

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Радіотехнічний факультет
Кафедра радіоінженерії**

«На правах рукопису»

УДК 621.396.67

До захисту допущено:

В.о. завідувача кафедри

_____ Сергій МАРТИНЮК

«15» січня 2024 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою
«Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія»
зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
на тему: «Антенна система передачі відеоданих для БПЛА»**

Виконав:

студент II курсу, групи РІ-21мп

Діхтярук Іван Іванович

Керівник:

к.т.н., доцент кафедри радіоінженерії

Пільтай Степан Іванович

Рецензент:

к.т.н., ст. викладач кафедри радіотехнічних систем

Неуймін Олександр Станіславович

С.П.М.

НО

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Радіотехнічний факультет
Кафедра радіоінженерії

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)
Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
Освітньо-професійна програма «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри
_____ Сергій МАРТИНЮК
«___» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Діхтяруку Івану Івановичу

1. Тема дисертації «Антенна система передачі відеоданих для БПЛА», науковий керівник дисертації Пільтай Степан Іванович, доц., к.т.н., затверджені наказом по університету від «09» листопада 2023 р. № 5206-с
2. Термін подання студентом дисертації 16.01.2024 р.
3. Об'єкт дослідження: Процес випромінювання та приймання електромагнітних хвиль дрововими антенами з лінійною поляризацією в діапазоні 400–500 МГц.
4. Вихідні дані: Смуга частот приймально-фідерного тракту в межах від 400 до 500 МГц, коефіцієнт підсилення приймальної антени 1.7 дБі, коефіцієнт підсилення передавальної антени вище 7 дБі, КСХ обох антен менше 3, компактність і мала маса приймальної антени.
5. Перелік завдань, які потрібно виконати: 1) оцінити досяжні характеристики в наявних технічних рішеннях антенних систем БПЛА і наземної станції; 2) здійснити моделювання, оптимізацію та вимірювання електромагнітних характеристик дипольної і логоперіодичної антен; 3) розробити стартап-проект антенної системи.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація представлена на слайдах, на якій показані загальні конструкції приймально-передавального тракту, їх структуру та частотні характеристики.

7. Орієнтовний перелік публікацій: не передбачається.

8. Дата видачі завдання 04.09.2023.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз існуючих технічних рішень антен для БПЛА	29.09.2023	виконано
2	Створення моделей приймальної дипольної та передавальної логіперіодичної антен	31.10.2023	виконано
3	Моделювання й оптимізація характеристик	30.11.2023	виконано
4	Виготовлення розроблених антен	14.12.2023	виконано
5	Вимірювання характеристик антен	15.12.2023	виконано
6	Аналіз і порівняння отриманих даних	17.12.2023	виконано
7	Розробка стартап-проєкту	29.12.2023	виконано
8	Написання і оформлення магістерської дисертації	12.01.2024	виконано

Студент

Іван ДІХТЯРУК

Науковий керівник



Степан ПІЛЬТЯЙ

АНОТАЦІЯ

У магістерській дисертації було синтезовано антенну система для передачі даних відео/телеметрії БПЛА. Було розглянута класифікація основних типів безпілотних систем, здійснений огляд сучасних тенденцій розвитку у цьому напрямі. Проаналізувавши основні проблеми при проєктуванні БПЛА, були зроблені висновки, що головними чинниками є габаритні розміри приладу та проблеми з ЕМС внутрішнього розташування антени.

В основній частині роботи виконано електродинамічне моделювання, виготовлення та експериментальне дослідження антенної системи передачі даних відео/телеметрії для безпілотного літального апарата (БПЛА). Був розрахований передавальний та приймальний елемент, побудовано 3D-модель з використанням дискретних елементів у програмному забезпеченні "CST Studio", "MMANA GAL".

Результати моделювання показали, що підсилення дипольної антени на частоті 400 МГц залишалось незмінним і складало 1.85 дБі. Однак на частоті 450 МГц відбувся приріст ширини ДС на 0.6° . Ширина діаграми спрямованості на частоті 500 МГц розширилась до рівня 181.2 градусів. Підсилення на цій частоті стало не суттєво нижче: 1.77 дБі. Змодельована ширина смуги узгодження на рівні -6 дБ за коефіцієнтом відбиття ($K_{CX}=3$) становила 20 МГц і знаходилась у межах діапазону 400–500 МГц. Вимірювання показали, що антена забезпечує ширшу смугу частот за рівнем $K_{CX} \leq 3$ від 440 до 500 МГц.

Розроблену антенну систему використано в системі передачі даних для БПЛА.

Ключові слова: БПЛА, дипольна антена, логоперіодична антена, телеметрія.

ABSTRACT

An antenna system for UAV video data transmission was synthesized in the diploma project. The classification of the main types of unmanned systems was considered, an overview of modern development trends in this direction was carried out. Having analyzed the main problems in the design of the UAV, it was concluded that the main factors are the overall dimensions of the device and problems with the EMC of the internal location of the antenna.

In the main part the electrodynamic modeling of the video/telemetry data transmission antenna system for an unmanned aerial vehicle (UAV) is performed. The transmitting and receiving element was calculated, a 3D model was built using discrete elements in the "CST Studio", "MMANA GAL" software.

During the simulations, the gain of the antenna at a frequency of 400 MHz remained unchanged and was 1.85 dBi. However, at a frequency of 450 MHz, there was an increase in the width of the DS by 0.6° . The width of the directional diagram at the frequency of 500 MHz expanded to the level of 181.2 degrees. Gain at this frequency was not significantly lower: 1.77 dBi. The matching bandwidth at -6 dB level of reflection coefficient ($VSWR = 3$) was equal to 20 MHz and located within the frequencies from 400 to 500 MHz. Measurements have demonstrated that antenna provides wider frequency range at level $VSWR \leq 3$ from 440 to 500 MHz.

Developed antenna system is applied in data transmission system for UAV.

Keywords: UAV, dipole antenna, log-periodic antenna, telemetry.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП	10
1. СУЧАСНІ БЕЗПІЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ.....	11
1.1. Тенденції розвитку сучасних БПЛА	11
1.2. Класифікація БПЛА за призначенням, тактико-технічними характеристиками та місцем базування.....	14
1.3. Системи телеметрії БПЛА. Опис та області використання.....	17
1.4. Особливості застосування та проблеми безпілотних систем.....	21
2. ДИПОЛЬНІ АНТЕНИ ДІАПАЗОНУ 400–500 МГц.....	27
2.1. Дипольна антена Long 433MHz rubber 2-3dbi	27
2.2. Антена Baofeng UV-10R.....	30
2.3. Антена SMA 433 MHz	32
2.4. Висновки за розділом.....	34
3. РОЗРОБКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ АНТЕННОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ВІДЕОДАНИХ ДЛЯ БПЛА.....	36
3.1. Проектування приймальної антени у ПЗ «CST MICROWAVE STUDIO».....	36
3.2. Передавальна логіперіодична антена, принцип її роботи та розрахунок конструкції	45
3.3. Проектування передавальної антени у ПЗ «MMANA GAL».....	49
3.4. Способи симетрування живлення приймальної антени.....	54
3.5. Висновки за розділом.....	56
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ АНТЕН.....	57
4.1. Виготовлені прототипи антен	57

4.2. Виміряні характеристики антен.....	59
4.3. Висновки за розділом.....	61
5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ	62
5.1. Описання ідеї проєкту	62
5.2. Технологічний аудит ідеї проєкту.....	64
5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту.....	64
5.4. Розроблення ринкової стратегії проєкту	71
5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту.....	76
5.6. Висновки за розділом.....	79
ВИСНОВКИ.....	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	81
ДОДАТОК А. КРЕСЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРИЙМАЛЬНОЇ АНТЕНИ....	84
ДОДАТОК Б. СКЛАДАЛЬНЕ КРЕСЛЕННЯ ПЕРЕДАВАЛЬНОЇ АНТЕНИ.	85
ДОДАТОК В. ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ	86

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

БПЛА — безпілотний літальний апарат;

ДС — діаграма спрямованості;

ЕМС — електромагнітна сумісність;

КП — коефіцієнт підсилення (антени);

КСХ — коефіцієнт стійної хвилі;

НС — наземна станція (управління);

ПЗ — програмне забезпечення;

ППРЧ — псевдовипадкове перестроювання радіочастоти;

РЧ — радіочастоти.

ВСТУП

Напрямок магістерської дисертації є аналіз та створення антенної системи для передачі даних телеметрії з наземної передавальної станції на борт БПЛА.

Актуальність поточного дослідження виходить з необхідності пошуку практичних та економічно доцільних рішень антенної системи для БПЛА, які забезпечили б легкість синтезу, ефективність характеристик, підготовки до виробництва, підвищення технологічності виготовлення і налаштування системи та можливості до подальшої модернізації.

Застосування антенної системи для зв'язку з БПЛА має свої особливості, як за електромагнітними характеристиками, так і за компактністю, масою, габаритами та можливістю швидкого налаштування, зміни поляризації при встановленні за потреби. Актуальність вибраної теми полягає насамперед в потребі модернізації засобів передачі даних відео/телеметрії БПЛА з метою збільшення відстані зв'язку (до 30 км). Таке технічне рішення дасть можливість оператору та наземній станції перебувати у більш безпечних умовах при спеціальних та військових застосуваннях БПЛА.

Об'єктом дослідження дисертації є процес випромінювання та приймання електромагнітних хвиль дрововими антенами з лінійною поляризацією в діапазоні частот 400–500 МГц.

Дослідивши існуючі моделі антен потрібного діапазону частот, було прийнято рішення використання саме дипольного типу випромінювача на борту БПЛА, оскільки антена повинна мати всеспрямовану ДС, найбільш широкі пелюстки ДС в обох площинах та можливість конструктивно легко змінити поляризацію приймальної антени при встановленні на борт БПЛА.

1. СУЧАСНІ БЕЗПЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ

1.1. Тенденції розвитку сучасних БПЛА

Безпілотний літальний апарат (БПЛА), відомий також як «безпілотник» чи UAV (від англійського unmanned aerial vehicle), є авіаційним засобом, що операційно використовується без присутності пілота або екіпажу на його борту. Його призначенням є виконання завдань, які традиційно виконуються пілотованими літальними апаратами. Визначення БПЛА, сформульовані науковцями, включають різні характеристики, що дозволяють розглядати його як: 1) будь-який літальний апарат, що працює без участі людини на борту, і керується дистанційно за програмою або комбінованим способом; 2) літальний апарат, який може бути використаний повторно, оснащений силовою установкою та має можливість дистанційного, напіваавтоматичного, автоматичного або комбінованого управління.

Такий апарат може нести різні типи корисних вантажів і виконувати специфічні завдання в атмосфері або за її межами протягом визначеного періоду часу. Однією з обов'язкових характеристик для цих апаратів є відсутність пілота (екіпажу) на борту, а з криміналістичної точки зору, їх важливістю є можливість переносити різноманітне цільове обладнання.

Також, відповідно до Гарвардської директиви, можна визначити безпілотний літальний апарат (БПЛА) як безпілотний військовий літальний апарат будь-якого розміру, що може переносити зброю та використовувати її для бойових завдань, або використовувати її безпосередньо проти цілі. Безпілотні літальні апарати відзначаються численними перевагами порівняно з пілотованою авіаційною технікою, такими як відсутність потреби в екіпажі та системах життєзабезпечення, можливість використання без аеродромів, а також невелика вартість, низькі витрати на створення,

виробництво та експлуатацію. Їх характеризує також компактність в поєднанні з високою надійністю, тривалістю та дальністю польоту, маневреністю та можливістю перевозити різноманітне цільове спорядження.



Рисунок 1.1. — Загальний вигляд ударного безпілотного літального апарату.

Безпілотні авіаційні системи застосовуються на всіх рівнях — від тактичного до стратегічного, включаючи сфери, де вони не мають пілотованої альтернативи, такі як ближня розвідка в умовах міст та тривалий моніторинг великих територій на великій відстані від бази для отримання оперативно-стратегічної інформації протягом доби і більше.

Розробка та масове виробництво безпілотних літальних апаратів (БПЛА) різних видів проводять сотні підприємств у технологічно розвинених країнах світу. Виділяються Сполучені Штати Америки, Ізраїль і Китайська Народна Республіка як лідери у цій галузі. Початок збройного

вторгнення країни-агресора проти України в 2014 році викликав швидкий розвиток цього сектору в Україні, яка традиційно володіє визнаною експертизою в авіабудівній сфері.

Країна-агресор прагне утримати паритет шляхом власного виробництва різноманітних БПЛА та таємного імпорту з Ірану та інших країн. Широка розмаїтість БПЛА від різних виробників зумовлює необхідність їх класифікації, що виявляється дуже важливим фактором із практичної точки зору для органів досудового розслідування. Це сприяє:

1. Обґрунтованому вибору конкретних типів БПЛА для ефективного ведення кримінального розслідування загалом та окремих процесуальних дій.
2. Прискоренню ситуаційно зумовленого вибору оптимальних методів та засобів використання БПЛА.
3. Самостійній або спільній з фахівцями з визначення групової приналежності та ідентифікації БПЛА за їх характеристиками, а також побудові профілю невідомого пілота або екіпажу БПЛА, що дозволяє визначити його потенційне місце перебування та розміщення точки дистанційного керування чи інших компонентів.

Ускладнення у визначенні класифікаційної групи конкретного засобу може викликати помилки у визначенні місця розташування точки управління БПЛА.

Друга негативна тенденція полягає в застосуванні невідповідних для виконання актуальних завдань технікокриміналістичного забезпечення безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Очевидно, що використання безпілотників з обмеженим тактичним радіусом дії, короткою тривалістю польоту та обмеженим комплектом цільового спорядження, яке включає лише засіб фотозйомки та відеозапису з фіксованим об'єктивом, придатним для якісної фото-відеофіксації лише з великої відстані у видимих променях

спектра за сприятливих погодних умов, буде неефективним для повноцінного обстеження обширних територій.

Використання таких БпЛА при вирішенні важливих завдань, які не відповідають їхнім льотно-технічним та іншим характеристикам, не виправдовує очікувань та негативно впливає на ідею впровадження безпілотників у сферу польової криміналістики.

Розробники безпілотних апаратів правильно зауважують, що неможливо вирішити всі необхідні завдання за допомогою одного типу БпЛА. Не існує універсальних та ефективних рішень. Тому важливо обирати тільки ті пристрої, які відповідають специфіці виконуваних завдань. Водночас, кваліфіковане використання класифікації БпЛА сприятиме дослідженню обставин використання їх як засобів ураження силами вторгнення країни-агресора.

1.2. Класифікація БпЛА за призначенням, тактико-технічними характеристиками та місцем базування

Варто відзначити, що відносна новизна безпілотних технологій призводить до відсутності загальної класифікації безпілотних літальних апаратів (БпЛА) як у нашій, так і в інших країнах. Існуючі класифікації виявилися малоефективними, оскільки вони не охоплюють всі аспекти та не враховують інтегрованого підходу до сучасних вимог та технічних характеристик БпЛА. Однак за останній час було приділено значну увагу розробці класифікації БпЛА у наукових дослідженнях. Також для авіаційної техніки військового призначення було розроблено відповідний Державний стандарт.

Використовуючи цей стандарт як основу, разом із пропозиціями вчених та даними міжнародної асоціації UVS International, можна запропонувати загальний підхід до класифікації БпЛА:

БпЛА цивільної призначеності:

За формою власності: державні та приватні.

За призначеністю: спостережні, моніторингові, дистанційно-зондуючі, інформаційно-розвідувальні, охоронні, зв'язку, транспортні (логістичні), забезпечувальні, робочі, допоміжні, комерційні, багатоцільові.

За правилами польотів: візуальні, приладові, візуально-приладові.

БпЛА військової призначеності:

За призначеністю: ударні, винищувальні, розвідувальні, цілевказувальні, для радіоелектронної боротьби, транспортні, ретрансляторні, повітряні мішені, імітатори цілі, багатоцільові.

За використанням класом: сегреговані та несегреговані.

За масштабом завдань: поля бою (радіус дії до 15 км), тактичні (радіус дії від 15 до 80 км), оперативно-тактичні (радіус дії від 80 до 300 км), оперативні (радіус дії від 300 до 800 км), стратегічні (радіус дії понад 800 км).

У розділі класифікації безпілотних літальних апаратів (БпЛА) можна провести поділ за різними критеріями:

За місцем базування:

- Наземні.
- Водні.
- Корабельні.
- Повітряні.

За принципом створення підйомної сили:

-Аеродинамічні:

-Безпілотні літаки (з аеродинамічними схемами: «нормальна», «качка», «безхвістка», «тандем», «літальне крило»).

-Безпілотні планери (з аеродинамічними схемами: «нормальна», «качка», «безхвістка», «тандем», «літальне крило»).

-Безпілотні екраноплани.

Безпілотні гвинтокрилі апарати (вертольоти, гвинтокрили, автожири, конвертоплани, мультикоптери).

- Апарати з маховими рухами крил (орнітоптери, ортоптери).
- Аеростатичні:
- Автоматичні аеростати.
- Прив'язні аеростати.
- Керовані аеростати.
- Некеровані аеростати.
- Дирижаблі:
- Традиційної схеми.
- Повітроплавальні.
- М'які.
- Напівжорсткі.
- Жорсткі.

За кількістю застосувань:

- Багаторазового (понад 10 польотів).
- Обмеженої кількості.
- Одноразового (посадочні та безпосадочні).
- Ситуаційного.
- За типом крила:
- Фіксовані.

За кількістю двигунів:

- Ододвигунні.
- Дводвигунні.
- Багатодвигунні.
- Бездвигунні.

1.3. Системи телеметрії БПЛА. Опис та області використання

Згідно з технічною термінологією, термін "система телеметрії" визначає комплекс технологічного обладнання, призначеного для отримання віддалених вимірювань та даних приладів. Його основна мета полягає в забезпеченні взаємодії між оператором та фахівцем іншого комплексу. Система телеметрії функціонує завдяки використанню різних рівнів датчиків та зв'язкових пристроїв із відповідним об'єктом.

Існують різні типи систем телеметрії, які враховують специфічні характеристики:

Оперативні системи, які дозволяють формувати управлінські команди.

Реєструючі системи, що відповідають за реєстрацію багатьох параметрів, що характеризують роботу приладів і об'єктів системи.

Комбіновані системи, які забезпечують координацію роботи всіх каналів та систем вимірювання.

Функціональність систем телеметрії полягає у ефективному зборі інформації від первинних джерел і утворенні сигналів на їх основі. Ці сигнали передаються через канали зв'язку та реєструються на стороні прийому.

Залежно від області застосування, системи телеметрії можуть виконувати різні функції, такі як контроль виробничих процесів, проведення наукових досліджень або випробувань у різних галузях. Класифікація телеметрії може бути здійснена з урахуванням вибору та виклику, визначенням справжнього або проміжного характеру, що дозволяє вибрати найбільш підходящий комплекс для продуктивної діяльності в будь-якій галузі.

