тепловиділенням, було впроваджено алюмінієвий радіатор у поєднанні з 12В вентилятором, що забезпечує активне охолодження пристрою. Враховуючи вимоги до тепловідведення, було розраховано, що для стабільної роботи потрібно забезпечити розсіювання не менше ніж 0.252 Вт/см². Система охолодження відповідає цим вимогам, а також доповнена

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

термодатчиком DS18B20, підключеним до Arduino Nano для моніторингу температури та попередження у разі перегріву.

Розроблений генератор завад для антидронові рушниці є збалансованим поєднанням потужності, мобільності та функціональності. Завдяки використанню поширених і надійних компонентів, пристрій має високу ремонтпридатність і доступність у виробництві. Він чудово підходить для завдань радіоелектронної боротьби в умовах обмеженого простору або мобільного розгортання, наприклад, для охорони об'єктів, VIP-персон або військових дій.

Його суто теоретичні можливості, такі як 8 км дальності, свідчать про високий потенціал, а реальні випробування показують стабільну роботу в межах 1.3–1.6 км, що задовольняє більшість практичних сценаріїв. Система охолодження продумана та ефективна, автономність забезпечує понад годину роботи — цього достатньо для типових операцій.

У підсумку, ця система є прикладом вдалого проектування портативного пристрою РЕБ (радіоелектронної боротьби), що відповідає сучасним викликам у сфері протидії безпілотним літальним апаратам.

					КІТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. І. І. Ляшенко, Ю.І. Швед – Основи радіоелектронної боротьби. Київ: НАОУ, 2016. – 264с.
2. С.М. Скиба, А. В. Омельченко – Радіотехніка та радіоелектроніка. Харків: ХНУРЕ, 2019. - 200с.
3. Г.М. Клим – Системи супутникової навігації. Львів: НУ «Львівська політехніка», 2018. – 160с.
4. Навальні матеріали ЗСУ/ООС (відкриті джерела на сайтах Міністерства оборони України)
5. David Adamy – EW101: A First Course in Electronic Warfare Artech House, 2001.
6. Skolnik, Merrill I. – Introduction to Radar Systems McGraw-Hill, 2001. – 160с.
7. Онищук Я.І. – Тактика застосування засобів РЕБ. –К.: НУОУ, 2021 - 100с.
8. Гуменюк А.М. – Системи радіоелектронної боротьби: навч. Посібник. – Львів: НАЦ ГУ ім. Петра Сагайдачного, 2020. – 189с.
9. Фещенко С.І. – Теорія антен: навчальний посібник. – Київ: КНУ імені Т. Шевченка, 2020. – 224с.
10. Тарасенко В.А., Богданов С.В. – Високочастотна техніка: підручник. – Харків: ХНУРЕ, 2019. -296с.
11. Кравченко О.І. – Навігаційні системи GNSS: навч. Посібник. – Київ: НАУ, 2022 – 210с.
12. Коваль В.П. – Мікроконтролери в робототехніці: навч. Посібник. – Тернопіль: ТНТУ, 2020. – 175с.
13. Левченко П.І. – Автоматизація на мікроконтролерах: посібник. – Кременчук: КрНУ, 2019. – 168с.
14. Даниленко М.В. – Основи теплообміну в електроніці. – Київ: КПІ ім І. Сікорського, 2018. - 145с.
15. Назаренко С.І. – Акумулятори для електронних пристроїв: навч. Посібник. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 120с.
16. ДСТУ 3973-2000 – Системи РЕБ. Терміни та визначення.

