

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

Радіотехнічний факультет

Кафедра радіоінженерії

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Сергій МАРТИНЮК

«__» _____ 2024 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою

«Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія»

спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

на тему: ««Вібраторна антена типу «хвильовий канал»»

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи РІ-01

Бутенко Анна Євгеніївна _____

Керівник:

Кандидат технічних наук, доцент

Мартинюк Сергій Євстафійович _____

Рецензент:

Ст. викладач кафедри РТС

Омеляненко Михайло Юрійович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2024 року

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

Радіотехнічний факультет

Кафедра радіоінженерії

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітня програма «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій МАРТИНЮК

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Бутенко Анна Євгеніївна

1. Тема проєкту «Вібраторна антена типу «хвильовий канал»», керівник проєкту Мартинюк Сергій Євстафійович, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом по університету від «29» травня 2024 р. № 2178-с
2. Термін подання студентом проєкту 12 червня 2024 року.
3. Вихідні дані до проєкту: тип антени: вібраторна антена Ягі («хвильовий канал»); робоча частота антени 1300 МГц, ширина робочої смуги частот 10%, КСХН \leq 2; максимальний коефіцієнт підсилення 13дБ; поляризація лінійна; ширина променя діаграми спрямованості в *E*- та *H*- площинах не більше 40°; завадозахищеність не гірше 12дБ; вхідний опір 50 Ом; живлення за допомогою коаксіального кабеля.
4. Зміст пояснювальної записки: вступ, огляд аналогів вібраторних антен, принцип роботи трьохелементної антени типу хвильовий канал, моделювання і налаштування антени типу «хвильовий канал» з різною кількістю директорів в програмному пакеті CST Microwave Studio, аналіз результатів, висновки.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) розраховані характеристики вібраторних

антен типу “хвильовий канал” з різною кількістю директорних елементів, розраховані характеристики і топологія антени, які були оптимізовані в роботі і задовольняють вимогам технічного завдання.

6.Консультанти розділів роботи*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 19 квітня 2024 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
	Огляд аналогів антен типу «хвильовий канал»	22-30.04.2024	
	Створення тривимірної моделі антен типу “хвильовий канал” в САПР	1-13.05.2024	
	Моделювання і оптимізація характеристик антени на діапазон частот 1300 МГц	14.05.2024-01.06.2024	
	Оформлення матеріалів пояснювальної записки	2.06 – 10.06	
	Підготовка презентації	10.06 – 14.06	

Студентка

Анна БУТЕНКО

Керівник

Сергій МАРТИНЮК

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт присвячений розробці вібраторної антени типу «хвильовий канал», призначеної для роботи на частоті 1,3 ГГц. Метою дослідження є оптимізація антени з лінійною поляризацією з коефіцієнтом підсилення 13 дБ та смугою частот не менше 10%. Робота містить огляд аналогів вібраторних антен типу «хвильовий канал», теоретичне дослідження вібраторної антени типу «хвильовий канал», розрахунок основних параметрів антени та комп'ютерне моделювання для знаходження оптимальних геометричних розмірів

У першому розділі розглянуто різні типи вібраторних антен та аналоги антен типу «хвильовий канал», їх характеристики, переваги та недоліки.

У другому розділі детально розглянуто принципи побудови та характеристики трьохелементної антени типу «хвильовий канал». Також наведено переваги та недоліки таких антен у використанні. Досліджено ринок, зокрема, які світові та українські компанії виробляють та випускають вібраторні антени типу «хвильовий канал» також відомі, як антени Ягі.

У третьому розділі було змодельовано антену у програмному забезпеченні CST Microwave Studio, досліджено топологію антени при зміні коефіцієнта підсилення та наведено порівняння результатів.

Висновки містять узагальнення отриманих результатів та рекомендації щодо подальших досліджень і вдосконалення конструкції антени. Робота демонструє, що розроблена вібраторна антена типу «хвильовий канал» задовольняє всім вимогам, які звучали в завданні на дипломний проєкт.

ANNOTATION

This thesis deals with the development of a dipole Yagi antenna, designed for operation at a frequency 1.3 GHz. The research purpose is to create a linearly polarised antenna with a gain of 13 dB and a maximum frequency bandwidth of at least 10%. The work includes a review of analogs of dipole antennas, a theoretical study of a dipole Yagi antenna, calculation of the main parameters of the antenna, and results of computer modeling to optimize the design.

In the first chapter, analogues of dipole antennas are represented, their characteristics and differences from the antenna that we be studied in later chapter.

The second chapter describes in detail the construction, principle of operation and characteristics of a three-element linearly polarized Yagi antenna. Also advantages and disadvantages in using such antennas are discussed. The market was researched, in particular, which global and Ukrainian companies serially produce dipole antennas of the "wave channel" type, also known as Yagi antenna.

In the third chapter, the antenna was simulated in the CST software, the topology of the antenna was investigated when the gain coefficients were changed, and a comparison of the results was given.

The conclusions correspond to the generalization of the obtained results and recommendations for further research and improvement of the antenna design. The work demonstrates that the developed dipole antenna of the "wave channel" type satisfies all the requirements that were indicated as a task.

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Вібраторна антена типу «хвильовий канал»»

Київ – 2024 року

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	8
Вступ.....	9
1 Огляд аналогів антени типу «хвильовий канал».....	11
1.1 Логоперіодична антена(LPDA).....	11
1.2 Рамкова антена.....	15
1.3 Всеспрямована антена.....	17
1.4 Вібраторна антена типу «хвильовий канал».....	22
2 Огляд трьохелементної антени типу «хвильовий канал».....	25
2.1 Детальне ознайомлення з антеною типу «хвильовий канал».....	25
2.2 Будова трьохелементної антени.....	26
2.3 Принцип дії трьохелементної антени	27
2.4 Переваги та недоліки трьохелементної антени.....	28
2.5 Огляд реальних аналогів.....	30
3 Дослідження математичної моделі у програмному забезпеченні CST.....	33
3.1 Вібраторна антена типу «хвильовий канал» із 3 елементів.....	33
3.1.1 Моделювання антени.....	33
3.1.2 S-параметри антени та КСХН.....	36
3.1.3 Діаграма направленості	37
3.2 Вібраторна антена типу «хвильовий канал» із 5 елементів.....	40
3.2.1 Моделювання антени.....	40
3.2.2 S-параметри антени та КСХН.....	41
3.2.3 Діаграма направленості	42
3.3 Вібраторна антена типу «хвильовий канал» із 10 елементів.....	43
3.1.1 Моделювання антени.....	43
3.1.2 S-параметри антени та КСХН.....	44
3.1.3 Діаграма направленості	45
3.4 Порівняння результатів отриманих в ході дослідження антени.....	46
Загальні висновки.....	50
Перелік використаних джерел.....	51

					РІ01.464655.001 ПЗ			
<i>ЗМ.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Вібраторна антена типу «хвильовий канал»	<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Розробила</i>	<i>Бутенко</i>					1		
<i>Перевірив</i>	<i>Мартинюк</i>					Р1-01 РТФ		
<i>Н. Контр.</i>								

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

LPDA – log-periodic dipole antenna

ДН – діаграма направленості

БПЛА – безпілотний літальний апарат

УКХ - ультракоротка хвиля

УВЧ – ультрависокоочастотний

РЧ – радіочастотний

КСХН – коефіцієнт стоячої хвилі по напрузі

					РІ01.464655.001 ПЗ	Лист
						8
Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Актуальність теми дослідження пов'язане з широким використанням вібраторних антен типу «хвильовий канал» у сучасних радіотехнічних системах, зокрема системах керування та відеоканалу безпілотних літальних апаратів(БПЛА). Зокрема для БПЛА антена типу хвильовий канал застосовується на наземних станціях, так і на БПЛА-ретрансляторі, які можуть значно збільшувати дальність зв'язку. Це відіграє важливу роль у військових, цивільних та комерційних сферах використання сучасних систем БПЛА. Завдяки легкості конструкції, відносно високому значенню коефіцієнта підсилення та простоті виготовлення, такі антени залишаються конкурентним технічним рішенням для в метровому і дециметровому діапазоні довжин хвиль. З іншого боку характеристики таких антен, особливо для коефіцієнтів підсилення більше 12 дБ, є досить чутливими до зміни топології, отже потребують ретельної оптимізації при практичному застосуванні.

Метою роботи є дослідження характеристик та оптимізація геометрії вібраторної антени типу ««хвильовий канал»» для використання в базових станція керування та передачі відеопотоків БПЛА для діапазону частот 1,3ГГц. Для досягнення цієї мети в проєкті досліджено впливом різних параметрів геометрії на коефіцієнт підсилення для використання цих антени в сучасних системах БПЛА.

Об'єкт дослідження – вібраторна антена типу ««хвильовий канал»» для дециметрового діапазону довжин хвиль. Дослідження включає аналіз, проектування, моделювання та оптимізація антени Ягі з різною кількістю елементів, що працює на частоті 1,3 ГГц.

Предмет дослідження – електродинамічні процеси, що відбуваються в вібраторних випромінювачах дециметрового діапазону.

Результати роботи а саме результати оптимізації геометрії антени та дослідження впливу параметрів, можуть бути використані для покращення

					РІ01.464655.001 ПЗ	Лист
						9
Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата		

зв'язку та передачі даних між безпілотними літальними апаратами та наземними станціями управління в різних сферах діяльності, таких як відеоспостереження, пошуково-рятувальні операції та екологічний моніторинг. Ці результати на практиці сприятимуть підвищення ефективності якості та надійності використання БПЛА у військових, цивільних та комерційних цілях.

					<i>РІ01.464655.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докв.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>10</i>

РОЗДІЛ 1

1 ОГЛЯД АНАЛОГІВ АНТЕНИ ТИПУ «ХВИЛЬОВИЙ КАНАЛ»

Антенa типу ««хвильовий канал»», також відома як антенa Уда-Ягі (Yagi), є відомим та популярним типом антен для різних застосувань, де потрібне спрямоване випромінювання та високий коефіцієнт підсилення в метровому і дециметровому діапазонах. Вона широко використовується в системах ефірного телебачення, аматорських радіостанціях, радіолокаційних системах та інших областях. Одночасно існують і інші типи вібраторних антен, які можуть бути використані в якості альтернативи антнам типу “хвильовий канал”, кожен з яких має свої переваги і недоліки в залежності від конкретних потреб і умов експлуатації. Далі розглянуто деякі із них для порівняння.