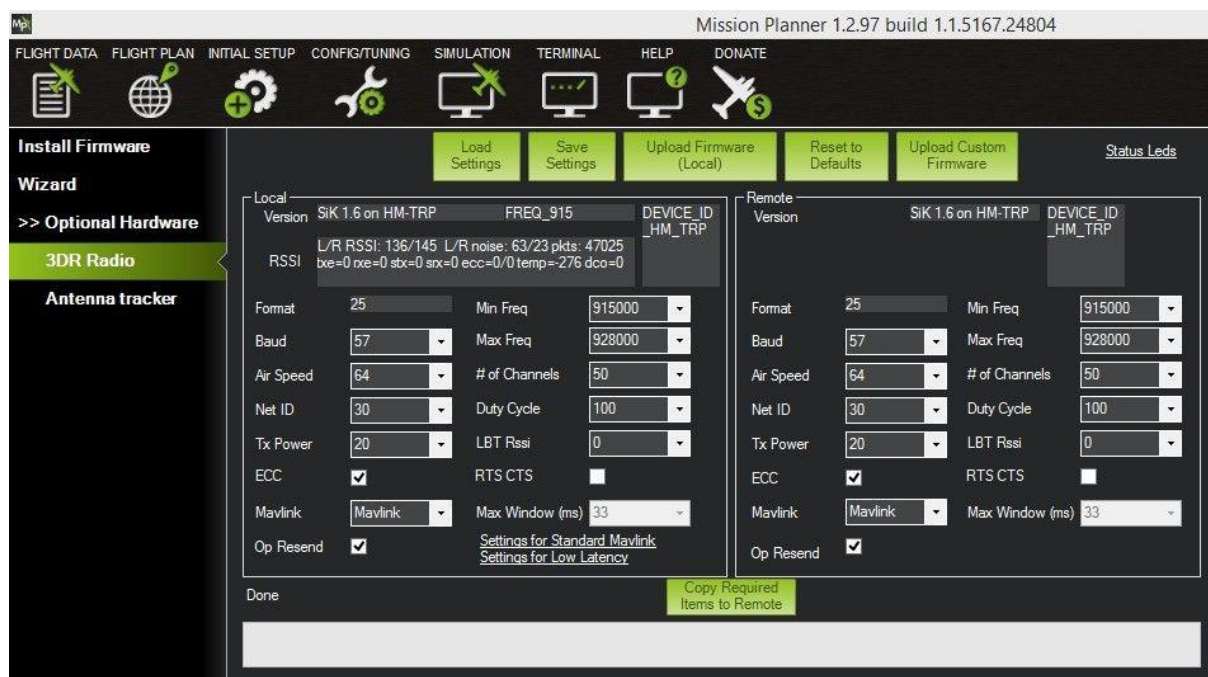


Рисунок 1.2. — Налаштування модулів телеметрії в ПЗ «Mission Planer»

Телеметрія (телевимірювання) відіграє важливу роль у операціях безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Ця технологія дозволяє збирати, передавати та аналізувати різні параметри та дані про стан БПЛА в режимі реального часу. Ось кілька виконуваних функцій, які пояснюють, чому телеметрія є ключовим аспектом для роботи БПЛА:

Моніторинг стану БПЛА: Телеметрія надає інформацію про різні аспекти стану БПЛА, такі як висота, швидкість, кут нахилу, положення у просторі, стан батареї та інші параметри. Це дозволяє операторам спостерігати та контролювати роботу БПЛА у реальному часі.

Діагностика та попередження збоїв: Телеметрія дозволяє операторам виявляти потенційні проблеми або збої в роботі БПЛА задовго до того, як вони можуть призвести до серйозних наслідків. Це дозволяє вжити необхідних заходів, включаючи повернення БПЛА на базу чи профілактичне технічне обслуговування.

Оптимізація роботи та місій: Аналіз телеметрії дозволяє оптимізувати параметри польоту та стратегії роботи. Наприклад, на основі даних про

паливо та енергоспоживання можна розрахувати оптимальні маршрути або вирішити, як ефективніше використовувати ресурси в ході місії.

Безпека польотів: Телеметрія важлива для безпеки польотів БПЛА. Вона надає інформацію про навколишнє середовище, включаючи метеорологічні умови, та дозволяє приймати рішення щодо безпеки польоту в реальному часі.

Оперативне прийняття рішень: Збір та передача даних телеметрії дозволяє операторам миттєво реагувати на зміни середовища чи умов польоту, що є важливим для ефективного виконання місій, особливо в динамічних та складних сценаріях.

Навчання та вдосконалення: Аналіз даних телеметрії може бути використаний для покращення продуктивності БПЛА, оптимізації алгоритмів керування та навчання систем на основі досвіду попередніх виконаних місій.

Зважаючи на певні технічні можливості, літаки в даний час можуть бути керовані за допомогою автопілота, навіть коли відсутній зв'язок між бортом літального апарату (ЛА) і наземним станційним комплексом (НСК). У такому випадку виконання польотних завдань відбувається в автономному режимі, але це не означає, що командно-телеметрична радіолінія зв'язку може бути повністю виключена із складу БПЛА. З урахуванням складності та вартості системи важливий постійний контроль за станом ЛА в повітрі. Також іноді потрібно вносити корективи у параметри польоту БПЛА. Поміж цього висувуються вимоги до відмовостійкості обладнання БПЛА, яке здійснює навігацію та управління літаками, зокрема для режимів ручної посадки, і для сервоприводів і системи автоматичного порятунку (САП). Це обладнання, яке входить до першої групи класифікації, визначає надійність всього комплексу БПЛА. Несправність будь-якого елемента обладнання першої групи призводить до негайного припинення виконання льотного завдання та повернення ЛА на

базу. У випадках, коли це неможливо, спрацьовує САП і відбувається аварійний викид парашута.

Склад системи наземного керування передбачає застосування багатокомпонентного комплексних рішень, основні параметри яких позначено нижче – Таблиця 1.1.

Таблиця 1.3.1 – Аспекти роботи системи наземного керування БПЛА

Аспект	Зміст аспекту
Планування та маршрутизація	Визначення маршруту польоту БПЛА з урахуванням вимог місії. Планування оптимальних шляхів для досягнення конкретних цілей.
Запуск і посадка	Керування процесом старту та посадки БПЛА та контроль безпеки цих операцій.
Навігація і керування польотом	Забезпечення точності навігації БПЛА та виправлення маршруту або керування польотом у режимі реального часу.
Збір та обробка даних	Запуск і прийом сигналів з сенсорів на БПЛА з подальшою обробкою і аналізом отриманих віддалених даних.
Керування системами	Моніторинг стану та діагностика систем БПЛА та здійснення корекцій для уникнення можливих проблем.
Взаємодія з оператором	Забезпечення можливості взаємодії оператора з БПЛА через відображення важливої інформації з наданням засобів управління та введення команд.
Безпека та аварійне керування	Виявлення та реагування на аварійні ситуації із забезпеченням безпеки використання БПЛА в наземній зоні.
Комунікація	Забезпечення надійного та безперервного зв'язку з БПЛА із можливістю взаємодією з іншими комунікаційними системами.

Перелічені аспекти (Таблиця 1.1.) узгоджено функціонують у системі керування мережними ресурсами та сервісами для забезпечення ефективності, стабільності та безпеки мережевого середовища.

Система керування БПЛА складається з ряду ключових компонентів, які спільно працюють для ефективної роботи літального апарату. Компоненти представлено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.3.2 – Опис складових частин системи наземного керування БПЛА

Складові системи керування БПЛА	Функції
Керувальний пульт (консоль)	Високоточний інтерфейс для оператора керувати БПЛА. Відображення важливої інформації, такої як стан системи, параметри політного завдання та відомості про навколишнє середовище.
Комунікаційна система	Трансляційна антена для надання стабільного та надійного зв'язку з БПЛА. Компоненти для обробки та передачі даних, забезпечення зв'язку з іншими системами..
Навігаційна система	GPS-приймач для визначення точного місцезнаходження БПЛА та станції управління. Інші сенсори для визначення орієнтації та параметрів оточуючого середовища.
Живлення та батареї	Пріоритетизація трафіку відповідно до вимог користувачів та типів послуг. Моніторинг та контроль затримок, джиттеру та інших параметрів QoS.

1.4. Особливості застосування та проблеми безпілотних систем

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) відіграють значущу роль у сучасному світі, проте їхнє впровадження також супроводжується рядом системних проблем і викликів. Типові серед них представлено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3.3 – Опис можливих проблем роботи БПЛА

Проблема	Опис
Безпека та приватність	Можливість зловживань та порушення приватності через неправомірний збір даних.
Регулювання та легісляція	Відсталість правових рамок у контексті швидкого розвитку технологій БПЛА.
Технічні виклики	Обмеження у тривалості польоту, дальності зв'язку та вантажопідйому.
Захист від хакерських атак	Ризик кібератак на системи управління та збору інформації.
Етичні та соціокультурні	Етичні питання, такі як відповідальність за штучний інтелект та вплив на робочі місця.
Супутниковий рух	Обмеження використання БПЛА в низьколітньому повітрі через щільний супутниковий рух.
Навколишнє середовище	Можливість виникнення екологічних проблем внаслідок великого використання БПЛА.

Галузь виробництва безпілотних літальних апаратів (БПЛА) знаходиться на етапі активного зростання у життєвому циклі. В теперішній момент оборонний сектор залишається основним ринком для БПЛА і ймовірно залишатиметься таким в майбутньому. Хоча більшість БПЛА використовується для бойових завдань, таких як винищення повітряних цілей, стелс-місії, операції з авіаносцями, спостереження та військовий зв'язок, спостерігається постійне збільшення їхнього використання у цивільних і комерційних сферах.

Виробники наразі активно займаються розробкою БПЛА для прикордонних служб, гуманітарної допомоги, пошуку та порятунку, наукових досліджень, метеорології, пожежогасіння, точного землеробства,

геодезії інфраструктури, поліцейського спостереження, доставки вантажів та передачі сигналів зв'язку.

Виробництво БПЛА потребує значної кількості електронних компонентів для запису та передачі даних, а також для виконання функцій авіоніки. Антени виступають однією з ключових електронних складових будь-якого БПЛА, оскільки вони дозволяють транспортному засобу передавати та отримувати інформацію від інших систем та осіб на землі.

Навіть при суворому регулюванні галузі, починаючи з 2016 року, більше компаній отримали можливість експлуатувати комерційні безпілотники після виходу нових менш обмежувальних правил від Федерального управління авіації (FAA). Дослідження, такі як аналіз IBIS World, підтверджують, що завершення розробки правил FAA в наступні кілька років призведе до зростання попиту на продукцію в індустрії БПЛА.

Використання безпілотних літальних апаратів, відомих як "дрони", володіє великим потенціалом для різноманітних нових застосувань, таких як забезпечення зв'язку на вимогу, надання послуг для громадської безпеки або відновлення після пошкодження інфраструктури зв'язку. Важливо відзначити, що майже будь-яке використання дронів передбачає стійкий зв'язок з наземним центром управління. Однак ця функція зазвичай додається на пізніших етапах проєктування і вимагає компактних конструкцій антен.

Головною метою сучасного дизайну антен для БПЛА є створення нового електрично компактного антенного елемента, що ґрунтується на топології тривимірної складеної петлі. Цей елемент може легко розташовуватися всередині планера БПЛА, забезпечуючи ефективну ізоляцію від джерел шуму дронів.

Під час проєктування важливо зосередити увагу на конструкції літака, який враховує традиційну аеродинамічну схему з одним прямим

крилом та класичним хвостовим оперенням. Необхідно пам'ятати, що така конструкція повинна бути застосовною і до гвинтокрилих апаратів.

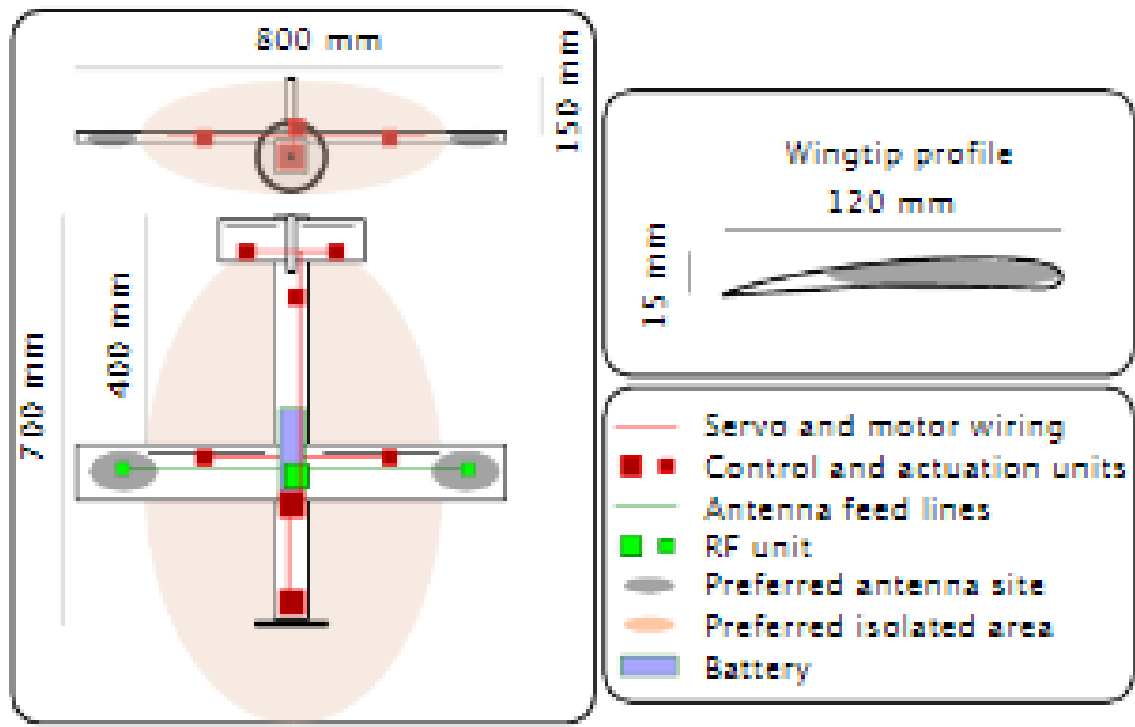


Рис.1.3. Схема традиційного безпілотною «планера»

Основні вимоги, обрані для розробленої системи, зведені до наступного: –ізотропна діаграма діаграми випромінювання в дальньому полі навколо літака;

- розв'язка не менше -20 дБ від електрики всередині корпусу літака;
- монтаж ззовні літака (для уникання проблем з ЕМС);
- Малі розміри та вага;
- Смуга робочих частот: 400-500 МГц;
- Ефективність випромінювання не менше 95% (для максимального покриття).

Для деяких застосувань безпілотників надійний зв'язок — основна ціль роботи(навіть якщо сам дрон автоматизований).

Наприклад, через стихійне лихо територія може залишитися без зв'язку. Щоб вирішити цю проблему, можна розглянути можливість ретрансляції

стільникового зв'язку або автономної базової станції (BS). Однак це завжди дуже дорого, і, отже, використання БПЛА як точка релейного зв'язку може бути економічно вигідною.

Основна проблема будь-якого зв'язку «земля-повітря» може бути формалізована в тому, що більшість антен, які використовуються сьогодні, не всеспрямовані (по ДС), а отже, їх посилення може змінюватися в залежності від орієнтації БПЛА щодо оператора.

Необхідно, щоб беспілотний літальний апарат (БПЛА) мав ізотропну антену для забезпечення сталого рівня радіосигналу незалежно від орієнтації. Додатково, кількість використовуваних антен повинна бути мінімальною, щоб зменшити вагу і не впливати на аеродинаміку та швидкість літака.

Звісно, просте розміщення ізотропної антени на апараті не вирішує проблеми, оскільки корпус літака не є повністю прозорим для радіосигналів. У зв'язку з обмеженими розмірами типового БПЛА порівняно зі звичайною авіацією, вимоги до конструкції антени стають вкрай жорсткими, оскільки вона також повинна вміщатися всередині корпусу БПЛА для досягнення найкращих аеродинамічних характеристик.

Ізотропна діаграма випромінювання є ключовим елементом для постійного та надійного керування літаком. Запит на ізоляцію постає з того, що більшість електродвигунів авіоніки є щітковими, що відомі великим рівнем шуму при комутації. Аналогічно, блоки керування використовують широкосмугову імпульсну модуляцію для регулювання потужності, що подається на первинні двигуни, які, у свою чергу, використовують MOSFET-перемикачі, і всі вони створюють високочастотні гармоніки шуму.

Додатково, довгі проводи і металеві конструктивні елементи, такі як шасі літака, можуть заважати роботі антен, якщо їх не правильно обслуговувати. З іншого боку, елементи з вуглецевого волокна є

ефективними поглиначами радіочастот на певних частотах. Тому важливо ізолювати літак від антени загалом, щоб спростити її конструкцію.

Як наслідок цих вимог, можна легко визначити оптимальні місця для розташування антени. Найбільш підходящими є кінці крил, позначені сірим кольором на рисунку 1.3.1.

Кінці крил знаходяться далеко від більшості двигунів і, як правило, виготовлені з пластику (що робить їх прозорими для радіохвиль вибраної частоти). Крім того, вони зазвичай мають порожню структуру, оскільки їх конструкційне навантаження дуже обмежене.

Основним обмеженням є висота кінчика крила, яка для більшості БПЛА споживчого класу становить приблизно 15 мм. Однак у малих планерів і БПЛА, навіть тонкі дротяні антени можуть викликати значний аеродинамічний опір, тому їх слід розташовувати всередині корпусу літака.

З урахуванням запропонованого використання, антенна система повинна забезпечувати однорідність покриття в горизонтальній та вертикальній площині (підсилення 2 дБ розглядається як нормальне явище). З точки зору ефективності та вартості, коефіцієнт стоячої хвилі (КСХ) для антени не повинен перевищувати 3, і антена повинна бути налаштована на імпеданс 50 Ом для оптимальної передачі та прийому.

Під час подальшого проєктування слід звертати увагу на геометрію кінця крила (торця), оскільки наша конструкція обмежена розмірами антени.

2. ДИПОЛЬНІ АНТЕНИ ДІАПАЗОНУ 400–500 МГц

У цьому розділі виконаємо аналіз існуючих дипольних антен з точки зору придатності їх характеристик для застосування на борту БПЛА. При проведенні аналізу будемо розглядати схемотехнічні та конструктивні рішення таких дипольних антен, як Long 433MHz rubber 2-3dbi, Baofeng UV-10R, SMA 433 MHz.

2.1. Дипольна антена Long 433MHz rubber 2-3dbi

Дипольну антену даного типу представлено на рис. 2.1.



Рисунок 2.1. — Зовнішній вигляд антени Long 433MHz rubber 2-3dbi.