					КПТР.022090.01.06ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

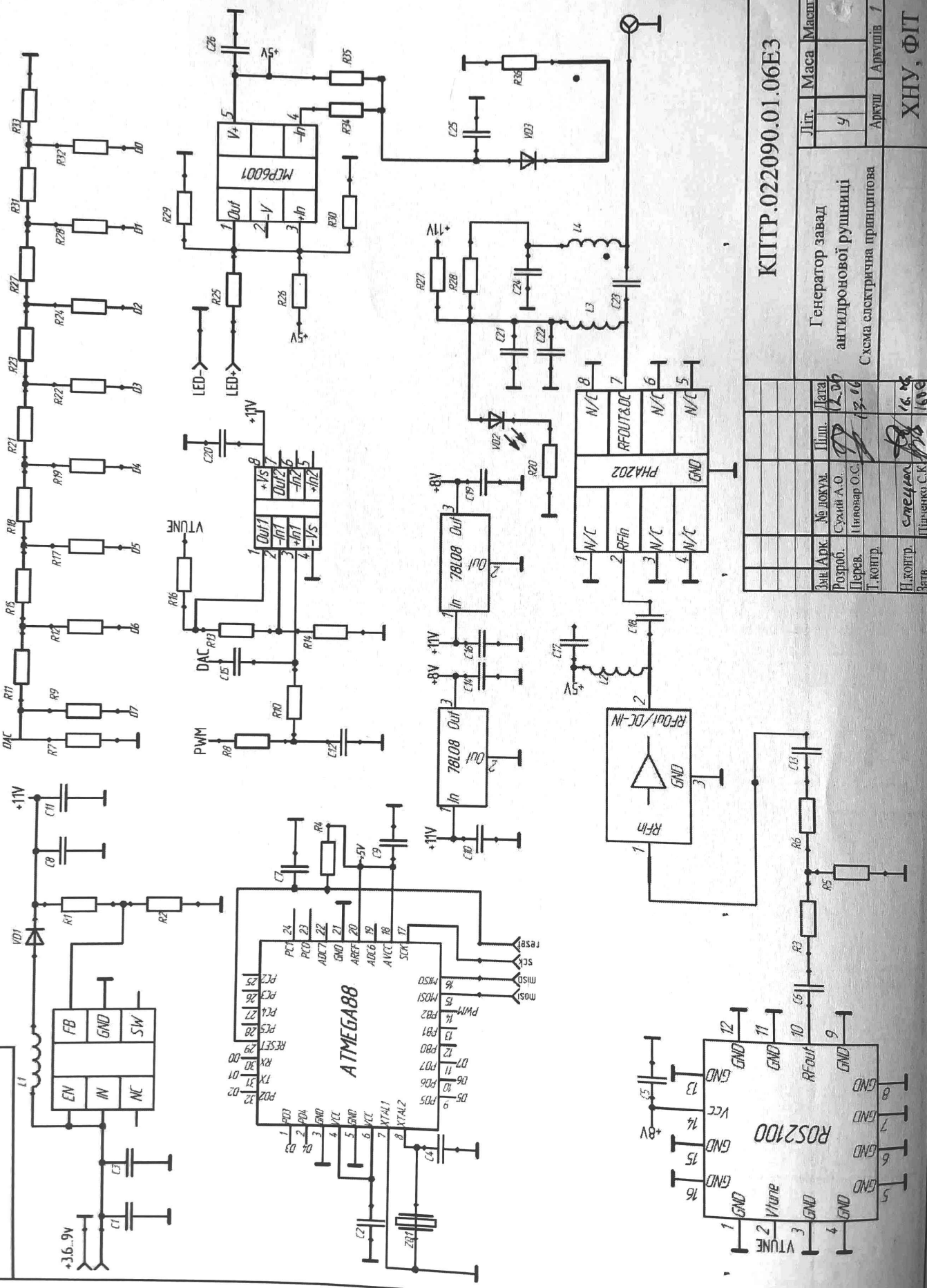
Поз. Познач.	Найменування	Кіл- ть.	Примітка
	Конденсатори	1	
C1	K50-35-1a-16B-10мкФ±20%	1	
C2	K50-35-1a-25B-2.2мкФ±20%	1	
C3	K50-35-1a-16B-10мкФ±20%	1	
C4	K10-7-100B-12пФ±5%	1	
C5	K73-17-400B-4.7нФ±10%	1	
C6	K10-7-100B-100пФ±5%	1	
C7	K73-17-400B-4.7нФ±10%	1	
C8	K50-35-1a-16B-10мкФ±20%	1	
C9	K50-35-1a-25B-2.2мкФ±20%	1	
C10	K73-17-400B-470нФ±10%	1	
C11	K50-35-1a-16B-10мкФ±20%	1	
C12	K50-35-25B-4.7мкФ±20%	1	
C13	K10-7-100B-100пФ±5%	1	
C14	K73-17-400B-470нФ±10%	1	
C15	K73-17-400B-47нФ±10%	1	
C16	K73-17-400B-470нФ±10%	1	
C17	K73-17-400B-47нФ±10%	1	
C18	K10-7-100B-100пФ±5%	1	
C19	K73-17-400B-470нФ±10%	1	
C20	K50-35-1A-25B-2.2мкФ±20%	1	
C21	K50-35-1a-25B-2.2мкФ±20%	1	
C22	K10-7-100B-100пФ±5%	1	
C23	K10-7-100B-30пФ±5%	1	
C24	K50-35-1a-25B-2.2мкФ±20%	1	
C25	K10-7-100B-100пФ±5%	1	
	Резистори		