1.1 Логоперіодична антенa (LPDA)

Одним з популярних типів антен дециметрового діапазону є логоперіодична вібраторна антенa (log-periodic dipole anten - LPDA). Вона здатна забезпечити сталі значення коефіцієнту підсилення та характеристики спрямованості разом в широкій смузі робочих частот.



Рисунок 1.1.1 Логоперіодична вібраторна антенa, яка використовується для прийому телевізійних програм

					РІ01.464655.001 ПЗ	Лист
						11
Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата		

Решітка логоперіодичних диполів складається з ряду дипольних елементів (Рис. 1.1.2). Вони поступово зменшуються в розмірі від задньої до передньої частини по закону геометричної прогресії із коефіцієнтом $0,7 < \tau < 1$, при чому напрямок максимального випромінювання антени орієнтований вздовж вісі антени від більших вібраторів до менших. Всі вібраторні елементи є активними і включені в двопровідну живлячу лінію. Особливістю антени є те, що фаза між сусідніми дипольними елементами змінюється на протилежну – це гарантує правильне фазування хвиль між різними елементами для формування загального максимуму випромінювання в потрібному напрямку.

Не вся антенна решітка активна на будь-якій частоті. Активна область, тобто секції антени або групи вібраторів, які суттєво збуджуються на даній частоті значно менша загальної довжини антени. Також спостерігається плавний рух активної області LPDA уздовж логоперіодичної решітки при зміні частоти роботи.

Вібраторний елемент, розташований у задній частині активної зони, де елементи найбільші, має половину довжини хвилі на робочій частоті. При цьому найдовший елемент LPDA діє як напівхвильовий диполь на нижчій частоті робочого діапазону. Відстань між елементами також зменшується до передньої частини масиву, де розташовані найменші елементи по такому ж закону геометричної прогресії, як і довжини вібраторів. Верхня частота є функцією довжини найкоротшого елемента.

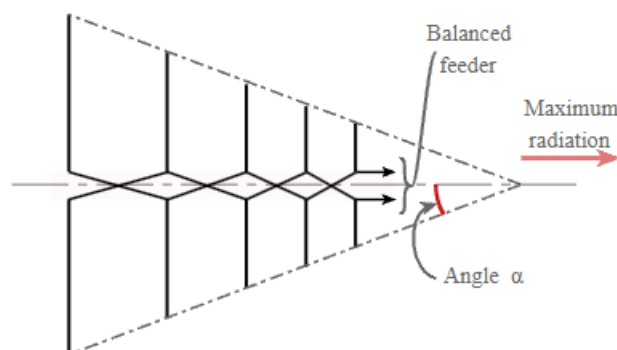


Рисунок 1.1.2 — Схематичне зображення LPDA

					P101.464655.001 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ доквм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		12

Де на Рис. 1.1.2:

Balanced feeder (симетрична двопровідна лінія) – це частина антени, яка підводить сигнал до різних вібраторних випромінюючих елементів антени. Збалансований фідер використовується для забезпечення симетричного живлення симетричних вібраторів всій антені.

Maximum radiation (максимальне випромінювання) – це напрямок, у якому антена випромінює або приймає максимальну потужність сигналу. На зображенні цей напрямок позначено стрілкою вправо.

Angle α (кут α) – це кут між елементами антени і лінією, що проходить через центр антени. Цей кут впливає на характеристики випромінювання антени. Зменшення кута призводить до збільшення коефіцієнту підсилення (розмірів активної зони) та звуженню робочої смуги частот.

Подібно до антени Ягі, LPDA принципово складається із вібраторів, які працюють на основній першій моді коливання і конструктивно зручна для використання в дециметровому діапазоні. Але LPDA здатна працювати в набагато ширшій смузі пропускання. При цьому LPDA матиме менший коефіцієнт підсилення для еквівалентної кількості елементів.

Під час роботи діаграма направленості LPDA залишається в першому наближенні незмінною в усьому робочому діапазоні.

Typical gain

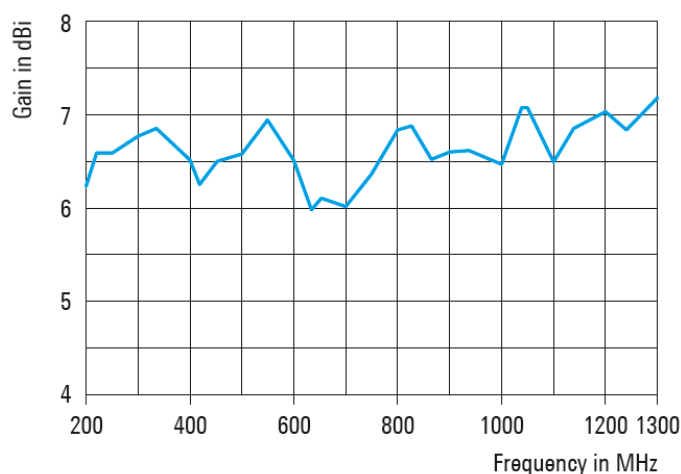


Рис. 1.1.3 - Графік коефіцієнта підсилення для логоперіодичної антени в діапазоні від 200 МГц до 1,3 ГГц

					РІ01.464655.001 ПЗ	Лист
						13
Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата		

З рис 1.1.3 видно, що коефіцієнт підсилення антени в діапазоні від 200 МГц до 1,3 ГГц становить порядку 6...8 дБ. Часто на практиці ефективність антени змінюється при різних частотах, коли на високих частотах антена має трохи нижчий коефіцієнт підсилення порівняно з низькими частотами.

Typical directional radiation patterns at 750 MHz

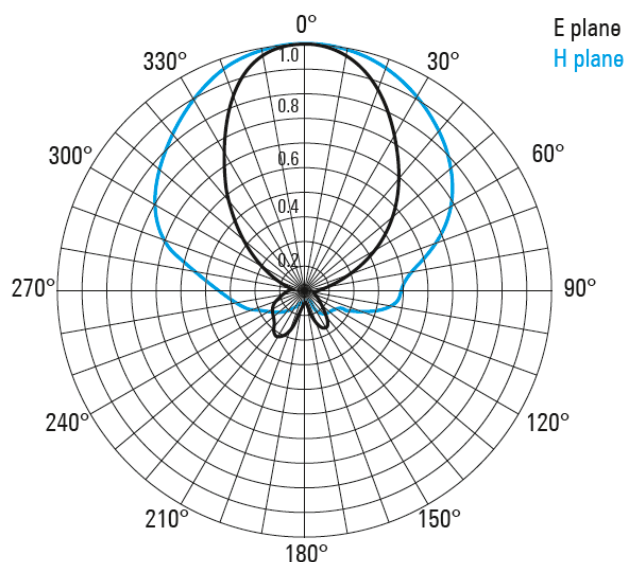


Рис 1.1.4 – Діаграма направленості логоперіодичної антени на частоті 750 МГц

На рис 1.4 зображено типову діаграму направленості для логоперіодичної антени на частоті 750 МГц. Де *E plane* - це площина, яка співпадає з напрямком електричного поля (*E*), що випромінюється або приймається антеною. Іншими словами, це площина, що містить вектор електричного поля і напрямок максимального випромінювання антени. *H plane* - це площина, в якій магнітне поле (*H*) випромінюється або приймається антеною. Це площина, що містить вектор магнітного поля і напрямок максимального випромінювання антени.

Логоперіодична антена використовується в багатьох областях, де потрібні широкі робочі смуги частот при середній направленості і значення коефіцієнту підсилення. Існує кілька основних сфер застосування антени: ВЧ зв'язок, наземне УВЧ-телебачення, при антенних вимірюваннях та вимірюванні електромагнітної сумісності, в радіорозвідці та системах радіоелектронної боротьби.

					PI01.464655.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						14
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ доквм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Тестування вимагає сканування частоти в широких діапазонах частот. Під час тестування випромінюючих структур потрібна антена, здатна забезпечити плоску характеристику в широкому діапазоні частот

З огляду на розмір, дещо більшу вагу і нижчий коефіцієнт підсилення, ніж в антенах Ягі, логоперіодична дипольна антена зазвичай не використовується так широко, як Ягі в системах БПЛА. Головною перевагою LPDA є унікально широка робоча смуга частот.

1.2 Рамкова антена

Рамкова антена — складається принаймні з однієї петлі дроту, трубки чи іншого електричного провідника, кінці якого з'єднані із симетричною лінією живлення (Рис. 1.2.1). Розрізняють дві різні конструкції рамкових антен: мала петля (або *магнітна петля*) з розміром, набагато меншим за довжину хвилі, і резонансна рамкова антена з окружністю, яка приблизно дорівнює довжині хвилі. Зазвичай ці антени також можуть використовуватися в дециметровому діапазоні частот від 300 МГц до 3 ГГц.



1.2.1 - Короткохвильова рамкова антена

Малі петлі мають низьку ефективність і в основному використовуються як приймальні антени на низьких частотах.

					PI01.464655.001 ПЗ	Лист
						15
Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата		

За винятком автомобільних радіоприймачів, майже кожен приймач АМ-мовлення, має таку антену, вбудовану або безпосередньо приєднану до неї. Рамкові антени також використовуються для радіопеленгації. В радіоаматорському радіо можна використовувати рамкові антени, де більші антени були б незручними непривабливими або неприйнятними через розмір. Рамкові антени відносно легко виготовити.

Невелика рамкова антена, також відома як магнітна петля, зазвичай має окружність менше однієї десятої довжини хвилі, і в цьому випадку розподіл струму вздовж провідника буде відносно постійним. У міру збільшення частоти або відносного до довжини хвилі розміру починає розвиватися стояча хвиля, і антена починає набувати деяких характеристик резонансної петлі (але не є резонансною); з цієї причини ці проміжні випадки не можна аналізувати за допомогою підходів, розроблених для малих і резонансних рамкових антен.