Характеристики дипольної антени Long 433MHz rubber 2-3dbi, які декларує виробник:

- Частотний діапазон: 433 МГц (400-450 МГц по КСХ<2)
- Роз'єм підключення: SMA-male
- Матеріал- скловолокно, кевлар, полікарбонат, поліетилен
- Коефіцієнт підсилення- 2..3 дБі
- Поляризація-лінійна(вертикальна)
- Максимальна споживана потужність : 5 Вт

Застосування антени: широко використовується для бездротових передавачів і бездротових приймачів, таких як автоматичне зчитування лічильників (бездротовий термінал зчитування лічильників), мережі WLAN.

Недоліком представленої антени є низька відповідність заявленим характеристикам та відхилення реальної ДС від ідеальної тороїдної форми. Результати вимірювання реальних залежностей КСХ від частоти для антени Long 433MHz rubber 2-3dbi показано на рис. 2.2. Як видно, реальна робоча смуга частот антени за рівнем КСХ < 3 не перевищує 20 МГц.

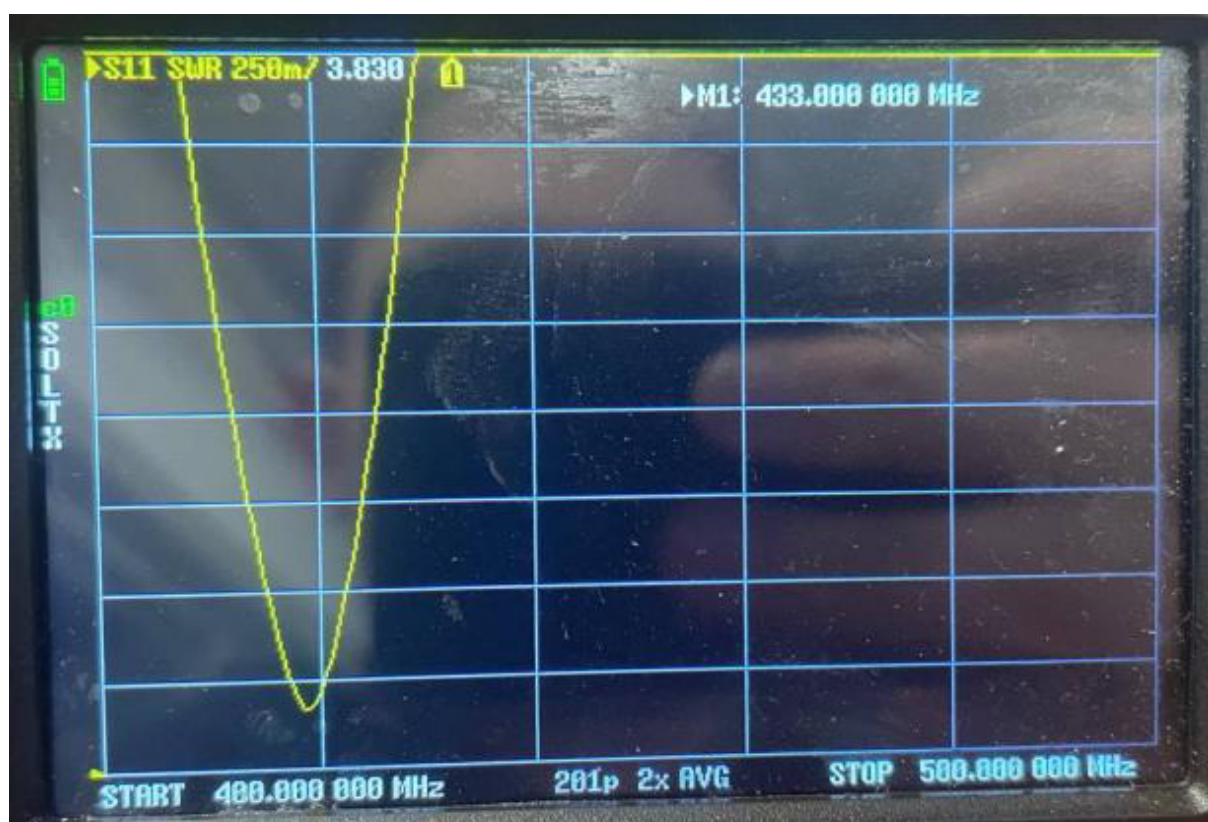


Рисунок 2.2. — Залежність КСХ антени Long 433MHz 2-3dbi від частоти.

2.2. Антена Baofeng UV-10R

Дипольну антену даного типу представлено на рис. 2.3.



Рисунок 2.3. — Зовнішній вигляд антени Baofeng UV-10R.

Технічні характеристики антени є такими:

- Частотний діапазон: 136–174 МГц (2 м) / 400–520 МГц (70 см)
- Максимальна потужність: 10 Вт
- Опір- 50 Ом
- Довжина: 16,5 см
- Поляризація лінійна(вертикальна)

Особливості представленої антени:

Антенa підходить до більшості портативних радіостанцій таких як — Baofeng UV-5R всі версії, Baofeng BF-888S, Baofeng UV-82, VOYAGER AIR SOFT, Voyager Combat, Voyager pro і безліч інших моделей рацій з подібним роз'ємом. Не дивлячись на свою невелику вартість, дуже ефективна на обох діапазонах. Антена гнучка і обгумована.

Результати вимірювання реальних залежностей КСХ від частоти для антени Baofeng UV-10R показано на рис. 2.4. Як видно, реальна робоча смуга частот антени за рівнем КСХ < 3 в діапазоні від 400 до 500 МГц становить близько 80 МГц.



Рисунок 2.4. — Залежність КСХ антени Baofeng UV-10R від частоти.

2.3. Антена SMA 433 MHz



Рисунок 2.5. — Зовнішній вигляд антени SMA 433MHz.

Характеристики антени:

- Діапазон робочих частот 433 МГц
- КСХ на робочій частоті 1.5
- Вихідна потужність 5 Вт
- Коефіцієнт підсилення 3 дБі
- Поляризація-лінійна(вертикальна)

Представлена антена із гумовим обтікачем призначена для бездротових систем передачі даних на частоті 433 МГц.

Серед особливостей антени можна виділити особливості:

Низький рівень КСХ антени на робочій частоті, компактний розмір, вдала конструкція, легкий монтаж, стабільна продуктивність з хорошою антивібраційною здатністю та стійкістю до фізичного зношування.

Результати вимірювання реальної залежностей КСХ від частоти для антени SMA 433MHz показано на рис. 2.6. Як видно, реальна робоча смуга частот антени за рівнем КСХ < 3 в діапазоні від 400 до 500 МГц становить близько 40 МГц.



Рисунок 2.6. — Залежність КСХ антени SMA 433MHz від частоти.

Таким чином, у результаті проведення аналізу було встановлено:

- Найчастіше антени діапазону 400–500 МГц виконують у вигляді диполів із коаксіальним конектором живлення, який може потребувати додаткового симетруючого узгоджувального пристрою у вигляді чвертьхвильового стакану.
- Дипольні антени відносно вузьку робочу до 10% та коефіцієнт підсилення на рівні 2–3 дБ відносно ізотропного випромінювача.
- Всі з розглянутих варіантів мають лінійну поляризацію.
- Варіант антени UV-10R має найвищу заявлену потужність 10 Вт.

2.4. Висновки за розділом

У розділі розглянуто проблеми, які наявні у доступних на ринку дипольних антен із робочою частотою близько 433 МГц. Аналіз цих антен показав, що існує декілька аспектів, які впливають на якість та ефективність цих антен у певних застосуваннях.

Однією з ключових проблем є недостатня якість виготовлення та стандартизації, що може призводити до непередбачуваних характеристик та обмеження функціональності. Часто брак адекватної документації та інформації щодо характеристик ускладнює вибір правильної антени для конкретного застосування.

Зазначимо також, що в контексті використання антен на робочій частоті 433 МГц важливо враховувати вплив навколишнього оточення та можливих електромагнітних перешкод, що можуть впливати на ефективність функціонування дипольної антени та на її характеристики. Оптимізація та налаштування антени, а також вивчення впливу факторів оточення є ключовими аспектами для подолання цих труднощів.

Загальним висновком є те, що для успішного використання наявних на ринку антен із частотою прийому 433 МГц необхідно враховувати не лише технічні характеристики, але й якість виготовлення, сертифікацію та інші аспекти. Дальші дослідження та розробка можуть сприяти вирішенню цих проблем і покращенню надійності та ефективності дипольних антен на даній частоті.

Таким чином, основними недоліками даних технічних рішень є невідповідність реальних характеристик заявленим, а також вузька робоча смуга частот (20–40 МГц), що для необхідних умов передачі ППРЧ зі смугою 100 МГц не підходить. Також до очевидних недоліків даних рішень можна віднести низьку технологічність (параметри антен дуже відрізняються з різних партій), високий рівень відбиття обтікачів та велику довжину деяких антен.

На основі проведеного огляду і аналізу існуючих технічних розробок дипольних антен діапазону 400–500 МГц можна зробити наступні висновки:

1. Дипольні антени найпростішої коаксіально-дротової конструкції не здатні забезпечувати необхідний рівень $K_{CX} \leq 3$ системи передачі даних БПЛА в межах всього робочого діапазону частот.
2. Доцільно розглянути альтернативну технологію побудови легкої компактної антени дипольного типу на основі смужкової або мікросмужкової лінії передачі.
3. За критичної потреби покращення узгодження лінії передачі антени та зменшення резонансів антенної системи можна розглянути рішення використовувати атенюатор на 1–3 дБ потужністю до 10 Вт .
4. За необхідності симетрування живлення антени в подальшому можна використати узгоджувальний симетричний пристрій (балун).

3. РОЗРОБКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ АНТЕННОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ВІДЕОДАНИХ ДЛЯ БПЛА

3.1. Проєктування приймальної антени у ПЗ «CST MICROWAVE STUDIO»

Приймальну антену системи передачі даних БПЛА розробимо на основі технології мікросміжкових ліній передачі. Зразок конструкції дипольної антени такого типу показано на рис. 3.1.



Рисунок 3.1. — Дипольна антена, виконана за технологією мікросмужкових ліній передачі.

Якщо точка живлення таких антен є замкненою, то вони можуть резонувати на певній частоті, аналогічно гітарній струні. Використання антени на близькій до цієї частоти має переваги з точки зору опору (імпедансу) точки живлення а, отже, коефіцієнта стоячої хвилі, тому довжина антени визначається необхідною довжиною хвилі (або частотою) роботи. Найчастіше використовується півхвильовий диполь із живленням у центральній точці провідника, який має довжину, рівну половині довжини хвилі на центральній частоті (рис. 3.2.).

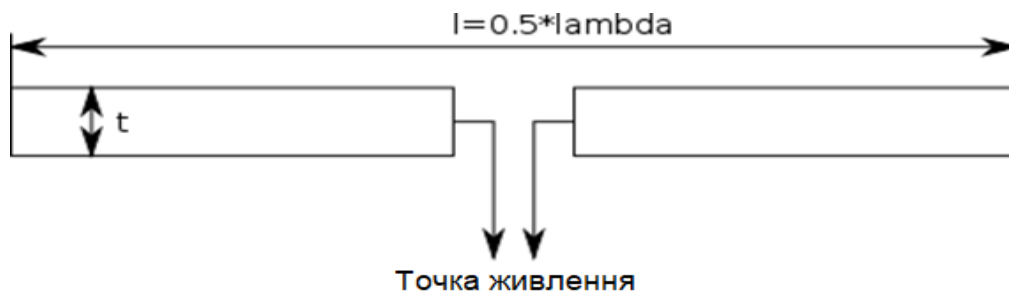


Рисунок 3.2. — Еквівалентна схема диполя та розміщення точки живлення.

Діаграма спрямованості півхвильового диполя (та більшості інших антен дипольного типу) має максимум, розміщений перпендикулярно до осі провідника і спадає до нуля в осьовому напрямку. У Н-площині ДС антени є колом. Таким чином, дипольна антена відноситься до антен всеспрямованого типу (за азимутом) при вертикальному розташуванні осі провідника. Одночасно із цим, випромінювання антени в Е-площині є слабо спрямованим (при її горизонтальному розташуванні або якщо розглядати ДС за кутом місця). Переріз ДС півхвильового диполя в Е-площині показано на рис. 3.3.

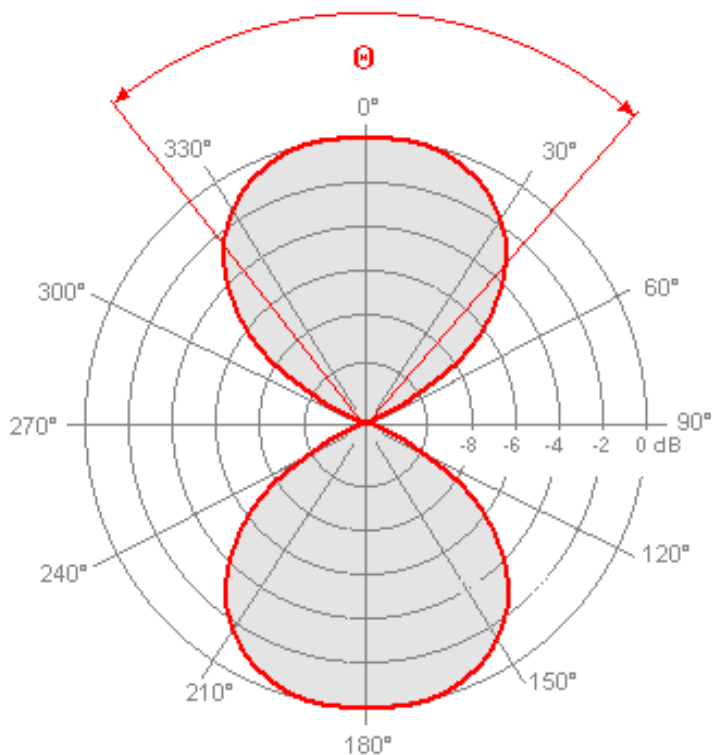


Рисунок 3.3. — ДС диполя у вертикальній площині (Е-площині).

Для облегшення процесу моделювання та оптимізації електродинамічних параметрів початкова модель випромінюючого елемента була розроблена у ПЗ «SolidWorks». Металізацію показано на рис. 3.4.

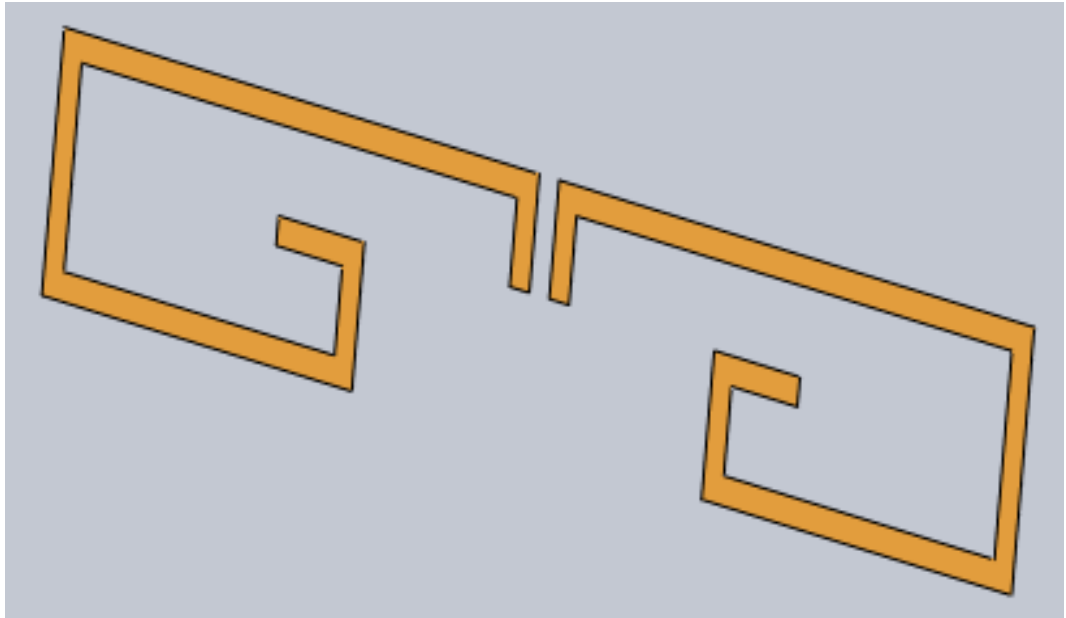


Рисунок 3.4. — Вигляд металізації приймальної антени БПЛА.

Після моделювання структура була експортована в формат STEP для інтеграції у ПЗ «CST STUDIO», вибравши після цього тип провіднику «PEC» (аналог міді).

Діелектрична основа (підкладка) для проектування антени буде матеріал текстоліт FR-4 free loss ($\epsilon = 4.3$).

Його основні характеристики показані нижче:

Material	FR-4 (loss free)
Type	Normal
Epsilon	4.3
Mu	1
Thermal cond.	0.3 [W/K/m]

Для створення моделі підкладки антени спершу було накреслено прямокутник розмірами 147 мм x 27 мм та товщиною 1.465 мм, матеріалом

якого обрано текстоліт з указаними параметрами. Підкладку з указаними розмірами показано на рис. 3.5.

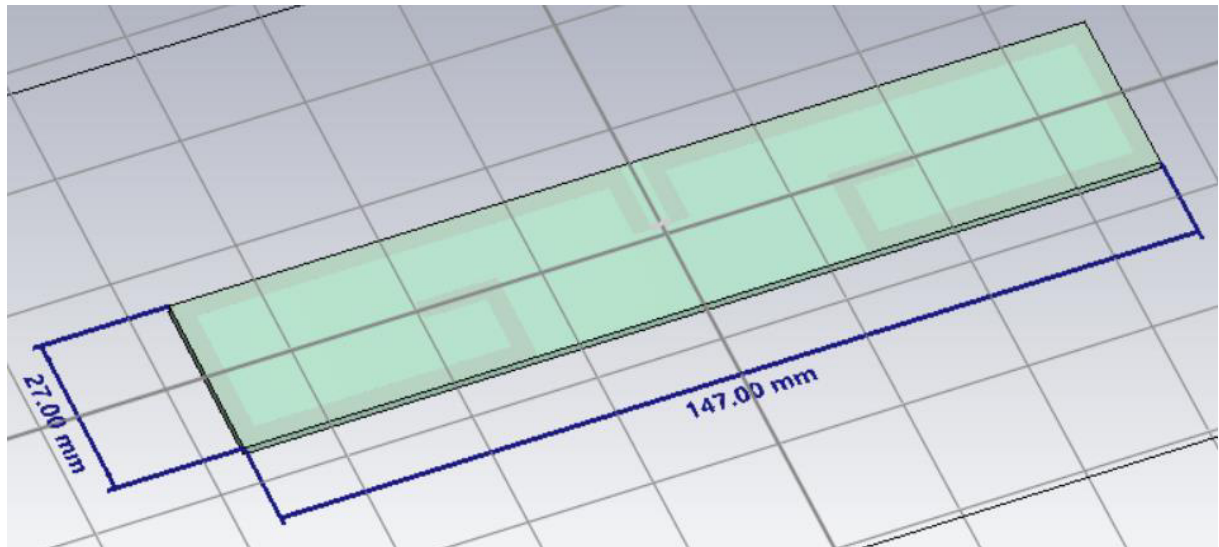


Рисунок 3.5. — Структура діелектричної підкладки.