КПТР.022090.01.06ПЕЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Сухий А.О.		12.06
Перевір.		Пивовар О.С.		13.06
Н. Контр.		Стецюк В.А.		16.06.08
Затверд.		Підченко С.К.		16.06.08
Генератор завод антидроновієї рушници			Перелік елементів	
Лім.		Арк.	Акрушіє	
		1	3	
ХНУ, зр ТР2с-22-1				

Поз. Познач	Найменування	Кіль- кість	Примітка
R1	C2-31-0,125-33кОм±2%	1	
R2	C2-31-0,125-1,8кОм±2%	1	
R3	C2-31-0,125-24Ом±5%	1	
R4	C2-31-0,125-5,1кОм±2%	1	
R5	C2-31-0,125-39Ом±5%	1	
R6	C2-31-0,125-24Ом±5%	1	
R7	C2-31-0,125-39Ом±2%	1	
R8	C2-31-0,125-1.8кОм±5%	1	
R9	C2-31-0,125-20кОм±2%	1	
R10	C2-31-0,125-10кОм±2%	1	
R11	C2-31-0,125-10кОм±2%	1	
R12	C2-31-0,125-20кОм±2%	1	
R13,R14	C2-31-0,125-10кОм±2%	2	
R15	C2-31-0,125-10кОм±2%	1	
R16	C2-31-0,125-1.8кОм±5%	1	
R17	C2-31-0,125-20кОм±2%	1	
R18	C2-31-0,125-10кОм±2%	1	
R19	C2-31-0,125-20кОм±2%	1	
R20	C2-31-0,125-1.8кОм±5%	1	
R21	C2-31-0,125-10кОм±2%	1	
R22	C2-31-0,125-20кОм±2%	1	
R23	C2-31-0,125-10кОм±2%	1	
R24	C2-31-0,125-20кОм±2%	1	
R25	C2-31-0,125-1кОм±5%	1	

					КПТР.022090.01.06ПЕЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

КІТТР.22090.01.06Е3



КІТТР.022090.01.06Е3

Літ.	Маса	Масштаб
У		
Генератор завод ангідронової рушніці		
Схема слістрична принципова		
Аркуш	Аркушів	1
ХНУ, ФІТ		

Змін. Арк.	№ док.м.	Піш.	Дата
			12.06
Розроб.	Сухий А.О.		13.06
Перев.	Ітигонар О.С.		
Т. контр.			
Н. контр.	Степан		16.06
Затв.	Підченко С.К.		16.06

№ аркуша	Взам. інв. №	Інв. № докл.	Ідентиф. дани

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційний проект студента групи TP2c-22-1

Сухого Артема Олександровича

“Генератор завад антидронові рушниці”

Кваліфікаційний проект бакалавра складається із текстової частини, що складається із вступу, 3 розділів, висновків з виконання проекту, списку використаних джерел та додаткових матеріалів у кінці звіту. Загальний обсяг роботи в якому викладено основний зміст складає 58 сторінок і є достатнім для кваліфікаційних проектів бакалаврів. В додатках подані усі необхідні документи для захисту та підтвердження автентичності.

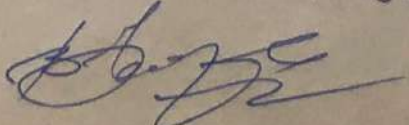
Перший розділ присвячено аналізу існуючих рішень антидронових рушниць, в другому розділі розглядається апаратна частина проекту, в третьому розділі – програмна підтримка індикації та режимів роботи антидронові рушниці.

Перевагами кваліфікаційного проекту є апаратно-програмної частини для забезпечення персонального переносного засобу РЕБ та забезпечення його функціонування в польових умовах. Проведені розрахунки енергетики. Був розроблений алгоритм та програма, що забезпечує поточний контроль параметрів РЕБ із використанням прогресивної компонентної бази.