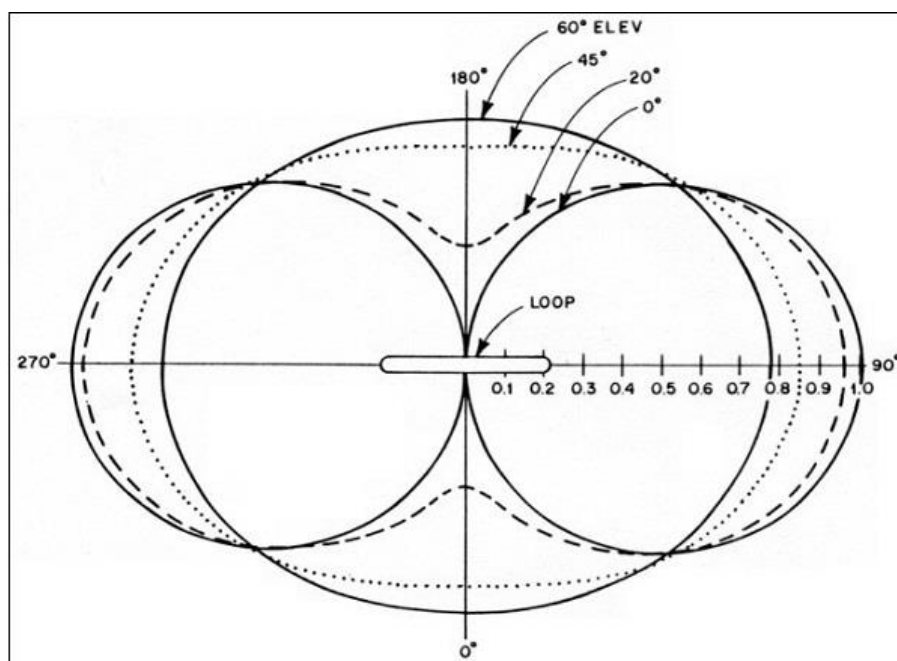


Рис 1.2.2 - Діаграма направленості для малих високоефективних рамкових антен

На діаграмі використовуються полярні координати, де кут азимута представлено навколо кругової осі. Різні лінії (пунктирні, пунктирні, суцільні тощо) представляють діаграму направленості під різними кутами місця (0° , 20° , 45° , 60°). Ці кути вимірюються від горизонтальної площини вгору.

Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата

в Е-площині. Теоретично подвоєння кількості дипольних елементів має подвоїти коефіцієнт підсилення, але на практиці втрати часто обмежують це збільшення підсилення. Колінеарні антенні решітки зазвичай працюють у діапазонах частот від 30 МГц до 3 ГГц, забезпечуючи покращений коефіцієнт підсилення та направленість порівняно із звичайними диполями.



Рисунок 1.3.1 — Колінеарні антени

Діаграма направленості колінеарних антен подібна до діаграми направленості одного диполя в горизонтальній площині, у вертикальній площині діаграма антени звужується зі збільшенням кількості диполів (рис. 1.3.2).

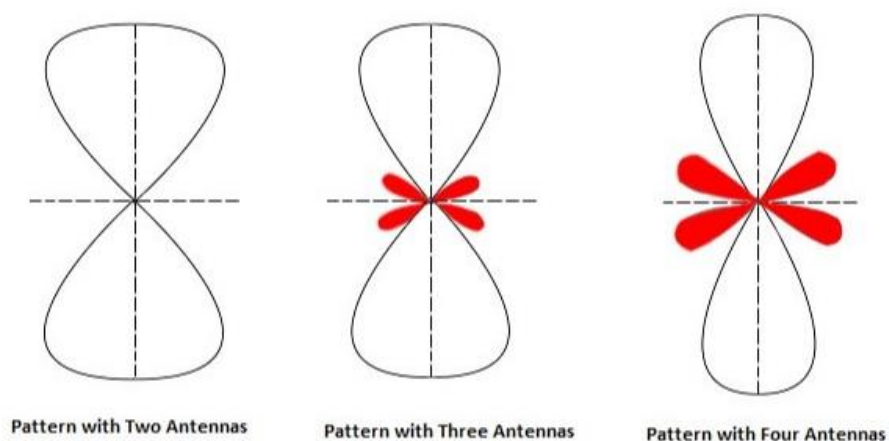


Рис 1.3.2 – Діаграма направленості для колінеарних антен з 2-ма, 3-ма та 4-ма диполями

Лівий малюнок на Рис. 1.3.2 відповідає конфігурації колінеарної антени з 2-ма диполями, що призводить до двох головних пелюсток, спрямованих у протилежних напрямках. Потужність сигналу є максимальною у двох протилежних напрямках і мінімальною під кутом 90 градусів до цих напрямків. На другому малюнку (рис. 1.3.2) використовуються три колінеарних диполя, діаграма направленості показує три чіткі пелюстки, а на третьому 4 відповідно. Видно, що із збільшенням кількості колінеарно розташованих диполів звужується діаграма направленості антени, збільшується кількість бічних пелюстків (виділені червоним кольором)

Штиркова антена - складається з гнучкого або жорсткого вертикального металевого стержня; використовується в мобільних телефонах, портативних радіостанціях і автомобільних антенах.



Рисунок 1.3.3 — Штиркова антена

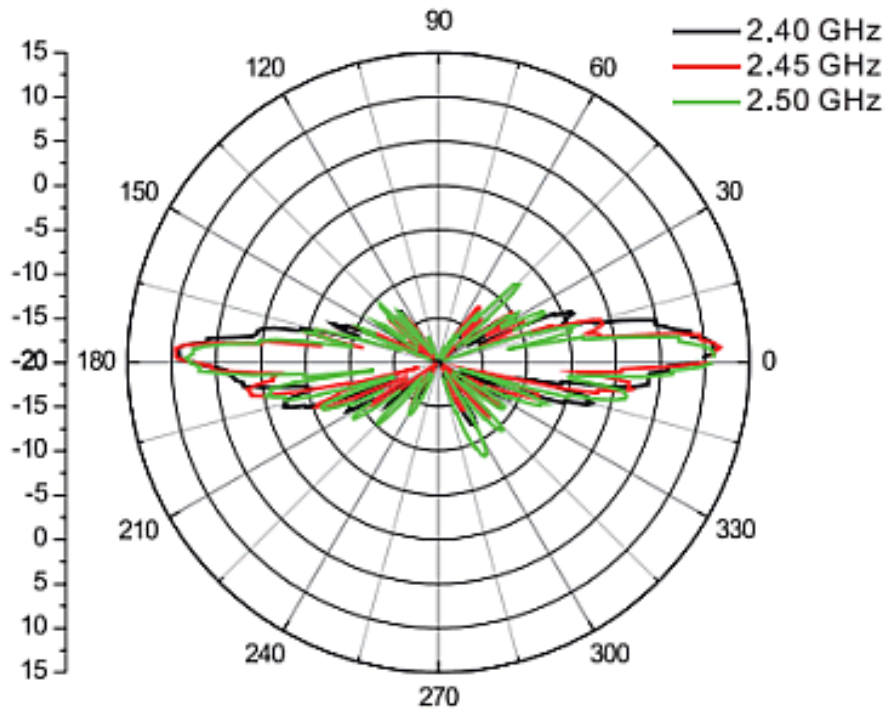


Рис 1.3.4. – Діаграма направленості штиркової антени на трьох різних частотах: 2,4, 2,45 та 2,5 ГГц

Діаграма направленості антени змінюється з частотою. Відмінності в чорних, червоних і зелених лініях ілюструють, як діаграма направленості реальної антени змінюється на 2,4 ГГц, 2,45 ГГц і 2,5 ГГц з урахуванням геометрії об'єкта. Значення коефіцієнта підсилення (в дБ) вказують на `hsdtum` сигналу в різних напрямках.

Вібратор Пістолькорса - складається з двох однакових провідників, розташованих вздовж однієї вісі. Вібратор з вертикальним розташуванням має майже всеспрямовану діаграму направленості в горизонтальній площині.



Рисунок 1.3.5 —Петльовий вібратор Пістолькорса

На рисунку 1.3.4а показано типову діаграму направленості для петльового вібратора Пістолькорса у двох вимірах (X і Y). Діаграма направленості в координатах XZ близька до ідеальної всеспрямованої антени . Діаграма направленості диполя в трьох вимірах (рис. 1.4.4б) нагадує бублик і її часто називають діаграмою направленості у формі “бублика”. Поляризація антени є лінійною.

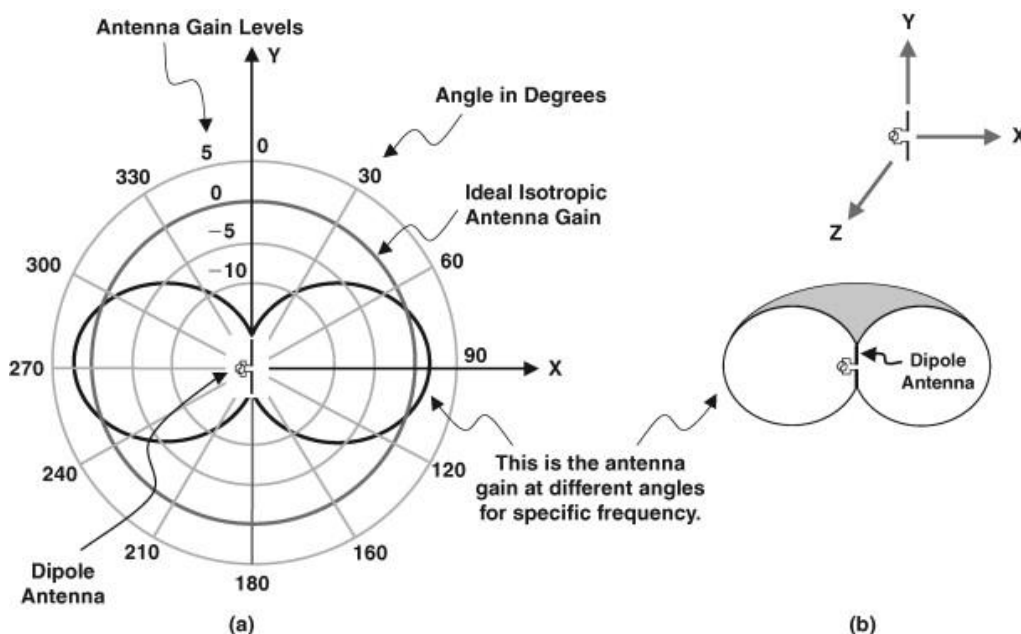


Рис. 1.3.6 – Типова діаграма направленості для петльового вібратора Пістолькорса

Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата

1.4 Вібраторна антена типу «хвильовий канал»

Антени типу «хвильовий канал» (рис. 1.4.1) широко застосовуються як приймальні телевізійні, як приймальні й передавальні в системах бездротової передачі даних, в радіоаматорському зв'язку, в спеціальних системах зв'язку, в радіолокації. Широкому їх поширенню сприяють високий коефіцієнт підсилення, хороші характеристики направленості, відносна компактність, простота і невелика маса.