Товщина експортованої металізації збереглась, про що свідчить вікно програми CST Microwave Studio, а саме вона становить 0.035 мм:

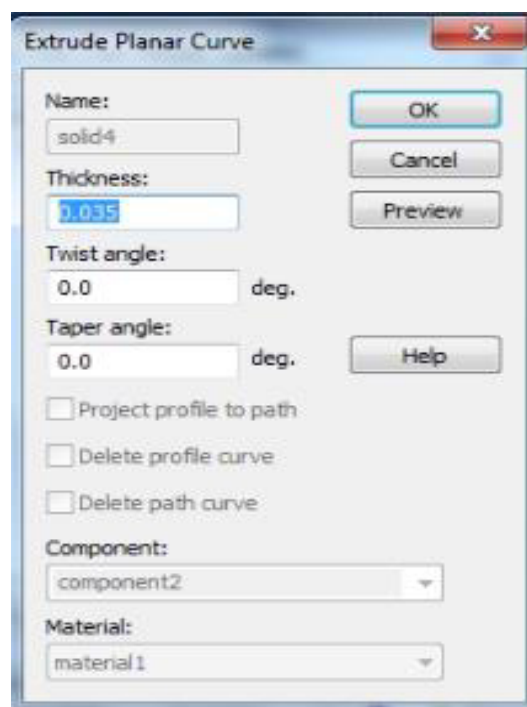


Рисунок 3.6. — Встановлення потрібної товщини металізації провідників.

Фінальною ітерацією створення моделі та підготовки до розрахунків є додавання фізичної системи живлення у вигляді підключення певного типу живлення (порту). У нашому випадку є доцільним використання інструменту «Discrete Port». Розташовуємо лінію напруги дискретного порту живлення симетрично між внутрішніми кутами провідників двох пліч диполя, як показано на рис. 3.7.

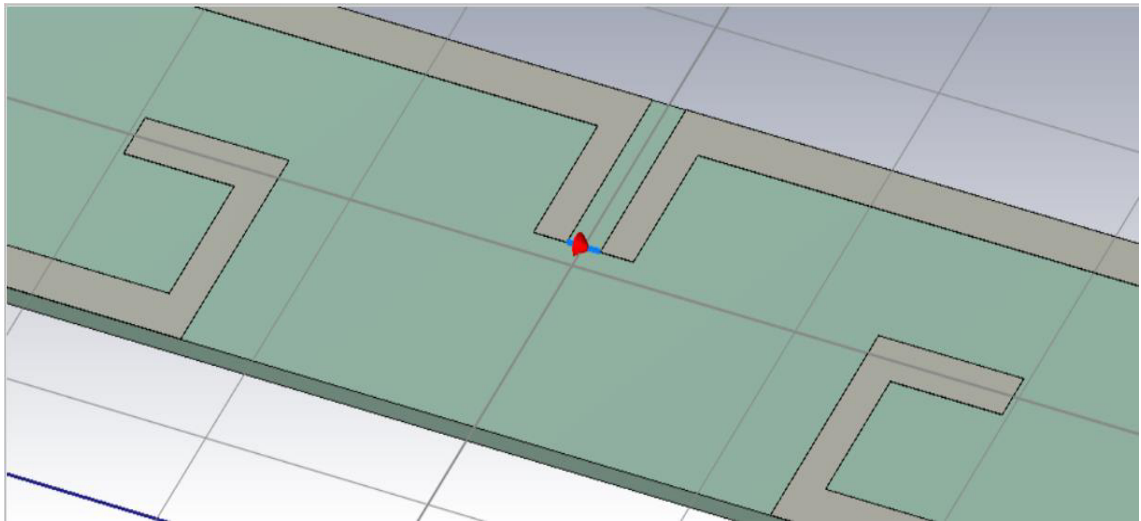


Рисунок 3.7. — Додавання дискретного порту живлення до структури.

Після завершення числової симуляції проаналізуємо графіки 2 параметрів: модуля коефіцієнта відбиття $S_{1,1}$ та модуля вхідного комплексного опору антени. Ці графіки показано на рис. 3.8 і 3.9, відповідно.

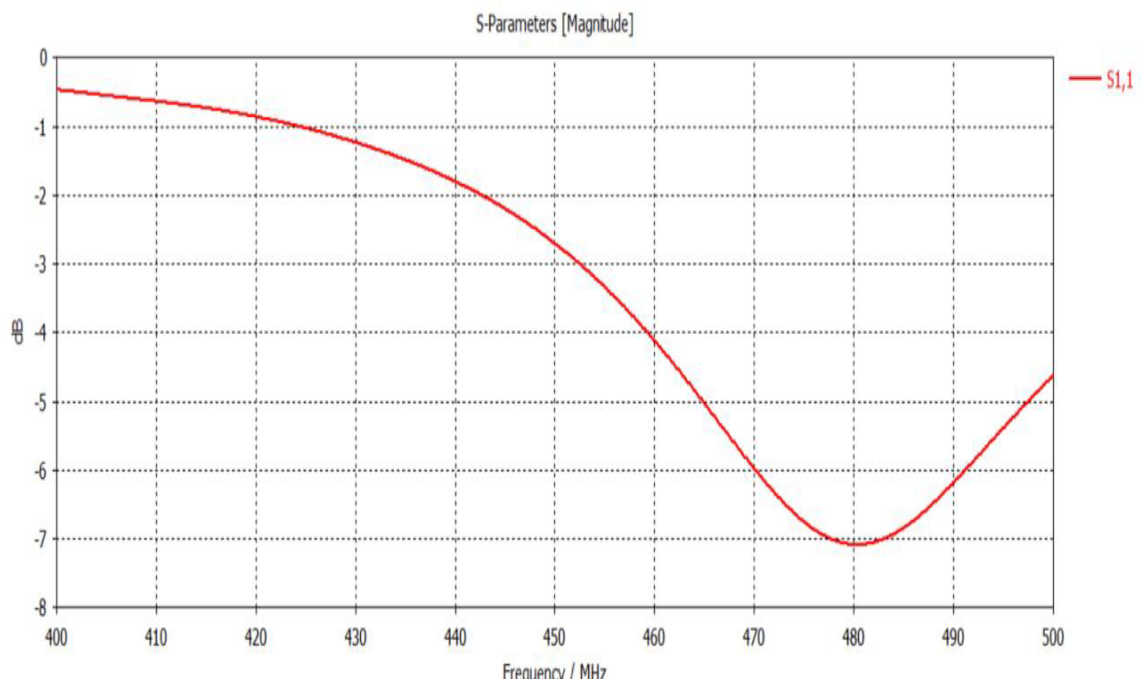


Рисунок 3.8. — Графік залежності параметру $S_{1,1}$ від частоти.

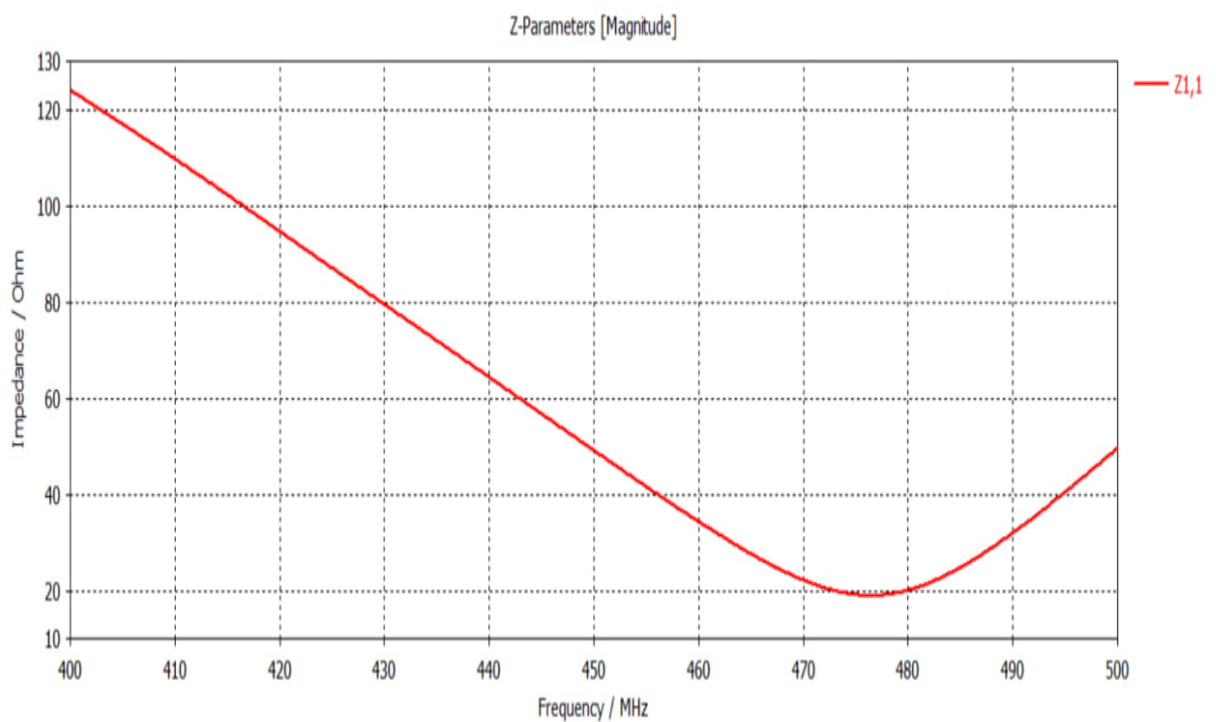


Рисунок 3.9. — Графік залежності модуля вхідного комплексного опору від частоти.

Побудуємо ДС антени у полярній системі координат (для Е-площини) та у вигляді 3D фігури:

$F = 400 \text{ МГц}$:

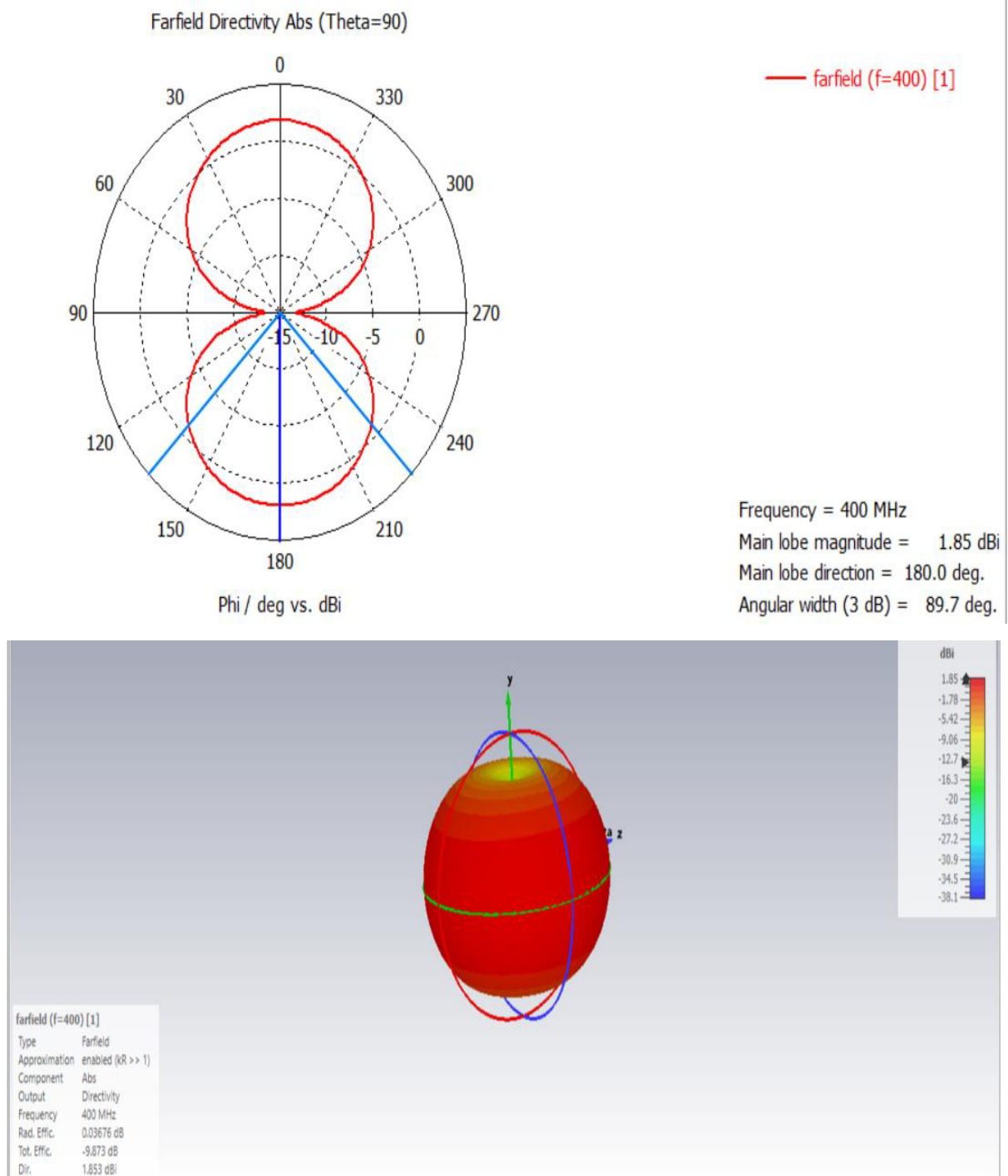


Рисунок 3.10. — ДС у полярній системі координат та у вигляді 3D фігури для частоти 400 МГц.

Як бачимо на графіках, на частоті 400 МГц підсилення антени рівне 1.85 дБі, кут розкриття головної пелюстки за рівнем -3 дБ становить 89.7° .

$F = 450 \text{ МГц}$:

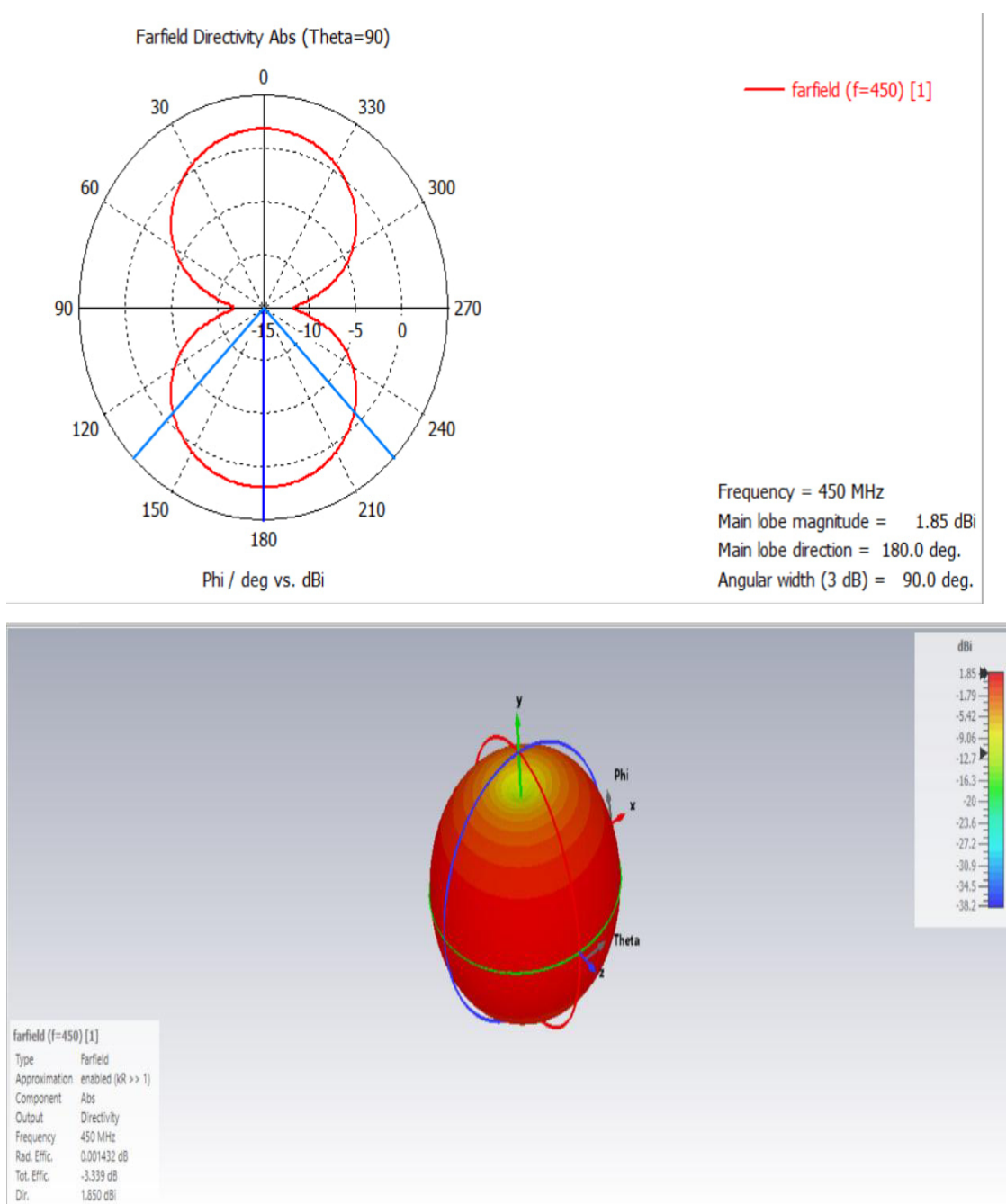


Рисунок 3.10. — ДС у полярній системі координат та у вигляді 3D фігури для частоти 450 МГц.

Як бачимо на графіках, на частоті 450 МГц підсилення антени рівне 1.85 дБі, кут розкриття головної пелюстки за рівнем -3 дБ становить 90.0° .