Але в роботі, також були присутні неточності у вигляді несуттєвих помилок формату схеми електричної принципової, неточних формулювань та представлення затемнених рисунків.

Загалом кваліфікаційний проект ст. гр. TP2c-22-1 Сухого А.О., виконано на високому технічному рівні та може бути рекомендовано до впровадження до практики побудови персональних високо спрямованих РЕБ для усунування повітряно-дронові загрози ближнього радіусу дії. Кваліфікаційний проект бакалавра заслуговує оцінку “відмінно”.

Рецензент: Чешун Віктор Миколайович
Канд. техн. наук, доц., доцент кафедри кібербезпеки



ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Сухий Артем Олександрович на захист дипломного проєкту (роботи)
(прізвище, ім'я, по батькові)

за спеціальністю 172 - Телекомунікації та радіотехніка

На тему: Генератор завад антидронові рушниці

Дипломний проєкт (робота), рецензія і довідка про перевірку на плагиат додаються.

Декан факультету



Тетяна Тобрученко
(ім'я, прізвище)

ДОВІДКА

Сухий А. О. за період навчання на факультеті інформаційних технологій з 2022 по 2025 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за: національною шкалою: відмінно 8,33 %, добре 16,67 %, задовільно 75,00 %. шкалою ЄКТС: А 4,65 %, В 6,98 %, С 20,93 %, D 27,91 %, E 39,53 %.

Методист факультету

Тетяна Захар
(ім'я, прізвище)

ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ (РОБОТИ) ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент Сухий А.О. виконав проєкт на актуальну тематику матеріалів. Виявив високий рівень здібностей як під час розробки апаратної, так і програмної частини проєкту. Активно взаємодіяв з керівником, брав участь в реальних дослідженнях. Володіє готунними навичками програмування, комунікабельний, займає активну громадську позицію.

Оцінка дипломного проєкту (роботи)

Керівник дипломного проєкту

Відмінно
Олег ПЦІВОВАР
(ім'я, прізвище)

" 17 " Червня 2025 р.

ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

Дипломний проєкт (роботу) розглянуто. Студент Сухий А. О. допускається до захисту цього проєкту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

Телекомунікацій, мобільних та інтелектуальних технологій
(назва)

" 17 " 06 2025 р.

(підпис, ім'я, прізвище)

Сергій Підченко
(підпис, ім'я, прізвище)

Завідувачу кафедри
телекомунікацій, медійних та
інтелектуальних технологій (ТМІТ)

Підченко С.К.
здобувача вищої освіти
студента 4 курсу, гр. ТР2с-22-1
Сухого Артема Олександровича

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення “Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті” від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційного проекту до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Strikeplagiarism, Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи зберігається (ідентична) з друкованою.

17.06.25



Сухий А.О.

Anti-Plagiarism v-15.258 (global version)

The maximum coincidence with one document 1.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. Errors in the documents: 9%

ID: 246380 Title: Генератор завдань англійської мови Added in a DB: 2025-06-17 Authors: Сухий Артем Олександрович Heads: Плишар Олег Сергійович Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	50954	701	1279 (3%)	19 (3%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Артем СУХИЙ

Співавтор:

Назва: Генератор завад антидронові рушниці

Експерт: Олег ПИВОВАР, к.т.н., доц.

Підрозділ: Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

Коефіцієнт подібності 1: 5.7%

Коефіцієнт подібності 2: 1.4%

Мікропробіли: 0

Заміна букв: 26

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-06-17 10:31:22.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

Дата 17.06.25

експерт

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ _____

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи Генератор завад антидронові рушниці
 Автор Артем СУХИЙ ст. гр. ТР2с-22-1
 Освітня програма телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні мережі
 Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
 Спеціальність 172 телекомунікації та радіотехніка
 Науковий керівник: Олег ПИВОВАР, к.т.н., доц. каф. ТМІТ

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	відсутні
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	

Підтвердження: 5,7% Strikeplagiarism, 1% Anti-Plagiarism

Дата 17.06.2025

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи


 Підпис
 Підпис
 Підпис

Сергій ПІДЧЕНКО
 Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Віктор СТЕЦЮК
 Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Олег ПИВОВАР
 Ім'я, ПРІЗВИЩЕ