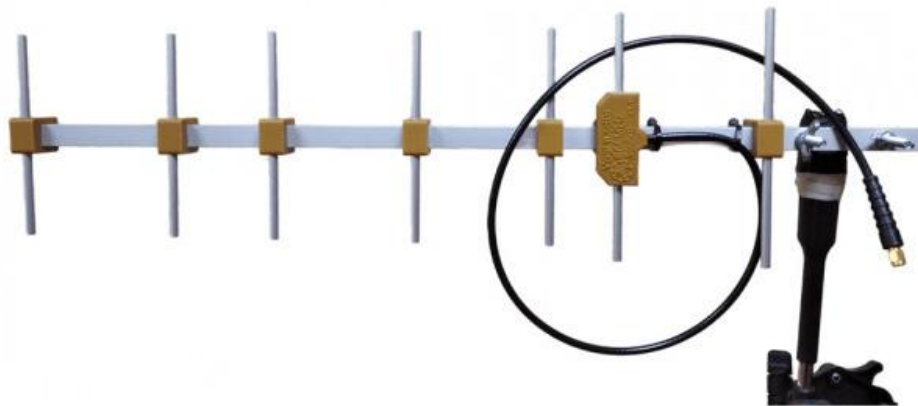


Рис 1.4.1 – Вібраторна антена типу «хвильовий канал» також відома як антена Ягі

Антену застосовують в діапазонах, починаючи з коротких хвиль, в діапазонах метрових і дециметрових хвиль і на вищих частотах (на НВЧ-діапазонах).

Антена Ягі випромінює енергію електромагнітного поля в напрямку, що йде від активного елемента до директора(ів), і відповідно найбільш чутлива до вхідної енергії електромагнітного поля в цьому самому напрямку в приймальному режимі. Чим більше директорів має налаштована антена типу “хвильовий канал”, тим більший стає коефіцієнт підсилення і тим довшою стає антена. Цей тип антени став особливо популярним для прийому сигналів телебачення, але він також використовується в ряді інших побутових і комерційних застосувань, де потрібна радіочастотна антена з високим коефіцієнтом підсилення та направленістю.

					РІ01.464655.001 ПЗ	Лист
						22
Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата		

Головний пелюсток зазвичай спрямований вперед уздовж осі антени, тобто в напрямку директора. Бічні пелюстки менші за амплітудою порівняно з головною пелюсткою. Їх наявність знижує загальну направленість антени. Тому при розробки конструкції антени часто намагаються мінімізувати рівень бічних пелюсток і заднього випромінювання.

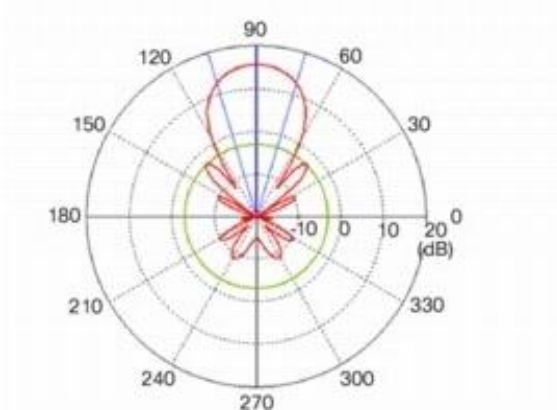


Рис 1.4.2 – Діаграма направленості вібраторної антени типу «хвильовий канал»

Варто відзначити широке застосування антен Ягі у військовій техніці. Цікавим є використання цього типу антен в складі ретрансляторних систем для БПЛА завдяки своїй високій ефективності та здатності забезпечувати надійний зв'язок на великій відстані (більше 50 км).



Рис 1.4.3 – БПЛА з використанням антени типу «хвильовий канал» в ролі ретранслятора

На рисунку 1.4.3 зображено сучасний БПЛА, що оснащений такою антеною на частоті 1,2 ГГц. Трохи вище знаходиться спіральна антена для

					РІ01.464655.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						23
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ доквм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

робочого діапазону частот 5,8 ГГц, яка використовується для одержання більш контрастного зображення цілі на фоні завад. Зліва знаходиться навігаційна антена, яка передає сигнал керування від оператора до безпілотної авіації, завдяки чому можна змінювати висоту, швидкість, напрямок та інші параметри безпілотної авіації.

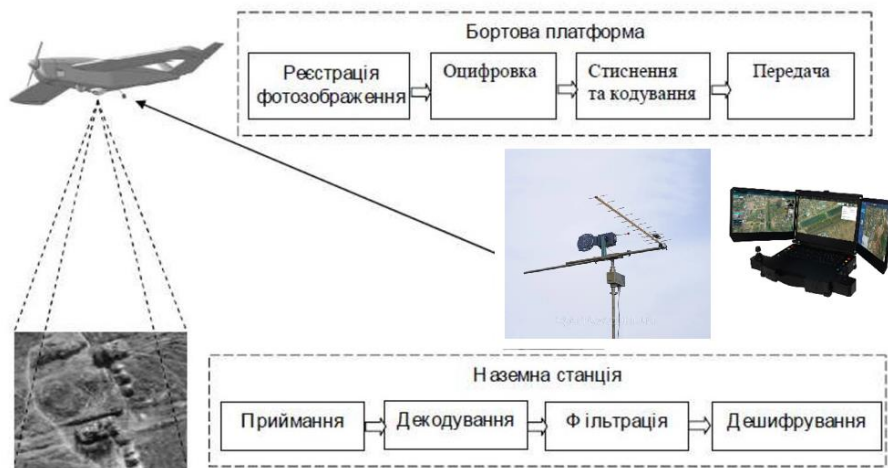


Рис 1.4.4 – Структурна схема обробки радіосигналу у БПЛА

На рисунку 1.4.4 зображено структурну схему обробки радіосигналу у БПЛА. Безпілотної авіації приймає сигнал, реєструє фотозображення, оцифровує його, стискає та передає до земної станції, яка в свою чергу приймає цей сигнал декодує, фільтрує та дешифрує цей сигнал, щоб в кінцевому результаті отримати чітке зображення для роботи оператора.

Отже, таким чином, кожен з розглянутих в розділі типів антен має свої специфічні властивості, переваги та недоліки, що робить їх більш придатними для різних умов експлуатації та застосувань.

Логоперіодична антена, яка є досить близька до антен типу «хвильовий канал», при широкій смузі частот програє антені Ягі по коефіцієнту підсилення

і вазі. Оскільки при застосуванні на БПЛА ці параметри є ключовими, антена Ягі обрана для подальших досліджень.

РОЗДІЛ 2

ОГЛЯД ТРЬОХЕЛЕМЕНТНОЇ АНТЕНИ ТИПУ «ХВИЛЬОВИЙ КАНАЛ»

2.1 Детальне ознайомлення з антеною типу «хвильовий канал»

Антенна Ягі відноситься до антен біжучої хвилі із направляючими директорними структурами, тобто має у своєму складі елементи, які збуджуються випроміненням активного елемента за рахунок електромагнітного зв'язку. Цей тип антен отримав свою назву за ім'ям одного з його винахідників, японського професора Ягі. Іноді використовується найменування «антени Уда-Ягі», а в україномовних джерелах такі антени іноді називають антенами типу «хвильовий канал». Ця конструкція антен була спеціально розроблена для метрового і дециметрового діапазону радіохвиль. Антени дуже популярні з причини простоти конструкції та відносно високого коефіцієнту підсилення. Як правило, їх відносять до антен середньої направленості. Окрім радіозв'язку, антени цього типу застосовуються й у радіолокації.

В антенах використовується взаємодія між елементами, в яких виникають стоячі хвилі струму, в результаті чого виникає біжуча хвиля з вираженою діаграмою направленості. Така антена складається з одного або кількох активних вібраторів (диполів) і додаткових пасивних елементів. Елементи антени зазвичай приварюються а прикріплюються гвинтами до провідного або діелектричного стрижня або трубки, що називають траверсою. Точка з'єднання вібраторів із траверсою відповідає середині елемента із нульовим потенціалом. Така конструкція траверсу має на меті лише забезпечення механічної міцності антени і не впливає на її робочі характеристики. Оскільки активний елемент має центральне живлення, він не приварюється до опорного стрижня в точці живлення. Вхідний імпеданс антени може бути збільшений шляхом використання петльового вібратора Пістолькорса у якості активного елемента.

					РІ01.464655.001 ПЗ	Лист
						25
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

2.2 Будова трьохелементної антени

Трьохелементна антена типу «хвильовий канал» часто використовується в бездротових комунікаційних системах. Основна ідея трьохелементної антени типу «хвильовий канал» полягає у використанні трьох окремих вібраторів, які розташовані в певній геометричній конфігурації для максимального приймання та випромінювання сигналів. Ці вібратори зазвичай розташовані паралельно один одному, що створює «хвильовий канал» для передачі сигналів.