F=500 МГц:

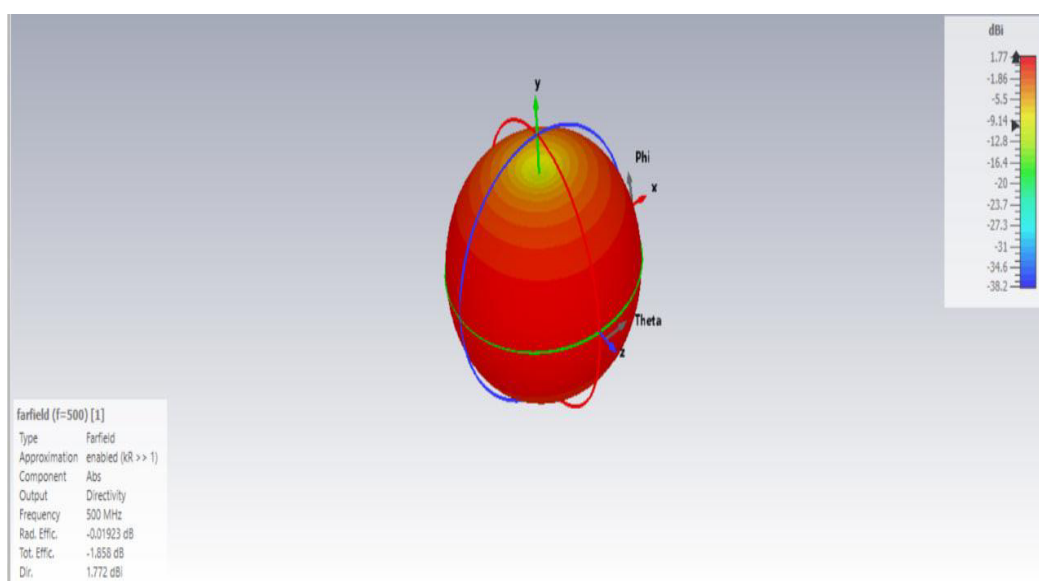
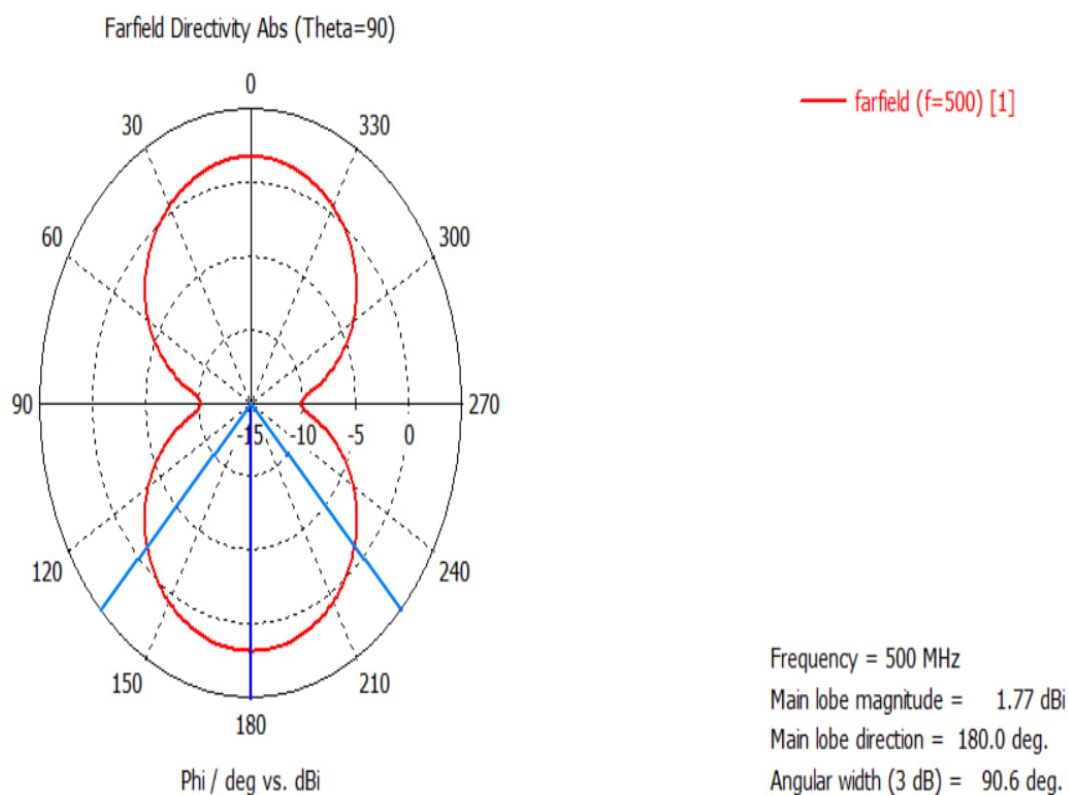


Рисунок 3.11. — ДС у полярній системі координат та у вигляді 3D фігури для частоти 500 МГц.

Ширина ДС на частоті 500 МГц по рівню -3 дБ збільшилась на 0.6° , що призвело до незначного зниження коефіцієнта підсилення антени до значення 1.77 дБі.

ДС антени у горизонтальній площині (Н-площині) для 3 розглянутих частот показано на рис. 3.12. Як видно, антена формує всеспрямовану ДС.

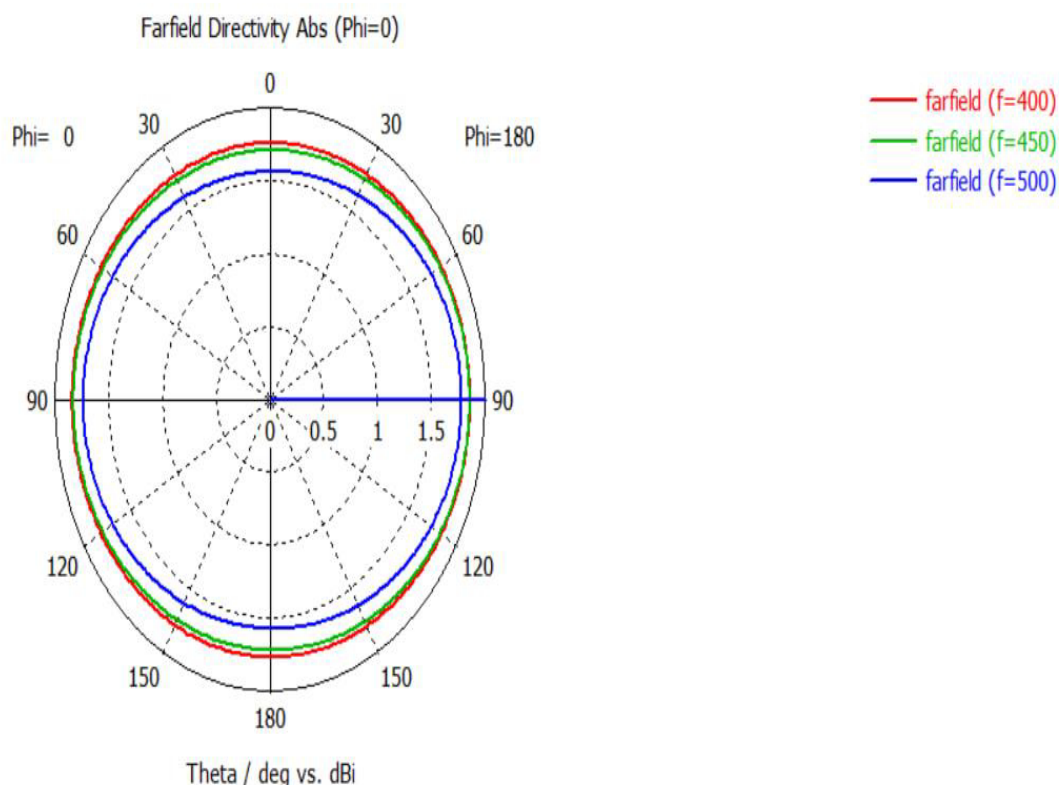
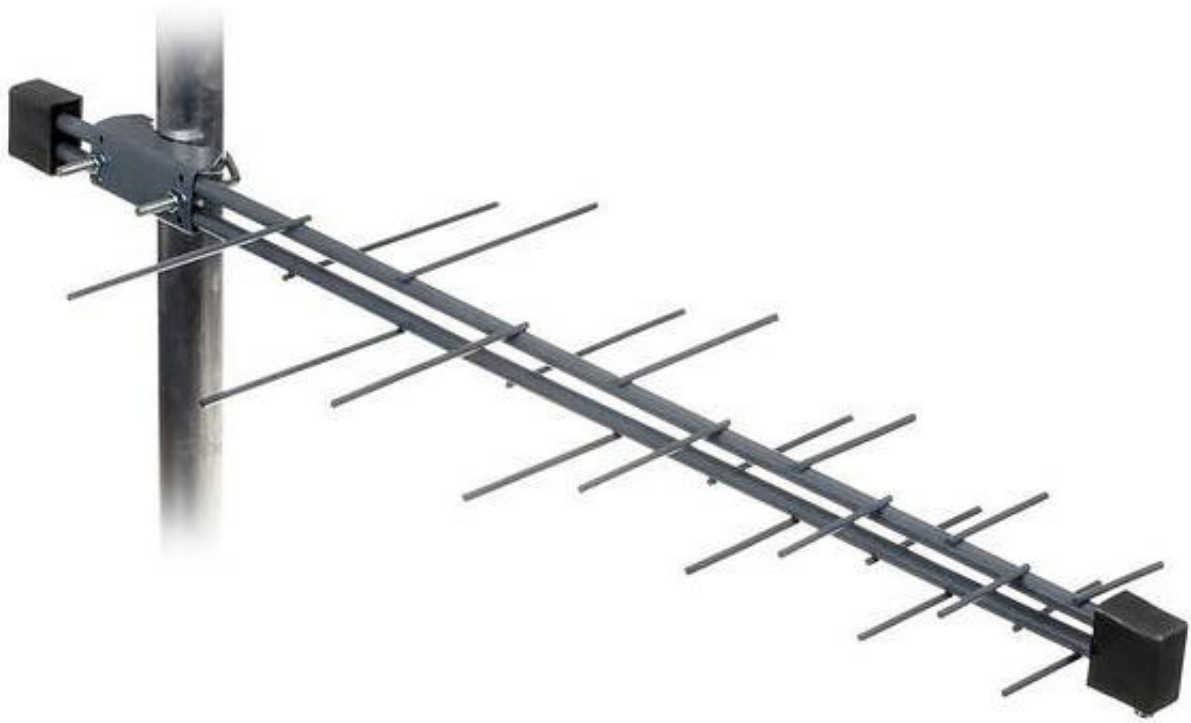


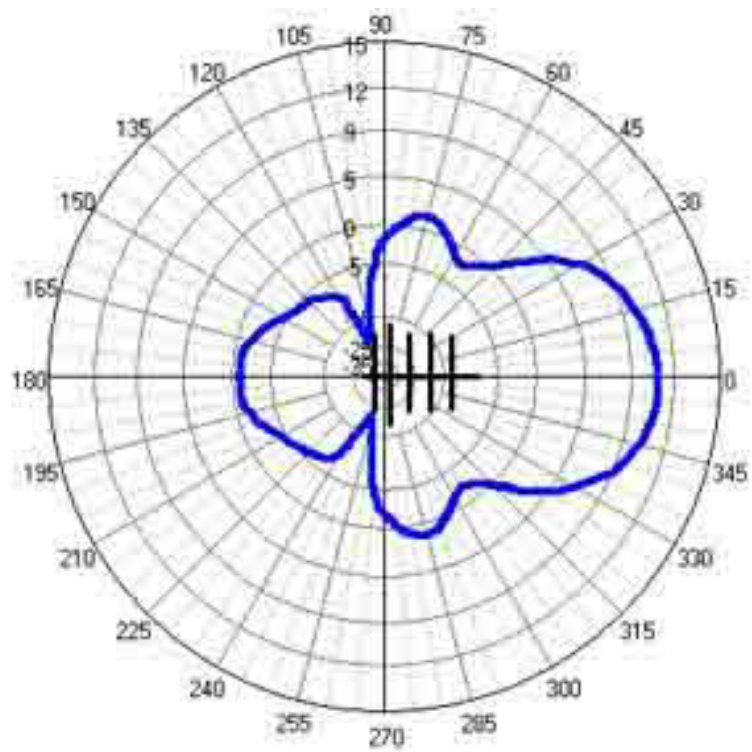
Рисунок 3.12. — ДС у Н-площині на частотах 400,450,500 МГц.

3.2. Передавальна логоперіодична антена, принцип її роботи та розрахунок конструкції

Для випромінювання електромагнітних хвиль із середнім або високим коефіцієнтом підсилення в діапазоні 400–500 МГц найкраще застосовувати вібраторні антени. Це є високочастотні антени, які використовуються у дециметровому або сантиметровому діапазоні частот, залежно від її конструкції. До цього виду антен відносяться одновібраторні, багатовібраторні та логоперіодичні антени. Загальний вигляд логоперіодичної антени та її ДС у Е-площині показано на рис. 3.13.



а)



б)

Рисунок 3.13. — Загальний вигляд логоперіодичної антени (а) та її ДС у Е-площині (б).

Антенa логоперіодичного типу, також відома як логарифмічно-періодична дипольна антенa (LPDA), представляє собою широкосмуговий пристрій із вузькою головною пелюсткою ДС. Особливості цієї антени, такі як характеристики імпедансу та випромінювання, систематично повторюються відповідно до логарифмічної функції частоти збуджуючих коливань антени. LPDA складається з решіток і включає систему живлення, яка з'єднується витом дwoжильною лінією. Дипольні елементи мають різну довжину, що забезпечує широкосмугові властивості антени.

У режимі передачі хвиля спочатку поширюється вздовж антени практично без випромінювання. Коли хвиля досягає диполів, чия довжина невелика порівняно з половиною довжини хвилі, ці диполі діють як ємнісне навантаження. Випромінювання починається, коли збуджуюча коливання досягає диполів, чия довжина становить приблизно одну третину довжини хвилі. Процес випромінювання підтримується кількома наступними диполями і завершується на диполі, довжина якого дорівнює приблизно половині довжини хвилі. Додаткові, більш довгі диполі не вносять суттєвого внеску у випромінювання.

Коефіцієнт підсилення такої антени може досягати 10 дБ при дуже низькому рівні випромінювання в задній напрямок (F/B) (до 35 дБ). Вхідний опір коливається від 50 до 120 Ом в залежності від конструкції.

Електричні характеристики цієї антени мають повторювані значення, зміни їхнього характеру відповідають логарифмічній функції частоти. Періодичні зміни таких параметрів, як коефіцієнт підсилення та вхідний опір, можуть бути настільки зменшені завдяки вибору конструктивних елементів антени, що їх можна вважати практично постійними в межах вимаганого діапазону частот.

Для логарифмічної структури полотна антени важливо зберігати однакове відношення між довжинами сусідніх вібраторів та відстанями від них до вершини структури, що називається періодом структури (τ).

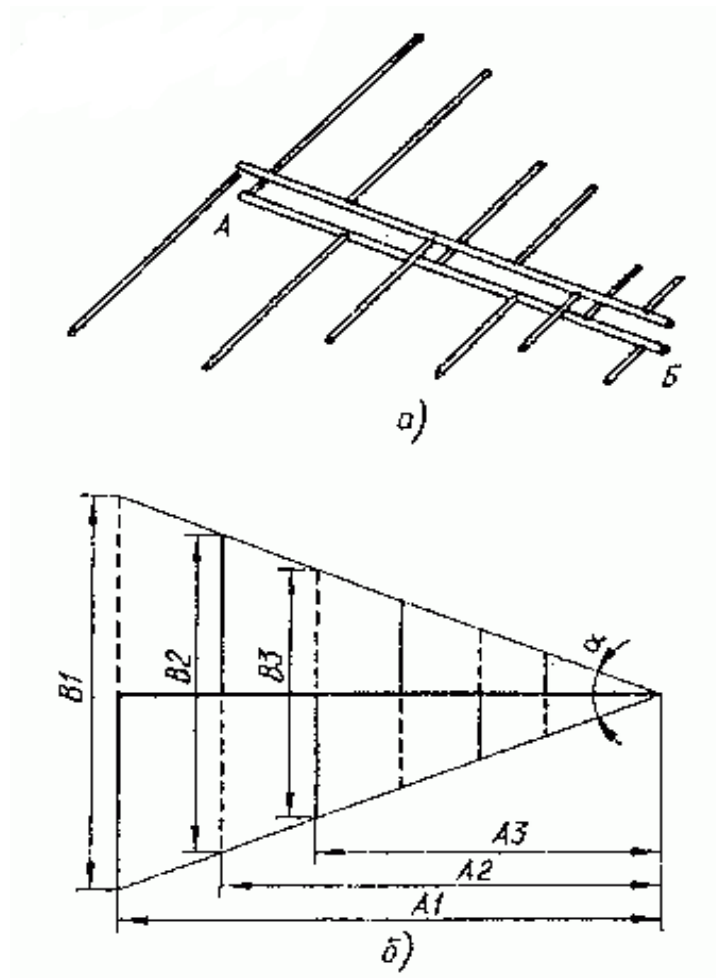


Рисунок 3.14. — Загальний вигляд конструкції логоперіодичної антени(а) та геометричні параметри її вібраторів (б).

Отже, розміри вібраторів і їхні відстані від вершини трикутника зменшуються за законом спадної геометричної прогресії із знаменником, рівним τ . Характеристики антени визначаються періодом структури та кутом при вершині описаного трикутника, який пов'язаний з параметром антени - відносним інтервалом. Зменшення кута α (і збільшення періоду структури τ , який завжди залишається менше одиниці), призводить до збільшення коефіцієнта посилення антени та зменшення рівнів задньої та бічної діаграми напрямку.

Однак це також призводить до збільшення кількості вібраторів і довжини антени. Тому при виборі періоду структури важливо знайти компроміс: значення від 0,8 до 0,98 є прийнятним.

3.3. Проектування передавальної антени у ПЗ «MMANA GAL»

Маючи основні довжини вібраторів, відстань до КЗ перемички, потрібну смугу частот та коефіцієнт підсилення, змодельємо структуру логоперіодичної антени геометрично, використовуючи програмний засіб «MMANA GAL».

Розділ «Геометрія»:

Имя	Logo Periodic Antenna				Частота	450 МГц		☐ в пярдах	
Проводов 26	Автосегментация:		DM1 800	DM2 80	SC 2.0	EC 2	☐ Не разрывать		
No.	X1(m)	Y1(m)	Z1(m)	X2(m)	Y2(m)	Z2(m)	R(mm)	Seg.	
1	0.0	0.0	0.0135	0.09868	0.0	0.0135	0.8	-1	
2	0.09868	0.0	0.0135	0.2166	0.0	0.0135	0.8	-1	
3	0.2166	0.0	0.0135	0.3133	0.0	0.0135	0.8	-1	
4	0.3133	0.0	0.0135	0.3927	0.0	0.0135	0.8	-1	
5	0.3927	0.0	0.0135	0.4577	0.0	0.0135	0.8	-1	
6	0.4577	0.0	0.0135	0.511	0.0	0.0135	0.8	-1	
7	0.0	0.0	-0.0135	0.09868	0.0	-0.0135	0.8	-1	
8	0.09868	0.0	-0.0135	0.2166	0.0	-0.0135	0.8	-1	
9	0.2166	0.0	-0.0135	0.3133	0.0	-0.0135	0.8	-1	
10	0.3133	0.0	-0.0135	0.3927	0.0	-0.0135	0.8	-1	
11	0.3927	0.0	-0.0135	0.4577	0.0	-0.0135	0.8	-1	
12	0.4577	0.0	-0.0135	0.511	0.0	-0.0135	0.8	-1	
Источников 1			Нагрузок 0 (L - uH, C - pF, R/jX - Ohm)				☐ Включить нагрузки		

Рисунок 3.15. — Геометричні параметри антени, задані програмно в ПЗ.

Проставивши параметри антени у XYZ координатах, можна отримати синтезовану структуру:

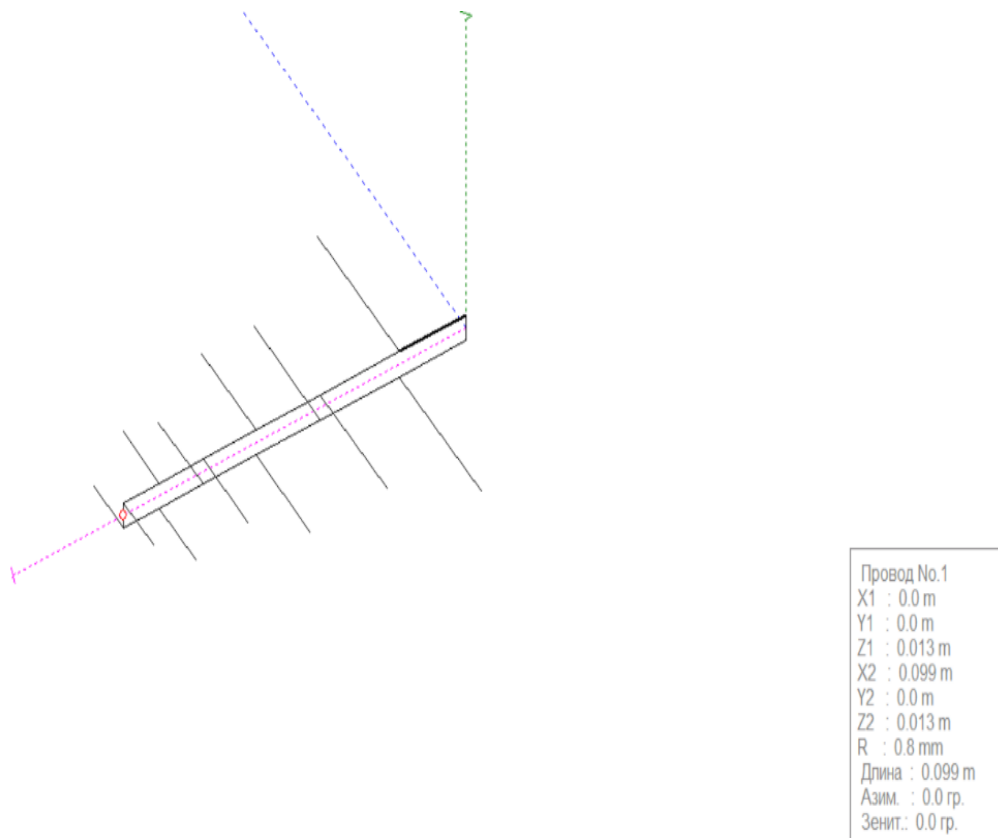


Рисунок 3.16. — Загальний вигляд структури антени.

Для прорахунку параметрів антени (Z , SWR , K_u) запускаємо розрахунок на середній частоті 450 МГц зі смугою 100 МГц (400-500 МГц):

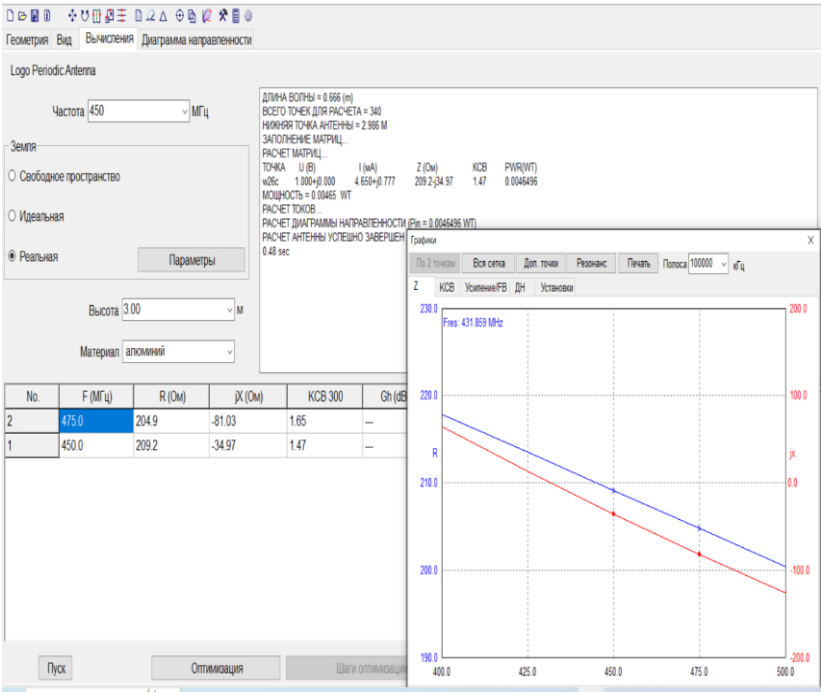


Рисунок 3.17. — Запуск симуляції в вікні програми «MMANA GAL».

Отримуємо дані діаграми направленості:

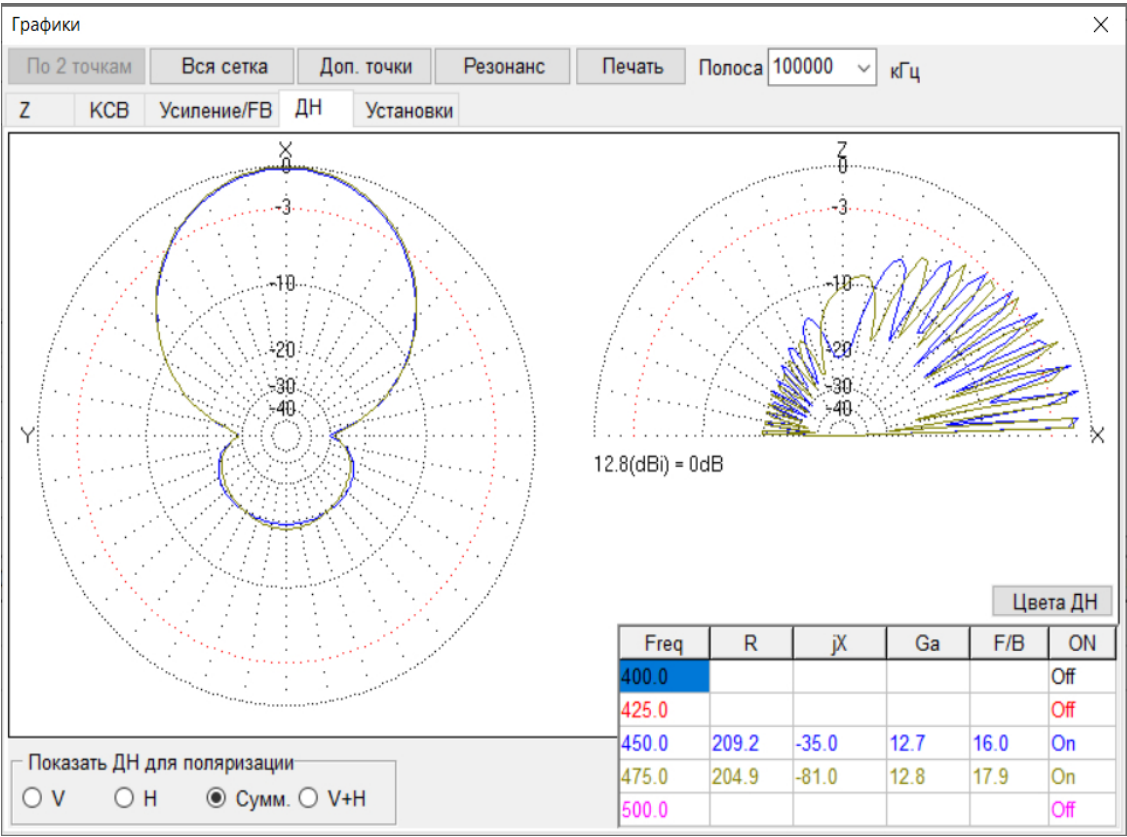


Рисунок 3.18. — ДС логоперіодичної антени.

Також синтезуємо ДС у трьохвимірному зображенні, змодельованому завдяки ПЗ:

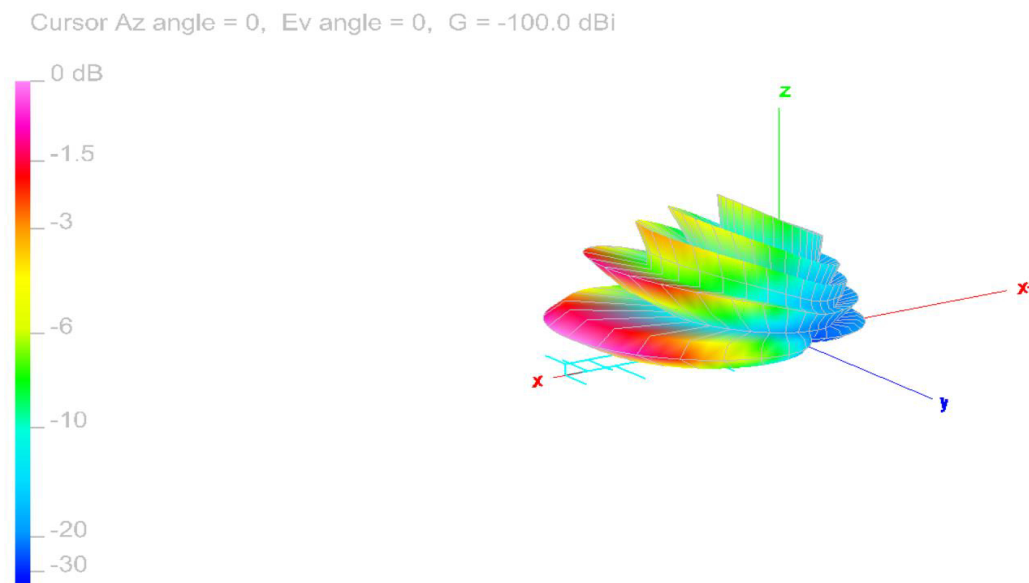


Рисунок 3.19. — Тривимірна ДС логоперіодичної антени.

Будуємо змодельовані залежності КСХ, модуля повного вхідного опору та коефіцієнта підсилення від частоти:

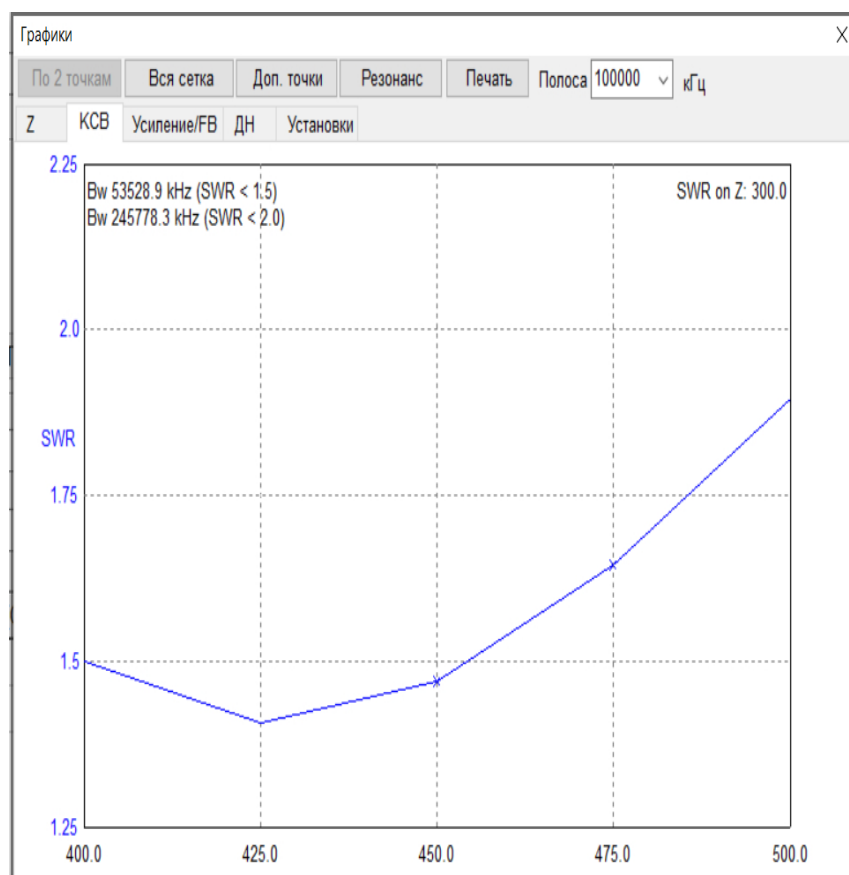


Рисунок 3.20. — Залежність КСХ логоперіодичної антени від частоти.



Рисунок 3.21. — Залежність модуля повного вхідного опору логоперіодичної антени від частоти.

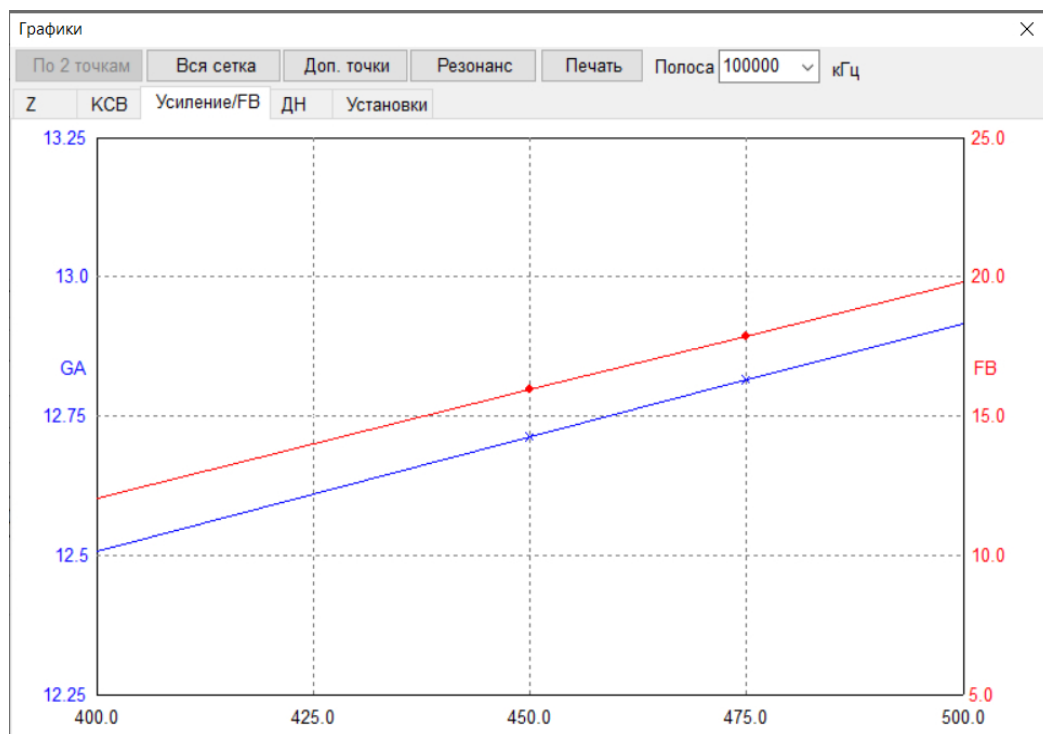


Рисунок 3.22. — Залежність коефіцієнта підсилення логоперіодичної антени від частоти.

Для підвищення технологічності та повторюваності антени, було проведено 3Д моделювання приймальної та передавальної антен у ПЗ «SolidWorks», за моделлю якого було виконано складальний кресленик (див. додатки) та подальшу документацію для виробництва.

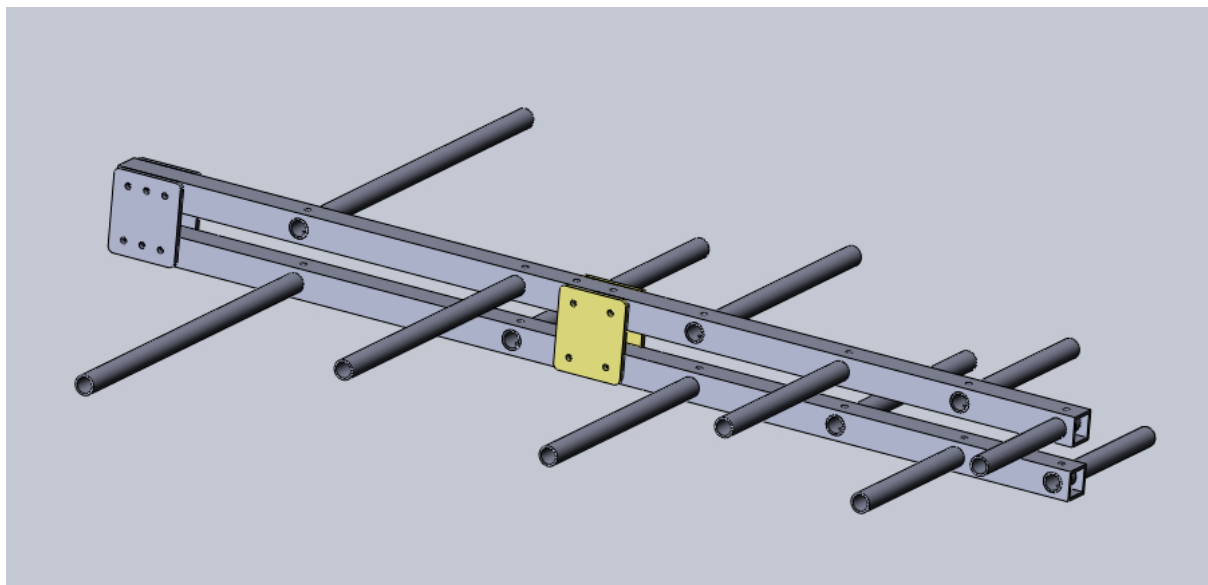


Рисунок 3.23. — Тривимірна модель логоперіодичної антени, розроблена у середовищі «SolidWorks».

Після моделювання структури логоперіодичної антени готовий прототип був експериментально досліджений, а саме виміряно ДС у вертикальній площині (за кутом місця) та горизонтальній площині (за азимутом) та оцінено КП антени.

3.4. Способи симетрування живлення приймальної антени

За потреби подальшого покращення узгодження приймальної антени в майбутніх удосконаленнях системи можна використати додаткові способи симетрування живлення. Указані способи розглянуто в цьому розділі.