Перевагою трьохелементної антени типу «хвильовий канал» є її висока направленість, що дає на практиці перевагу в умовах складних середовищ, таких як міські області з великою кількістю перешкод або зонах з високим рівнем шуму. Крім того, цей тип антени може бути легко адаптований до різних частотних діапазонів та систем зв'язку.

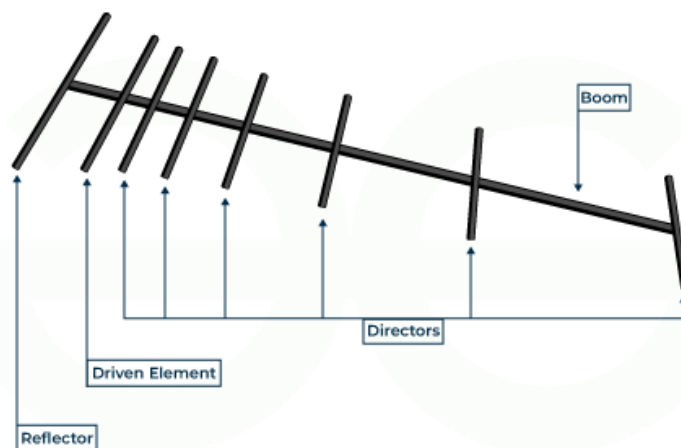


Рис 2.2.1 - Схема антени «хвильовий канал»

Антена складається з стержня траверси (Boom) на якому кріпляться всі інші елементи, а саме активний вібратор (Driven Element), який є ключовим для передачі та прийому сигналу. Всі інші елементи працюють в пасивному режимі за рахунок електромагнітного зв'язку. Рефлектор (Reflector) розташований позаду керованого елемента. Функції рефлектора – зменшення рівня заднього випромінювання антени. По суті рефлектор перевідбиває в напряму головного випромінювання електромагнітну хвилю, що поширюється в задньому напрямку від активного елемента.

					РІ01.464655.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата		26

Це приблизно в два рази збільшує коефіцієнт підсилення антен. Останніми елементами такої антени є направляючі директори (Directors), які розташовані перед активним елементом. Вони слугують для покращення характеристик направленості антени. Ретельно регулюючи кількість і відстань між директорами, можна досягти високих коефіцієнтів підсилення в антенах цього типу.

2.3 Принцип дії трьохелементної антени

Радіочастотна (РЧ) електромагнітна хвиля від активного елемента досягає пасивного вібраторного елемента антени, наводить на ньому струс та індукуює другу радіочастотну хвилю за законом Фарадея (Рис. 2.3.1). Хвилі з різними фазовими зсувами складаються і дають випромінювання, що рухається вперед, яке додається до хвилі наступних директорів направляючої структури випромінювання (Director Emission), утворюючи загальну результуючу хвилю більшої амплітуди. РЧ-хвиля директора, що рухається назад до рефлектора, майже на 180 градусів зміщена по фазі відносно хвилі випромінювання рефлектора, і обидві майже гасять одна одну. Подібний аналіз рефлектора показує, що хвилі, які рухаються в напрямку директора також додає свої хвилі, створюючи ще більшу хвилю. Однак хвилі рефлектора, що поширюються від задньої частини антени назад, віднімаються, зменшуючи рівень заднього випромінювання. Графічно дані процеси проілюстровані на Рис. 2.3.1, 2.3.2.

					РІ01.464655.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		27

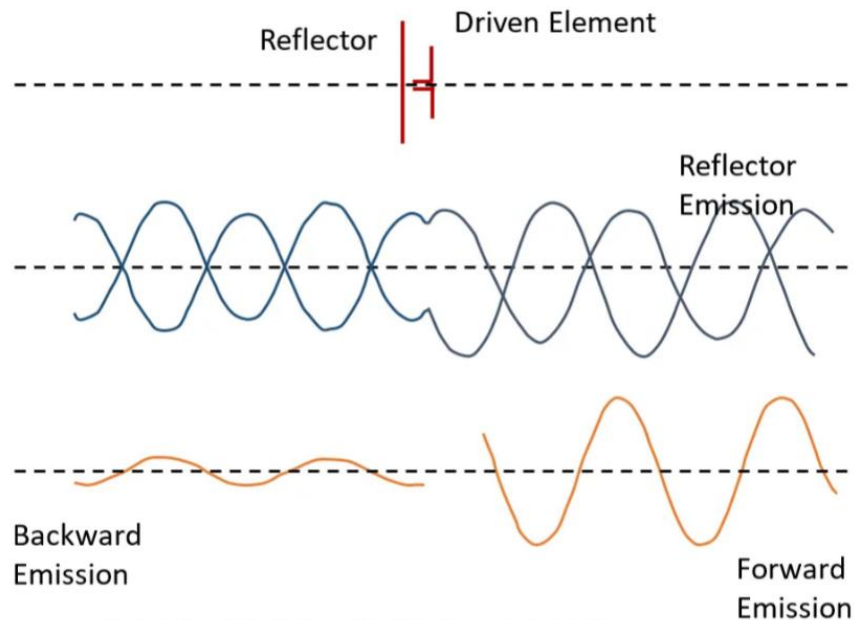


Рис 2.3.1- Принцип роботи антени Ягі

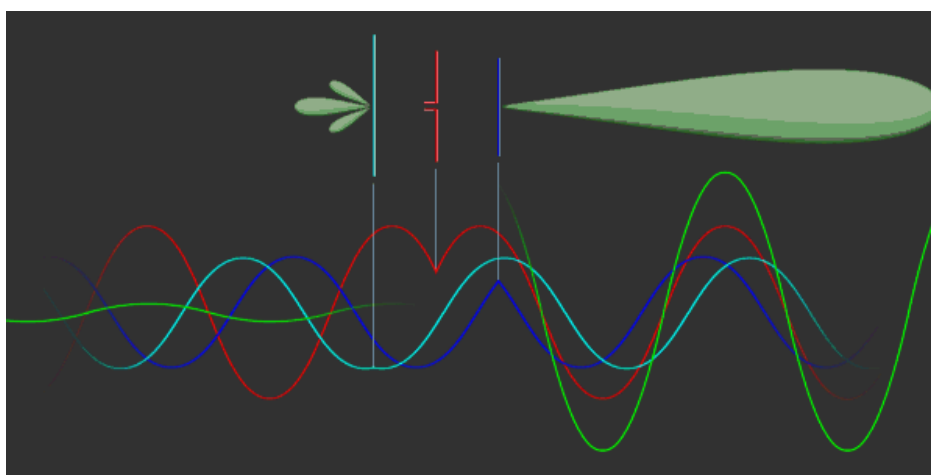


Рис 2.3.2 - Трьохелементна антена, суперпозиція коливань, викликаних активним елементом, рефлектором та директором

2.4 Переваги та недоліки трьохелементної антени

У порівнянні з іншими антенами, трьохелементна антена має відносно невисокий коефіцієнт підсилення порядку 7дБ і чітко сформований промінь діаграми направленості із шириною біля 80 градусів при рівні заднього випромінювання нижче -10дБ.

Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата

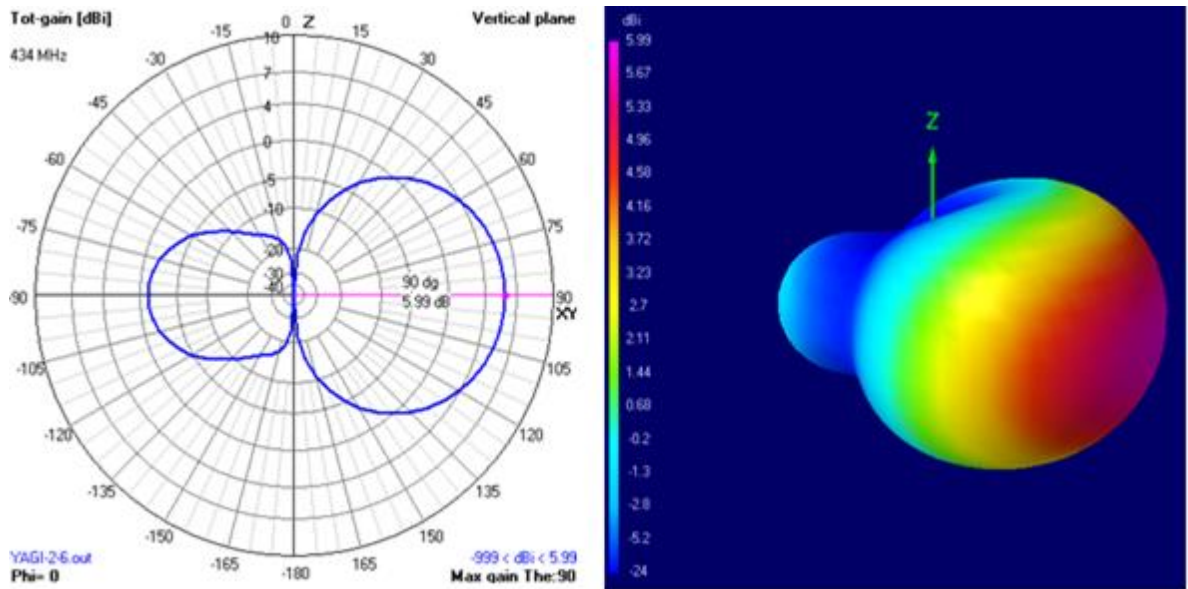


Рис 2.4.1 – Типовий вигляд не нормованої діаграми направленості

Завдяки своїй конструкції з активним вібратором, рефлекторами та директорами, антена може мати високий коефіцієнт підсилення та ККД. Ця антена добре працює в умовах обмеженої прямої видимості або в населених місцях. Завдяки компактній конструкції та високій направленості, антени можуть бути відносно невеликими і легкими. Відмітимо, що збільшення коефіцієнту підсилення можливе при збільшенні кількості директорних елементів, отже при збільшенні загальних габаритів антени. Це може набагато ускладнити її встановлення та транспортування в багатьох випадках. Тому проєктування таких антен завжди пов'язане із компромісом між вимогами до габаритних розмірів і максимально досяжним коефіцієнтом підсилення.