Найчастіше узгодження комплексного вхідного опору одного пристрою виконують відносно активного опору іншого пристрою. Зокрема комплексний вхідний опір вібраторної антени у діапазоні надвисокочастотних хвиль узгоджують з дійсним хвильовим опором фідера. Зазвичай цей процес виконується за допомогою антенно-узгоджувальних пристроїв, які включають ланцюг із LC-компонентами та можуть мати ручне або автоматичне переналаштування.

Важливо зазначити, що ці пристрої забезпечують узгодження лише в обмеженому діапазоні частот, мають обмежену швидкість реакції і не можуть бути ефективно використані для антенно-фідерного тракту в широкому діапазоні частот або при високих вимогах до швидкості переналаштування робочої частоти.

Зокрема, в багатьох сучасних системах радіозв'язку для діапазону високочастотних хвиль використовується радіоприйом з паралельною обробкою сигналів у широкому діапазоні частот з виділенням каналів під час цифрової обробки. У таких випадках необхідна антенно-фідерна система з широкосмуговим антенно-узгоджувальним пристроєм, який не потребує переналаштування.

Один із відомих методів узгодження навантаження з частотнозалежним комплексним опором полягає в компенсації реактивної компоненти опору навантаження. Зокрема, для антен, які працюють на довжинах хвиль, близьких до резонансних (наприклад, при довжині вібратора $2l \cong \lambda/2$ або $2l \cong \lambda$), їх вхідний опір змінюється аналогічно до опору послідовного або паралельного коливального LC контуру при наближенні до резонансу.

Узгодження на одній частоті, такій як резонансна, не представляє складнощів. Проте, при зміні частоти опору контуру виникає реактивна компонента, що призводить до погіршення узгодження. У цьому випадку вирішення задачі узгодження полягає в додаванні до ланцюга навантаження елемента з реактивним опором (ємнісного або індуктивного характеру), чия частотна характеристика має змінюватися відповідно до необхідної широкосмужової частотної смуги для компенсації реактивної компоненти опору навантаження.

Крім того, ключовим наступним елементом системи живлення часто є симетризуючий пристрій, який у нашому випадку відомий як "балун" (**BAL**anced-**UN**balanced transformer). Балун представляє собою електричний трансформатор, призначений для конвертації електричних сигналів з симетричних (збалансованих) в несиметричні (незбалансовані). Зазвичай ці пристрої використовуються для з'єднання ліній з різними рівнями імпедансу і застосовуються в домашніх умовах для підключення HD-телевізорів та традиційних антен. Балун також широко застосовуються в різних галузях промисловості. Види симетруючих пристроїв показано на рис. 3.24.

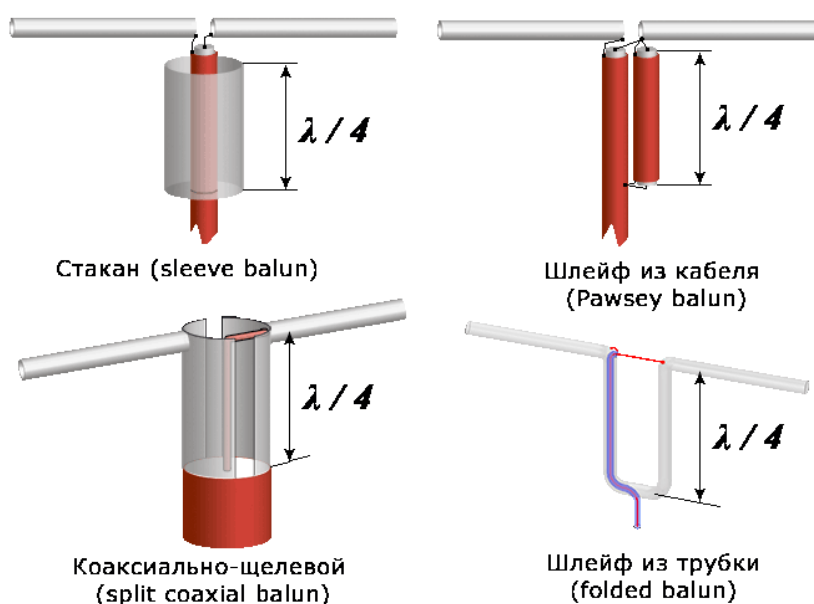


Рисунок 3.24. — Види симетруючих пристроїв дипольної антени.

Основна функція балуна полягає в покращенні живлення при об'єднанні систем на основі різних ліній передачі. Вони знаходять широке застосування в сучасних телекомунікаційних системах для підключення пристроїв передачі даних, а також в обладнанні для супутників, передавачів, радарів та антенних з'єднань. Балун широко використовуються в телевізійній техніці, а також можна знайти їх в сполучних ланцюгах відеокамер систем безпеки та спостереження.

Таким чином, балуни виявляються досить універсальними засобами узгодження сигналів у багатьох галузях електроніки та електротехніки.

Використання симетруючого пристрою, такого як балун, виявляється ефективним рішенням для пониження КСХ та покращення узгодження антени з лінією передачі. Це в свою чергу призводить до підвищення ефективності пристрою чи системи, в якій використано антену.

3.5. Висновки за розділом

В розділі 3 були виконані наступні завдання: 1) розроблено модель приймальної дипольної антени та розраховано її характеристики узгодження та випромінювання; 2) проаналізовано передавальну логоперіодичну антену, принцип її роботи та розраховано конструкцію; 3) розроблено модель передавальної логоперіодичної антени та розраховано її характеристики узгодження та випромінювання; 4) розглянуто способи симетрування живлення приймальної дипольної антени. За допомогою розроблених тривимірних моделей антен створено креслення обох антен для їх виготовлення.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ АНТЕН

4.1. Виготовлені прототипи антен

Було виготовлено обидві розроблені антени системи передачі відеоданих БПЛА. Фотографію готового прототипу приймальної мікросмужкової дипольної антени показано на рис. 4.1. Установлену на фюзеляжі БПЛА антену, яка приймає сигнали вертикальної поляризації, показано на рис. 4.2.

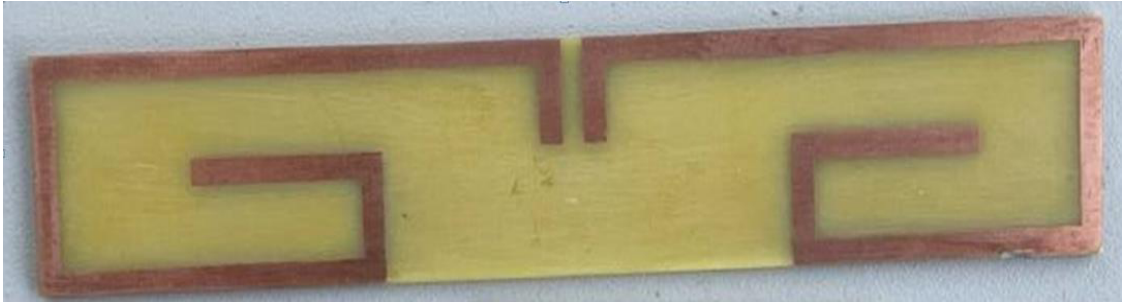


Рисунок. 4.1. — Виготовлений прототип приймальної дипольної антени.



Рисунок 4.2. — Установлена на фюзеляжі БПЛА приймальна антена вертикальної поляризації

Фотографію виготовленого прототипу передавальної логоперіодичної антени показано на рис. 4.3.

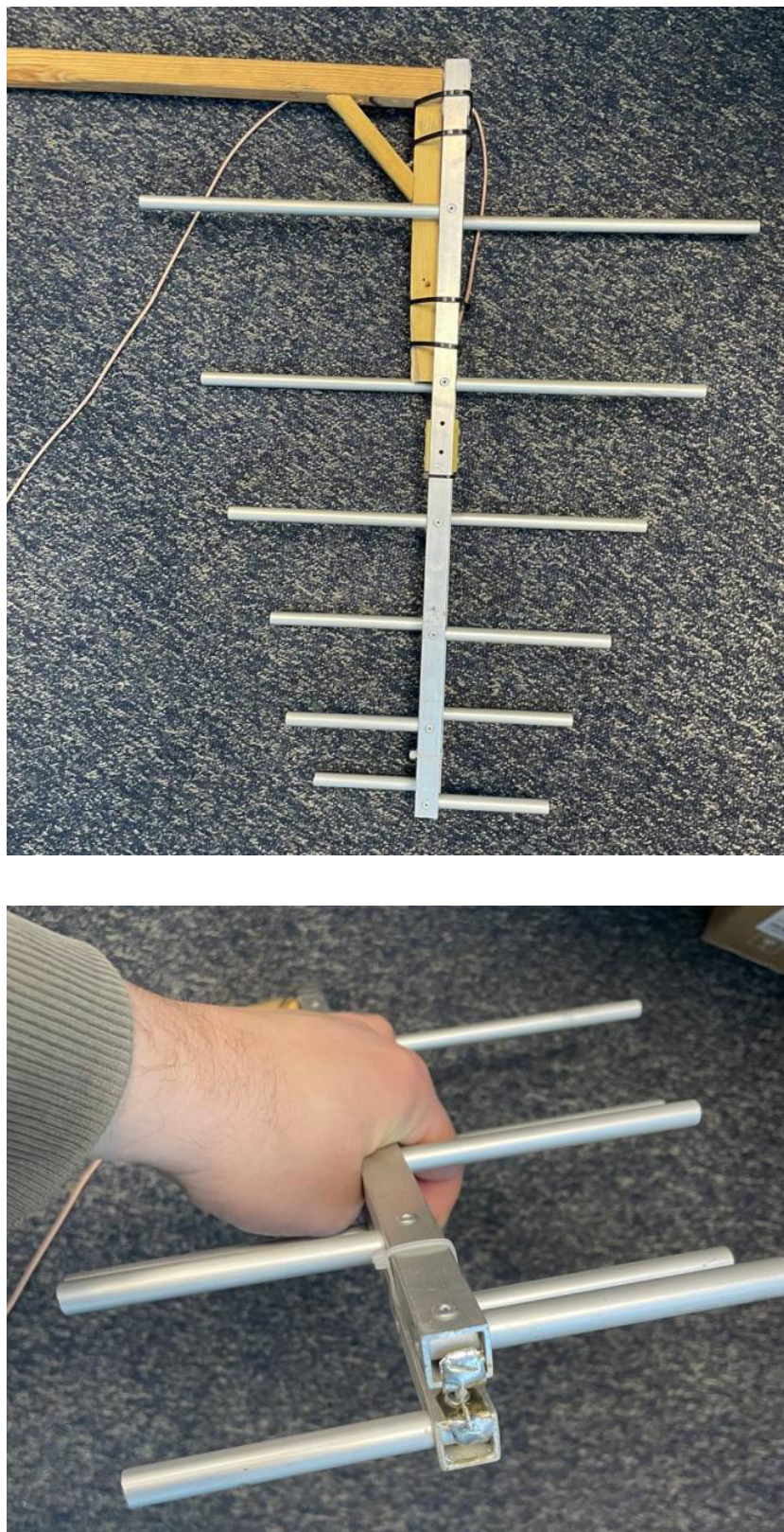


Рисунок 4.3. — Загальний вигляд прототипу передавальної антени.

4.2. Виміряні характеристики антен

Виміряну залежність КСХ приймальної дипольної антени від частоти показано на рис. 4.4. Як бачимо на рисунку, в нижній частині бажаного робочого діапазону частот 400–500 МГц (нижче 430 МГц) спостерігається типове для дипольних антен погіршення узгодження. Із фізичної точки зору це явище пов'язано з неможливістю забезпечити вхідний опір, рівний хвильовому опору коаксіальної лінії живлення, при зростанні довжини хвилі. У цьому випадку диполь починає наближатися до зосередженого елементу з нескінченним опором, який зберігає режим відкритої лінії за своєю довжиною, і таким чином створює близький до холостого ходу режим у точці живлення антени.

Розроблена дипольна антена забезпечує $КСХ \leq 3$ у відносно широкій робочій смузі частот від 430 МГц до понад 500 МГц. Як видно на рис. 4.4, на частоті 500 МГц графік КСХ (жовта крива) спадає, тому є запас по ширині смуги частот і за додаткової оптимізації антени можна забезпечити навіть ширшу робочу смугу, перекривши практично весь діапазон частот 400–500 МГц. Недоліком при цьому буде зростання габаритів антени, які можуть виявитися критичними при застосуванні на фюзеляжі БПЛА.



Рисунок. 4.4. — Виміряна залежність КСХ приймальної антени від частоти.

Вимірювальну установку, на якій досліджувалися ДС передавальної логоперіодичної антени, показано на рис. 4.5.



а)



б)

Рис. 4.5. — Фотографії вимірювальної установки для дослідження діаграми спрямованості передавальної антени та її підсилення.

Результати вимірювань ширини ДС розробленої логоперіодичної антени в Е- та Н-площинах за рівнем -3 дБ представлено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. – Результати вимірювань ширини ДС передавальної антени

Частота	Виміряна ширина ДС в Н-площині за рівнем -3 дБ	Виміряна ширина ДС в Е-площині за рівнем -3 дБ
400 МГц	65°	58°
450 МГц	69°	54°
500 МГц	74°	49°

Використавши результати з таблиці 4.1, коефіцієнт підсилення логоперіодичної антени можна оцінити за емпіричною формулою:

$$G \text{ (дБ)} = 10 \lg(32400 / (\Delta\varphi_{-3 \text{ дБ}} \cdot \Delta\theta_{-3 \text{ дБ}})) + 3, \quad (1)$$

де $\Delta\varphi_{-3 \text{ дБ}}$ — ширина ДС в Н-площині за рівнем -3 дБ , $\Delta\theta_{-3 \text{ дБ}}$ — ширина ДС в Е-площині за рівнем -3 дБ .

У таблиці 4.2 показані значення коефіцієнта підсилення логоперіодичної антени отримані в результаті моделювання в розділі 3 та оцінені за емпіричною формулою (1) за вимірними ширинами ДС в Е- та Н-площинах за рівнем -3 дБ . Як видно, результати вимірювань із використанням оцінки за емпіричною формулою (1) добре узгоджуються із результатами моделювання в ПЗ «MMANA GAL». Коефіцієнт підсилення логоперіодичної антени перевищує 12 дБі у смузі частот $400\text{--}500 \text{ МГц}$.

Таблиця 4.2. – Коефіцієнт підсилення передавальної логоперіодичної антени

Частота	Моделювання в ПЗ «MMANA GAL»	Оцінка за результатами вимірювань
400 МГц	12,5 дБі	12,3 дБі
450 МГц	12,7 дБі	12,4 дБі
500 МГц	12,9 дБі	12,5 дБі

4.3. Висновки за розділом

Було виготовлено розроблені приймальну та передавальну антени системи передачі відеоданих БПЛА. Виготовлена приймальна дипольна антена забезпечує вимірний $K_{CX} \leq 3$ у робочій смузі частот від 430 МГц до понад 500 МГц . Коефіцієнт підсилення передавальної логоперіодичної антени перевищує 12 дБі у смузі частот $400\text{--}500 \text{ МГц}$. Виготовлена антенна система використана в системі передачі даних БПЛА на відстані до 30 км .

5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ

5.1. Описання ідеї проєкту

Проаналізуємо та подамо у вигляді таблиць основні відомості про ідею стартап-проєкту:

- зміст ідеї;
- можливі напрямки застосування;
- основні вигоди, що може отримати користувач товару за кожним напрямком застосування;
- чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників;

5.1.1. Ідеї, можливі напрямки застосування та вигоди для користувача подані у Табл. 5.1. Вони дають цілісне уявлення про зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 5.1 – Ідеї, напрямки застосування та вигоди для користувача

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення хвилевідного поляризатора з повздовжніми перегородками ступінчастої ширини	Системи зв'язку	Користувачі матимуть змогу використовувати дану розробку в якості компонентів живлення призначених для супутникових систем зв'язку

5.1.2. Проведемо аналіз потенційних техніко-економічних переваг проєкту (чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників) порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначимо перелік техніко-економічних характеристик товару;

- визначимо перелік конкурентів та їх товарів-замінників, що вже існують на ринку;

- проведемо порівняльний аналіз техніко-економічних показників.

Результати аналізу техніко-економічних характеристик ідеї проекту наведено в доступні Табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Товари конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проєкт	Мир Антенн	Foxheer			
1.	Вартість створення та підтримки	Низька	Середня	Висока			+
2.	Технологічна складність створення та підтримки	Низька	Середня	Середня			+
3.	Економічні можливості	Великі	Малі	Великі		+	
.	Технологічні можливості	Великі	Середні	Великі			+

Визначений перелік сильних, нейтральних та слабких характеристик проекту потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності. Оскільки сильні сторони переважають нейтральні та слабкі як за кількістю так і за значущістю — можна зробити висновок про доцільність реалізації проекту.

5.2. Технологічний аудит ідеї проєкту

Проведемо аудит технології, за допомогою яких можна реалізувати ідею проєкту.

Для визначення технологічної можливості реалізації ідеї проєкту здійснено (Табл. 5.3):

- визначення технологій виготовлення товару
- аналіз технологій та необхідності в їх розробці/удосконаленні
- аналіз доступності технологій

Таблиця 5.3 – Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ п/п	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Широкодіапазон на система передачі даних телеметрії/відео	Технології виготовлення планарних структур для економії місця	Технології наявні	Технології доступні

За результатами аналізу можна зробити висновок, що технологічна реалізація проєкту можлива, а технологічні шляхи, якими це доцільно зробити або доступні та наявні на ринку, або доступні та потребують удосконалення.

5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проєкту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити реалізації проєкту.

5.3.1. Визначимо наявність попиту, прогнозований обсяг продаж, динаміку розвитку ринку тощо (Табл. 5.4).

Табл. 5.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	Близько 10
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	> 1000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Наявні незначні економічні та технологічні обмеження
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Необхідно дотримуватись міжнародних та державних стандартів
	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	Близько 35%

За результатами аналізу робимо висновок, що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

5.3.2. Визначимо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (Табл. 5.5).

Таблиця 5.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Потреба операторів дронів	Армія	Зазвичай хочуть мати високий функціонал за малої ціни послуги/продукт у	Невелика вартість, гарний функціонал, технологічність, тощо
2	Потреба користувачів радірозвідки	Користувачам и можуть виступати дослідники в сфері зв'язку	Готові балансувати функціонал з помірно високою ціною	Невелика вартість, гарний функціонал, технологічність, тощо

5.3.3. Проведемо аналіз ринкової пропозиції — визначимо загальні риси конкуренції на ринку (Табл. 5.6) та обґрунтуємо перелік факторів конкурентоспроможності (Табл. 5.7).

Таблиця 5.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
	Копіювання	Даний продукт дуже легко можна відтворити, тому можлива загроза виробництва такого ж продукту і його продаж	Боротьба з незаконним виробництвом

Таблиця 5.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Економічність	Покращення відношення ціна/якість продукту	Компанія може вкласти більше коштів на розробку та підтримку проєкту
2	Технологічність	Продукт технологічно має більш вдалу конструкцію, що дозволяє з легкістю його виготовляти	Компанія може вкласти більше коштів на розробку та підтримку проєкту

5.3.4. За визначеними факторами конкурентоспроможності проводимо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проєкту (Табл. 5.8).