Один з недоліків таких антен є те, що вони резонансні за природою і найкраще працюють у невеликому діапазоні частот. Це означає, що вони можуть не так добре працювати з сигналами за межами цього діапазону. Недоліком також є довгі антени Уда-Ягі вони можуть бути занадто великими, якщо місця мало. У таких випадках було б краще переглянути інші варіанти антени.



Рис 2.4.2 - Зліва направо на траверсі змонтовані рефлектор, активний вібратор і директор. Добре видно, що рефлектор трохи довший за активний вібратор, а директор коротший.

2.5 Огляд реальних аналогів

Антени Ягі виробляють різні виробники по всьому світу. Нижче наведено деякі антени українських та світових виробників, які мають значну репутацію на ринку та пропонують широкий асортимент продукції для різних застосувань.

Уда-Ягі від українського виробника **AIR 3F**. Діапазон частот такої антени 740-790 МГц або 915-1000 МГц. З основних характеристик потрібно визначити- коефіцієнт стійкості напруги до спектрального відношення (VSWR): менше 1,2. Імпеданс дорівнює 50 Ом. Антена з лінійною поляризацією.



Рис 2.5.1 Антена від виробника **AIR 3F**

					PI01.464655.001 ПЗ	Лист
						30
Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата		

З рис 2.5.1 видно, що антена має 3 директора, 1 рефлектор та 1 активний вібратор.

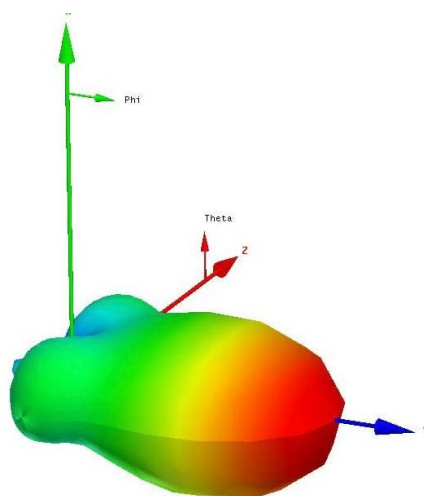


Рис 2.5.2 - 3D вигляд діаграми направленості антени (Рис. 2.5.1)

З рисунку чітко видно, що антена має одну головну пелюстку та дві бічних. Рис. 2.5.2 показує, що антена є вузьконаправленою.

Наступну антену розглянемо від виробника **Team Black-Sheep**. Вона зроблена для діапазона 915 МГц, має 2 директора, 1 рефлектор та петльовий вібратор.



Рис 2.5.3 – Антена від виробника Team Black-Sheep

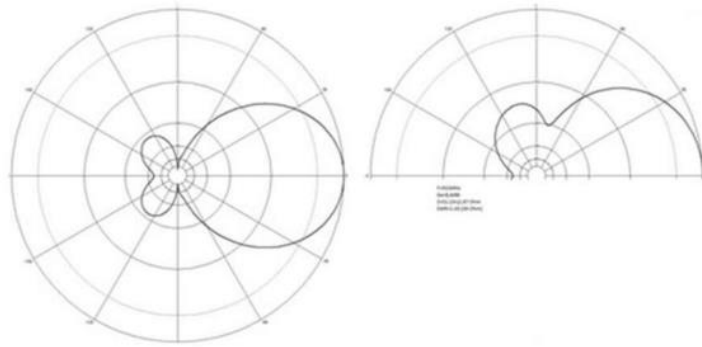


Рис 2.5.4 – Діаграма направленості антени від виробника Team Black-Sheep

Як видно з рисунку 2.5.4 ця антена також має одну головну пелюстку та дві бічних в рази менші за головну, які виникли у результаті відбиття хвилі.

					PI01.464655.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лис	№ докв.	Підпис	Дата		32

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ У ПРОГРАМНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ CST

3.1 Вібраторна антена типу «хвильовий канал» із 3 елементів

3.1.1 Моделювання антени

Було створено 3D модель в програмному середовищі CST Microwave Studio трьохелементної антени, яка складається з стрижня та 3 елементів. Якщо бути точнішим то: 1 рефлектора 1 директора та 1 активного вібратора(у нашому випадку петльовий вібратор), рис 3.1.1.1.

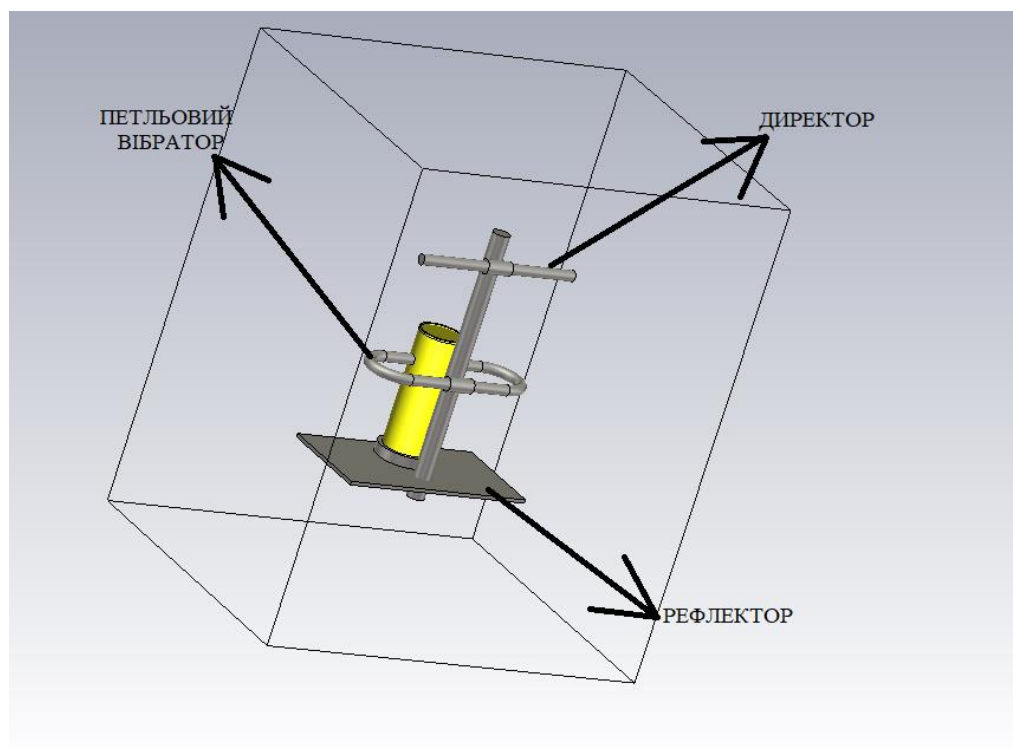


Рис 3.1.1.1 – Змодельована 3-елементна антена

Далі буде розглянуто параметри, які були використанні для побудови трьохелементної антени типу «хвильовий канал». Варто зазначити, що параметри були розраховані в ході дослідження антени, так щоб вона задовольняла усім вимогам заданими в технічному завданні на проєкт.

					PI01.464655.001 ПЗ	Лист
						33
Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата		

Для побудови антени використано директор довжиною 94 мм та діаметром 6 мм, активний петльовий вібратор такою ж шириною та діаметром як у директора. Відстань між ними становить 59,2 мм. Тоді як відстань між рефлектором та активним петльовим вібратором становить 51,3 мм.

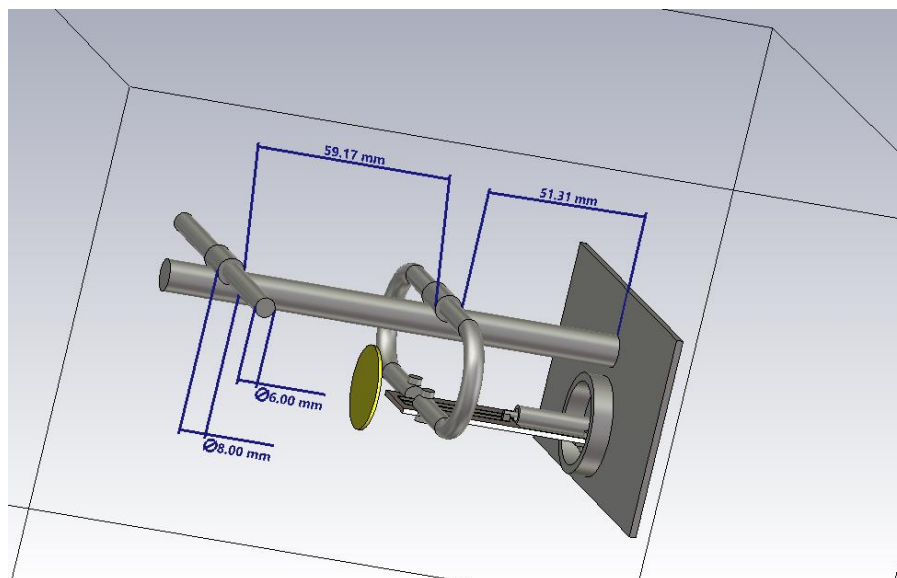


Рис 3.1.1.2

В якості рефлектора використовується металевий лист шириною 108,4 мм, довжиною 60 мм та товщиною 2 мм. Жовтий діелектричний корпус, який виконує захисну функцію для плати, яка знаходиться всередині нього, має діаметр 25 мм. (рис. 3.1.1.3)

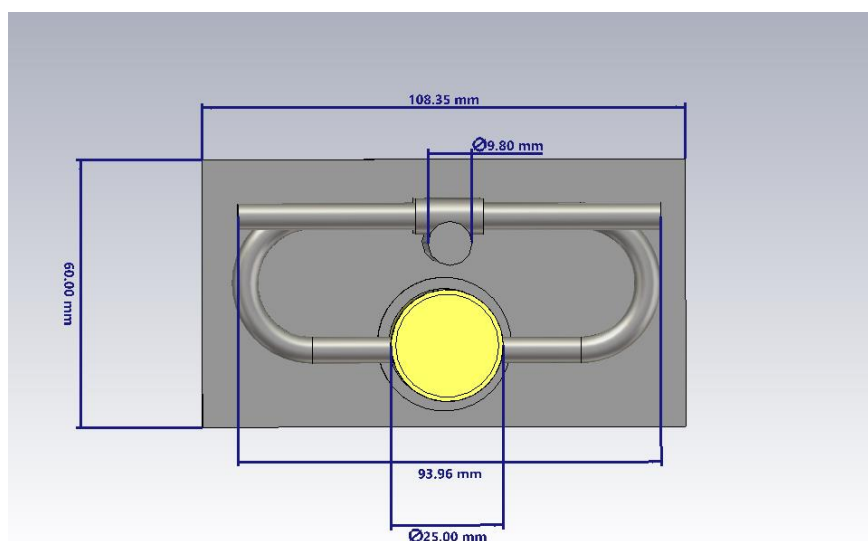


Рис 3.1.1.3

Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата

PI01.464655.001 ПЗ

Лист

34

Живлення петльового вібратора Пістолькорса реалізовано за рахунок друкованої плати, яка містить перехід з коаксіальної лінії на симетричну друковану двопровідну лінію, до якої електрично під'єднуються плечі петльового вібратора Пістолькорса. Плата живлення, має ширину 20 мм та довжину 61,8 мм. На ній розташовано два паралельних провідника шириною 4,10 мм та відстанню між ними (зазору) 0,70 мм. Вони забезпечують ефективний прийом і передачу сигналу, знижуючи втрати і покращуючи імпедансну характеристику антени. Довжина першого провідника 59,74 мм, а другого 32,29 мм. Коротший провідник під'єднаний до внутрішньої жили коаксіального кабелю діаметром 5 мм. (рис 3.1.1.4)

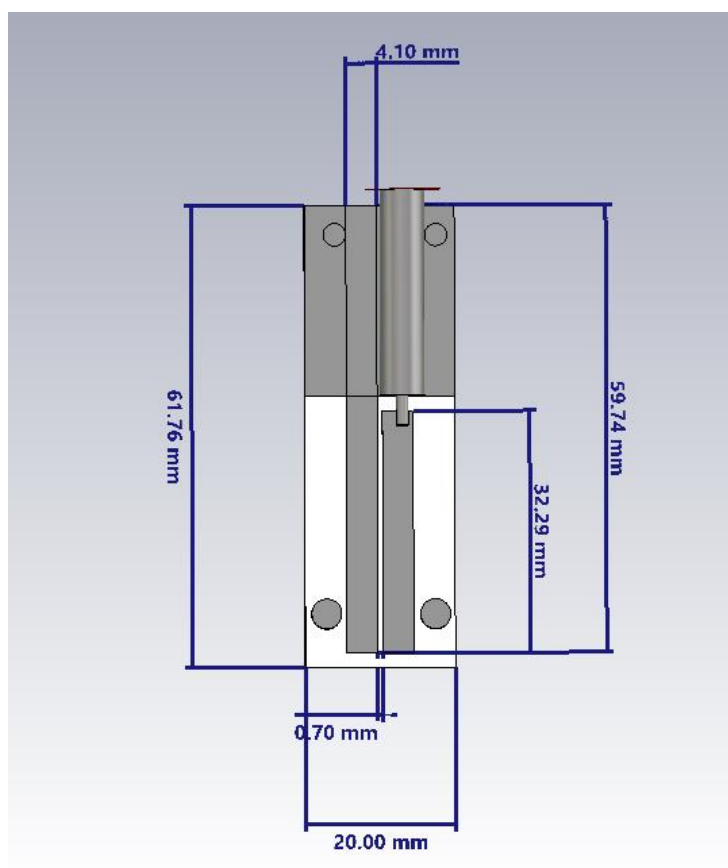


Рис 3.1.1.4

На рис 3.1.1.5 показано, як розташована плата живлення активного вібратора Пістолькорса разом із вхідним коаксіальним кабелем із хвильовим опором 50 Ом.

					РІ01.464655.001 ПЗ	Лист
						35
Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата		

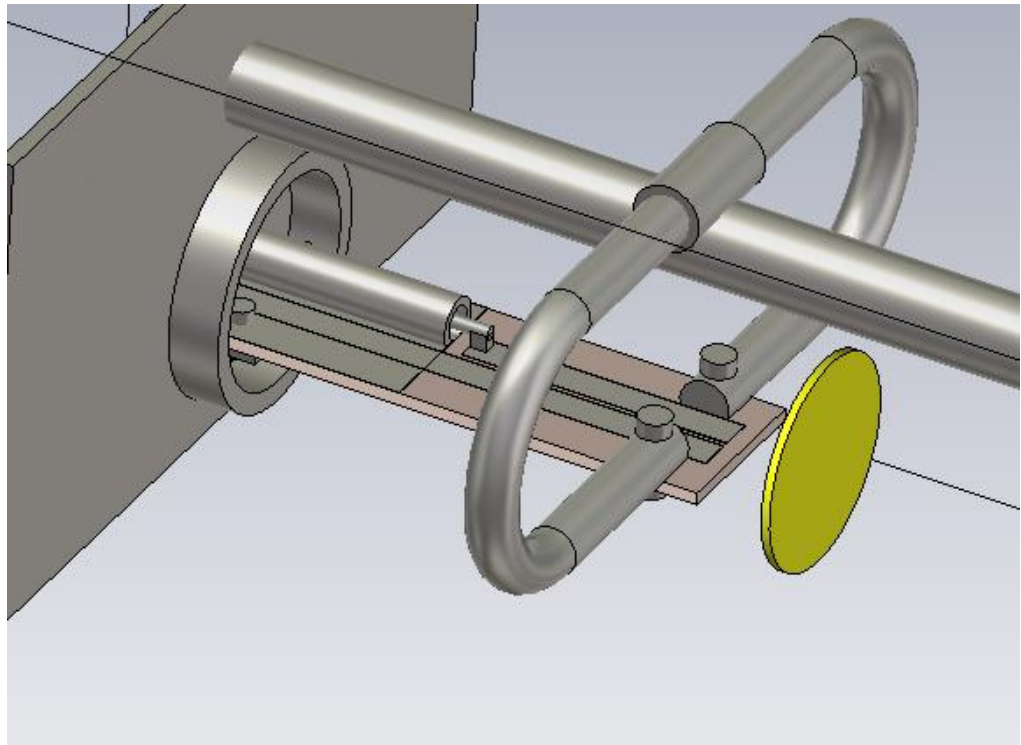


Рис 3.1.1.5 – Живлення вібратора Пістолькорса

3.1.2 S-параметри та КСХН

Із змодельованої антени отримуємо такі значення S-параметрів:

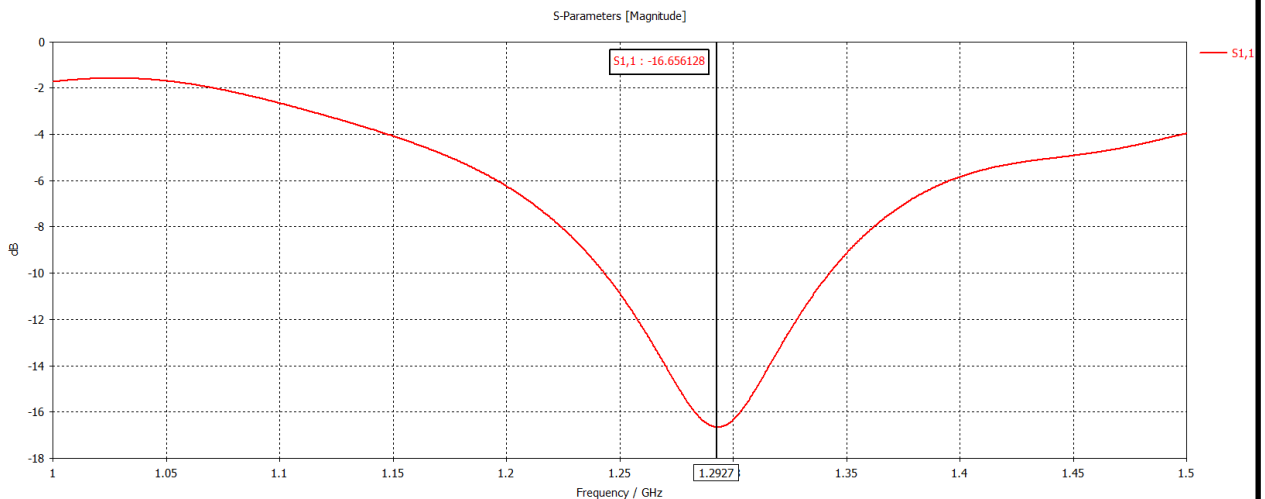


Рис 3.1.2.1 – Залежність S-параметрів від частоти в діапазоні 1-1.5 ГГц

Червона лінія – це параметр S11, який вказує на коефіцієнт відбиття сигналу від порту 1. Глибокий мінімум цієї залежності близько 1.29 ГГц показує частоту резонансу та рівень узгодження, на якій імпеданс антени найближчий до імпедансу джерела, що призводить до мінімізації відбиття від входу антени.

Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата

PI01.464655.001 ПЗ

Лист

36

Коефіцієнт стоячої хвилі по (КСХН) – показник, що визначає якість узгодження навантаження (антени) з лінією живлення (фідером).