Таблиця 5.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

№ п/п	Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1	Тип конкуренції: Монополістична конкуренція	Багато незалежних конкуруючих компаній	Підвищення конкурентоздатності товару
2	Рівень конкурентної боротьби: міжнаціональний	Продукт не буде прив'язаний до конкретного географічного регіону	Більш технологічна технологія виробництва продукту
3	За галузевою ознакою: внутрішньогалузева	Конкуренція відбувається між підприємствами всередині галузі	Впровадження нових технологій в галузі, удосконалення існуючих технологій
4	За характером конкурентних переваг: технологічна	Відсутність цінової переваги компенсується технологічними перевагами	Незначна цінова перевага та значна технологічна перевага

5.3.5. Проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера) (Табл. 5.9).

Таблиця 5.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	немає	Мир Антенн/ Foxheer	Постачальники схожих пристроїв	Інженери та спеціалісти систем зв'язку	Відсутні
Висновки:	Подібного приладу, який розроблений в проєкті є у обмежених продавців	Є можливість виходу на ринок. Терміни не відомі, в залежності від розробок	Так, об'єм виробництва	Так, відношення якості/ціна	Немає

За результатами аналізу можна зробити висновок, що працювати на даному ринку можна незважаючи на конкурентну ситуацію. Для поширення продукту він повинен володіти рядом факторів, які відрізняють його від існуючого конкурента: точністю вимірювань, багатоканальністю, наявністю програмного забезпечення.

5.3.6. На основі аналізу конкуренції, проведеного в п. 5.3.5 (Табл. 5.9), а також із урахуванням характеристик ідеї проєкту (Табл. 5.2), вимог споживачів до товару (Табл. 5.5) та факторів маркетингового середовища (Табл. 5.6, 5.7) визначимо та обґрунтуємо перелік факторів конкурентоспроможності (Табл. 5.10).

Таблиця 5.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування факторів
1	Економічні фактори	Витрати на розробку та підтримку проєкту не значно більші ніж в конкурентів
2	Технологічні фактори	Розроблення функціоналу
3	Ринкові фактори	Відсутність аналогів та значний попит на ринку

5.3.7. За визначеними факторами конкурентоспроможності (Табл. 5.10) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проєкту (Табл. 5.11).

Таблиця 5.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «назва проєкту»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів						
			–3	–2	–1	0	+1	+2	+3
1	Економічні фактори	15					+		
2	Технологічні фактори	16		+					
3	Ринкові фактори	18	+						

На основі аналізу ринку можна зробити висновок, що ринкові можливості, які можна використати під час впровадження проєкту переважають ринкові загрози, які можуть перешкодити реалізації проєкту, а загальна конкурентоспроможність товару дуже висока.

5.3.8. Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проєкту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (Табл. 5.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (Табл. 5.11).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складамо на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Таблиця 5.12 – SWOT- аналіз стартап-проєкту

Сильні сторони: Простота Дешевизна	Слабкі сторони: Невідома компанія Відсутність стартового капіталу
Можливості: Технологічність	Загрози: Продукти-замінники

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

5.4. Розроблення ринкової стратегії проєкту

5.5.1. Визначаємо стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (Табл. 5.13).

Таблиця 5.13 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільового сегменту	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Інженери, спеціалісти систем зв'язку	Висока готовність споживачів сприйняти продукт	Середня готовність споживачів сприйняти продукт	Низька інтенсивність конкуренції в межах сегменту	Простий вхід в сегмент
2	Радіорозвідка	Середня готовність споживачів сприйняти продукт	Середній попит в межах сегменту	Низька інтенсивність конкуренції в межах сегменту	Простий вхід в сегмент

За результатами аналізу потенційних сегментів споживачів робимо висновок, що найбільш доцільним є орієнтація на цільові групи користувачів смартфонів з вадами здоров'я та без вад здоров'я.

Визначимо стратегію охоплення ринку — стратегію диференційованого маркетингу.

5.4.2. Тепер сформуємо базову стратегію розвитку (Табл. 5.14).

Таблиця 5.14 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
	Стратегія диференційованого маркетингу	Економічні, технологічні та ринкові позиції	Стратегія диференціації

В якості базової стратегії розвитку проєкта обираємо стратегію диференціації. Ця стратегія передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмітних властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів. Така відмінність базуватися на реальних об'єктивних і відчутних властивостях товару. Інструментом реалізації стратегії диференціації є ринкове позиціонування.

Переваги стратегії за Ж.-Ж. Ламбенем:

- по відношенню до прямих конкурентів диференціація знижує ступінь замінності товару, посилює прихильність марці, зменшує чутливість до ціни і тим самим підвищує рентабельність;
- прихильність клієнтів послаблює їх тиск на фірму і перешкоджає приходу на ринок нових конкурентів;
- підвищена рентабельність збільшує стійкість до можливого зростання витрат в результаті дій сильного постачальника;
- відмітні властивості товару і завойована прихильність клієнтів захищають фірму і від товарів-замінників.

Реалізація цієї стратегії вимагає, як правило, більш високих витрат. Проте успішна диференціація дозволяє компанії домогтись більшої рентабельності за рахунок того, що ринок готовий прийняти більш високу ціну (цінову премію бренду).

При веденні конкурентної боротьби з використанням цієї стратегії на ринку в першу чергу терплять фіаско фірми, що не здатні визначати потреби цільових ринків, оперативно реагувати на зміни в ринковому попиті, проводити ефективну політику маркетингових комунікацій, не мають необхідних навичок в області брендингу. Найважливішими здібностями, які повинна мати компанія, що приймає цю стратегію, є з генерування маркетингових ноу-хау, здійснення продуктових новацій.

Таким чином, як базову стратегію розвитку проєкта буде використано стратегію диференціації, що дозволить в повній мірі використати можливості проєкту.

5.4.3. Визначимо базову стратегію конкурентної поведінки (Табл. 5.15).

Таблиця 5.15 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
	Проєкт не є першопрохідцем на ринку	Обидві стратегії доцільні в реалізації	Будуть взяті найкращі характеристики галузевих товарів	В якості стратегії конкурентної поведінки обрано стратегію лідера

В проєкті буде використано стратегію лідера, що дозволить в повній мірі використати можливості проєкту.

5.4.4. На основі вимог споживачів з обраних сегментів до стартап-компанії та до продукту (Табл. 5.5), а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (Табл. 5.14) та стратегії конкурентної поведінки (Табл. 5.15) розробимо стратегію позиціонування (Табл. 5.16) що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати проєкт.

Таблиця 5.16 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспр оможні позиції власного стартап- проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Невелика вартість, хороший функціонал, технологічні сть, тощо	Стратегія диференці ації	Економічні, технологічні та ринкові позиції	1. Найбільш технологічна конструкція поляризатора 2. Низька вартість за хороший функціонал 3. Зручність та практичність

5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

5.5.1. Сформуємо маркетингову концепцію товару, який отримає споживач. Для цього у Табл. 5.17 підсумуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.17 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
	Систем зв'язку, радіорозвідка	Зв'язок на велику дальність	Продукт більш технологічний у виробництві та використанні, має кращі важливі характеристики перед аналогами

5.5.2. Розробимо трирівневу маркетингову модель товару: уточнимо ідею продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (Табл. 5.18).

Таблиця 5.18 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Антенa
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики

Таблиця 5.18 – Опис трьох рівнів моделі товару(продовження)

	Простота
	Дешевизна
	Якість: висока
	Пакування відсутнє
Товар із підкріпленням	Марка: поки не визначена
	До продажу невідомо
	Після продажу невідомо
Товар буде захищатись від копіювання та буде поширюватись таким яким він є.	

5.5.3. Визначимо цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проєкту, яке

передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути), а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (Табл. 5.19).

Таблиця 5.19 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	Від безкоштовних додатків до 1000 грн.	Товари- аналоги присутні обмежено на ринку	Дуже відрізняється	Від 300 грн. до 500 грн.

5.5.4. Визначимо оптимальну систему збуту, в межах якого приймається рішення (Табл. 5.20):

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 5.20 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Невідома	Вільний доступ до товару	Невідома	Вільний доступ до товару (власна та залучена система збуту)

5.5.5. Розробимо концепції маркетингових комунікацій, що спираються на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (Табл. 5.21).

Таблиця 5.21 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Інженери та спеціалісти супутникових систем зв'язку та астрономії	Переважно електронні канали комунікації: вебресурси, соціальні мережі, тощо	Економічні, технологічні та ринкові позиції	Донести до цільових клієнтів інформацію про переваги продукти перед аналогами та змусити їх перейти на нього	Реклама серед конкретної цільової аудиторії, вебресурсах, соціальних мережах, на телебаченні, тощо

5.6. Висновки за розділом

Для даного стартап-проекту існує можливість ринкової комерціалізації, що обґрунтовано наявністю попиту, зростанням ринку та хорошою рентабельністю. Перспективи впровадження, зважаючи на широкую аудиторію потенційних клієнтів, незначні бар'єри входження, конкуренцію та загальну конкурентоспроможність, досить добрі.

ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації виконано розробку, моделювання, виготовлення та експериментальне дослідження антенної системи передачі даних відео/телеметрії для БПЛА. Було створено модель приймальної дипольної антени та розраховано її характеристики узгодження та випромінювання. Проаналізовано передавальну логоперіодичну антену, принцип її роботи та розраховано конструкцію. Розроблено модель передавальної логоперіодичної антени та розраховано її характеристики узгодження та випромінювання. За допомогою розроблених тривимірних моделей антен створено креслення обох антен для їх виготовлення.

Було виготовлено розроблені приймальну та передавальну антени системи передачі відеоданих БПЛА. Виготовлена приймальна дипольна антена забезпечує вимірний $K_{СХ} \leq 3$ у робочій смузі частот від 430 МГц до понад 500 МГц. Коефіцієнт підсилення передавальної логоперіодичної антени перевищує 12 дБі у смузі частот 400–500 МГц. Виготовлена антенна система використана в системі передачі даних БПЛА на відстані до 30 км.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

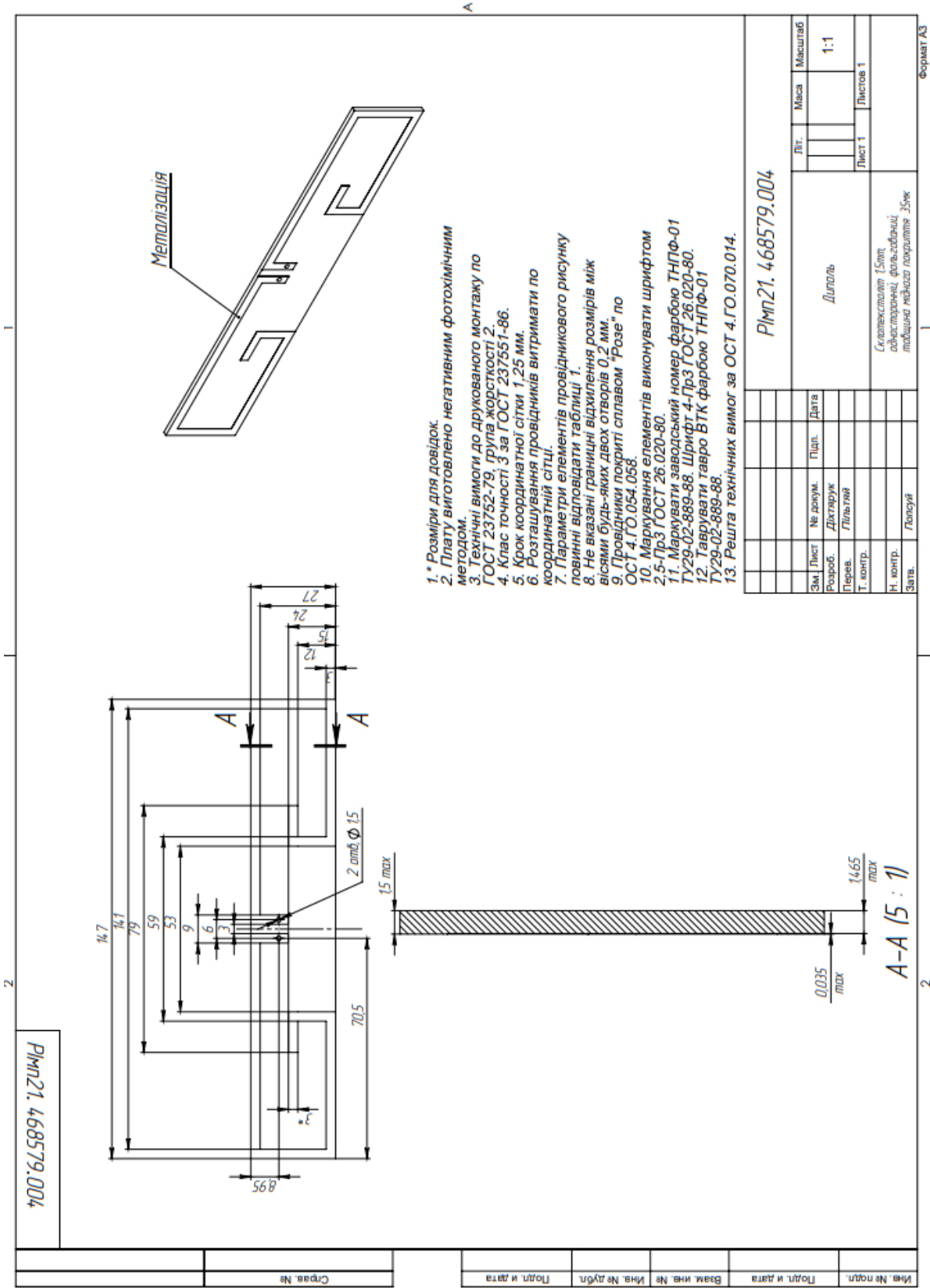
1. Winder, Steve; Joseph Carr. Newnes Radio and RF Engineering Pocket Book, 3rd Ed [Електронний ресурс] / Winder, Steve; Joseph Carr // ISBN 0080497470. – 2002. – Режим доступу до ресурсу: <https://web.archive.org/web/20140720225858/http://books.google.com/books?id=3b-InpSowcC&pg=PA4&dq=%22simplest+practical+radiator#v=onepage&q=%22simplest%20practical%20radiator&f=false>
2. K. Hille. Der Dipol in Theorie und Praxis [Електронний ресурс] / K. Hille. – 2005.
3. Basu, Dipak. Dictionary of Pure and Applied Physics, 2nd Ed. [Електронний ресурс] / Basu, Dipak // CRC Press. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: <https://web.archive.org/web/20140720231624/http://books.google.com/books?id=-QhAkBSk7IUC&pg=PA21>.
4. Dipole Antenna / Aerial tutorial [Електронний ресурс] // Radio-Electronics.com, Adrio Communications, Ltd. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: <https://web.archive.org/web/20180718055334/https://www.radio-electronics.com/info/antennas/dipole/dipole.php>.
5. Dipole Antenna [Електронний ресурс] // Online IT Encyclopedia. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.techtarget.com/searchmobilecomputing/definitions>.
6. John Wiley & Sons. Modern Antenna Handbook [Електронний ресурс] / John Wiley & Sons // ISBN 1118209753. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: <https://web.archive.org/web/20140720195340/http://books.google.com/books?id=UYpV8L8GNCwC&pg=SA2-PA3>.

7. Stutzman, Warren. Antenna Theory and Design [Электронный ресурс] / Stutzman, Warren, Thiele, Gary. – 1981. – Режим доступа до ресурсу: https://archive.org/details/antennatheorydes00stut_299.
8. Huggins, John. Of fields and feedpoints [Электронный ресурс] / Huggins, John // Hamradio.me.. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://web.archive.org/web/20170114170250/http://www.hamradio.me/antennas/of-fields-and-feedpoints.html>.
9. Stutzman, Warren L.; Thiele, Gary A. Antenna Theory and Design [Электронный ресурс] / Stutzman, Warren L.; Thiele, Gary A. // John Wiley and Sons.. – 2012. – Режим доступа до ресурсу: <https://web.archive.org/web/20210428042809/https://books.google.com/books?id=xhZRA1K57wIC&pg=RA1-PA75&dq=%22half+wave+dipole>.
10. "M3 Map of Effective Ground Conductivity in the United States (a Wall-Sized Map), for AM Broadcast Stations\" [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.fcc.gov/encyclopedia/m3-map-effective-ground-conductivity-united-states-wall-sized-map-am-broadcast-stations>.
11. Silver, H. Ward. ARRL Antenna Book. Newington, Connecticut: American Radio Relay League. [Электронный ресурс] / Silver, H. Ward. – 2011. – Режим доступа до ресурсу: https://books.google.com.ua/books?id=rKVq0C5jsX8C&pg=PA37&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false.
12. Raines, Jeremy Keith. Folded Unipole Antennas: Theory and applications. Electronic Engineering (1st ed.). [Электронный ресурс] / Raines, Jeremy Keith. – 2007. – Режим доступа до ресурсу: https://www.forgottenbooks.com/en/download/Antennas_10854400.pdf.
13. Elliott, Robert S. Antenna Theory and Design (1st ed.). [Электронный ресурс] / Elliott, Robert S.. – 1981. – Режим доступа до ресурсу:

https://books.google.com.ua/books/about/Antenna_Theory_and_Design.html?id=xhZRA1K57wIC&redir_esc=y.

14. Slyusar, Vadym. The history of radio engineering\'s term \'antenna\' [Електронний ресурс] / Slyusar, Vadym. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: https://www.slyusar.kiev.ua/ICATT_2011_Slyusar1.pdf
15. Graf, Rudolf F. \'Antenna\'. Modern Dictionary of Electronics [Електронний ресурс] / Graf, Rudolf F.. – 1999. – Режим доступу до ресурсу:
https://books.google.com.ua/books?id=uah1PkxWeKYC&pg=PA29&redir_esc=y.
16. Marconi, G. \'Wireless Telegraphic Communication\' [Електронний ресурс] / Marconi, G. – 1909. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1909/marconi/lecture/>.

ДОДАТОК А. КРЕСЛЕННЯ КОНСТРУКЦІІ ПРИЙМАЛЬНОЇ
АНТЕНИ



Позиція	Обозначення	Найменування	Кількість	Примітки
1		Рефлектор	2	
2		Директор 1	2	
3		Директор 2	2	
4		Директор 3	2	
5		Директор 4	2	
6		Директор 5	2	
7		КЗ перемичка	2	
8		Пластина 2024 ТЗ 42x36	2	
9		Вузол кріплення	2	
		Пластина Склопласт 42x36		

РІМН 21.468579.004.2 СК

ДОДАТОК В. ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

[illegible]