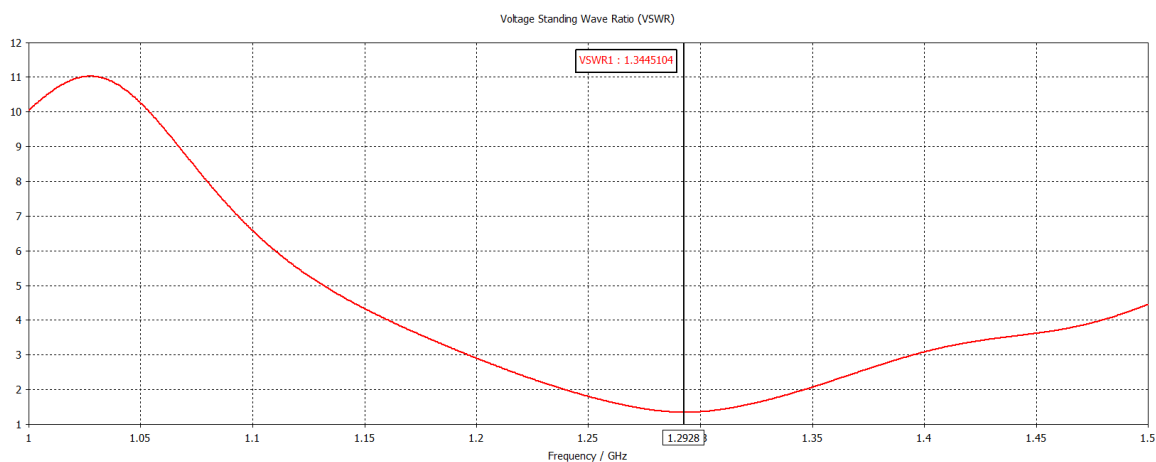


Рис 3.1.2.2 - Частотна залежність КСХН для лінійної поляризації

КСХН відносно частоти приблизно 1.34 означає, що в такій системі досягнуто досить добрий рівень узгодження. Хоча це не ідеальне значення КСХН=1, це все ще означає, що абсолютно більша частина потужності передається до навантаження з невеликим відбиттям.

3.1.3 Діаграма направленості

На Рис. 3.1.3.1 зображено графік ДН, який показує, як антена випромінює або приймає електромагнітну енергію в різних напрямках. Вона складається з головного пелюстка, що вказує на напрямок найбільшого випромінювання, і бічних пелюстків, що представляють небажані напрямки випромінювання. Основні параметри діаграми направленості включають ширину кутового сектора за рівнем половини потужності (або -3дБ). Діаграма направленості може бути відображена в азимутальній (горизонтальній) та кутомісній (вертикальній) площинах і використовується для аналізу та оптимізації характеристик антени.

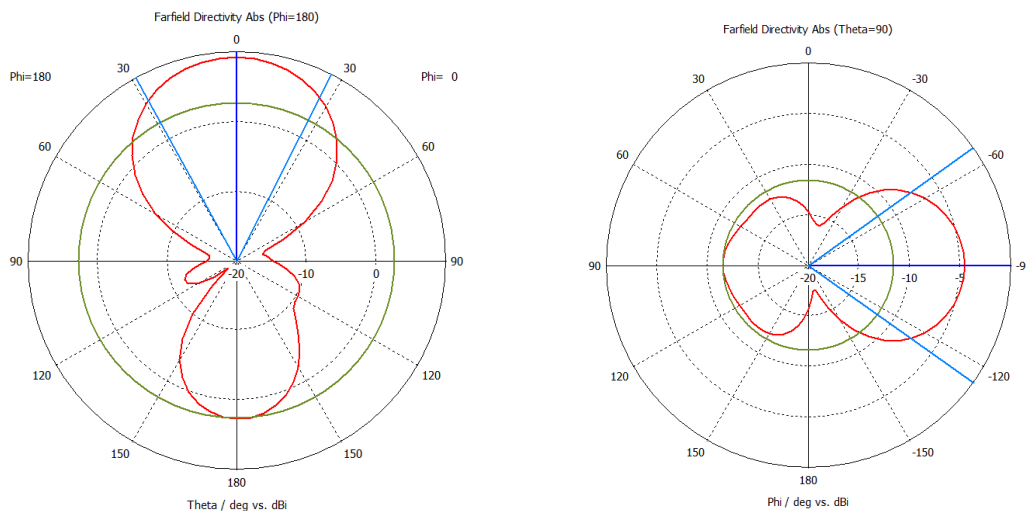


Рис 3.1.3.1 – Графік ДН у горизонтальній та вертикальній площинах відповідно на частоті 1,29 ГГц

На рисунку 3.1.3.1 показано графік ДН у горизонтальній та вертикальній площині, де червона лінія це основна ДН при частоті 1,29 ГГц. Вона показує, як антена випромінює енергію в різних напрямках тобто коефіцієнт підсилення. Зелене коло це такий собі орієнтир, який зазвичай використовується для кращого розуміння масштабу, на графіку воно знаходиться на рівні – 20 дБ. Кут на пряму, який зображено синіми лініями показують кутову ширину основного променя, тобто вони вказують на межі кута, в яких сигнал зменшується на 3 дБ від максимуму.

Тепер зобразим ДН у 3D візуалізації (рис. 3.1.3.2), для того щоб мати повне уявлення про те, як антена випромінює або приймає електромагнітну енергію в усіх напрямках. Це дозволяє побачити об'ємний розподіл випромінювання антени, що є корисним для розуміння її характеристики та налаштування.

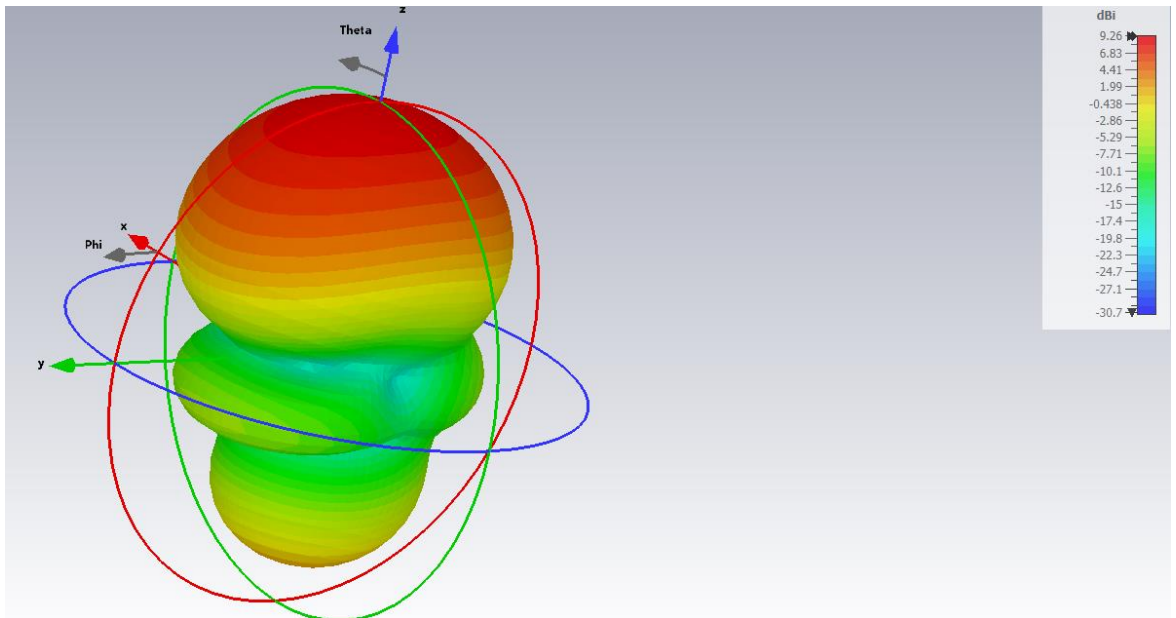


Рис 3.1.3.2 - — Зображення ДН у 3D візуалізації

На рисунку 3.1.3.2 наглядно видно кольорову градацію коефіцієнта підсилення відносно направленості сигналу.

З наведених графіків маємо такі числові результати:

Таблиця 3.1.3.1

Коефіцієнт підсилення	9,22 дБ
Напряг головної пелюстки	0 градусів
Ширина головного пелюстка при знижені на 3 дБ	55 градусів
Рівень заднього пелюсток	-6,5 дБ

Повторимо такі ж дії з різними кількостями директорних елементів для порівняння результатів

3.2 Вібраторна антена типу «хвильовий канал» із 5 елементів

3.2.1 Моделювання антени

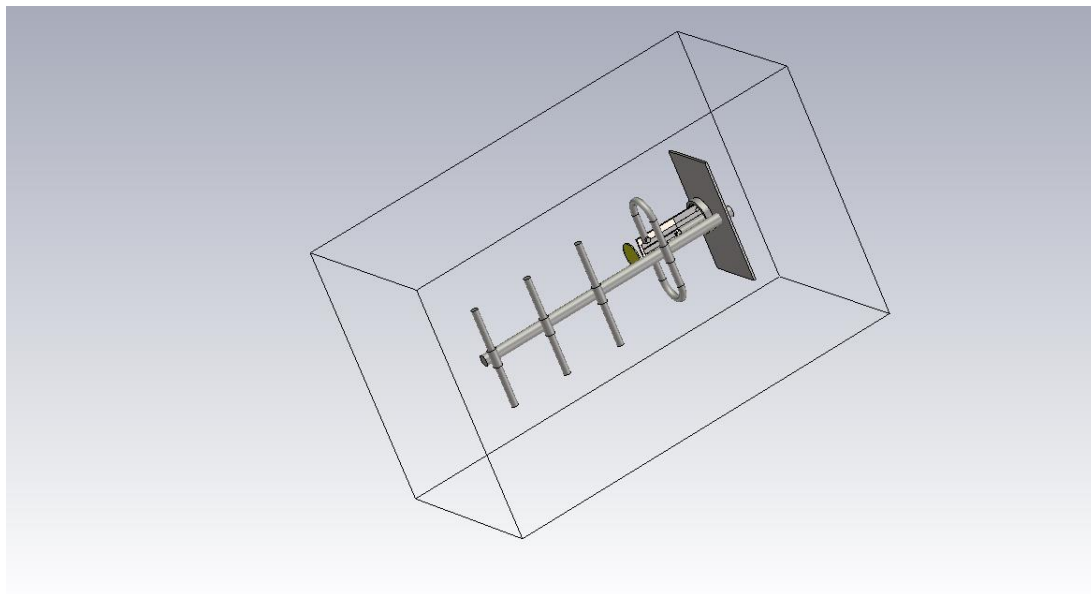


Рис 3.2.1.1 – 3D модель 5-елементної антени

На рис 3.2.1.1 можемо бачити змодельовану антену, яка складається з 3 директорів, 1 петльового вібратора та 1 рефлектора.

Відстань між директорами становить 43,7 мм.

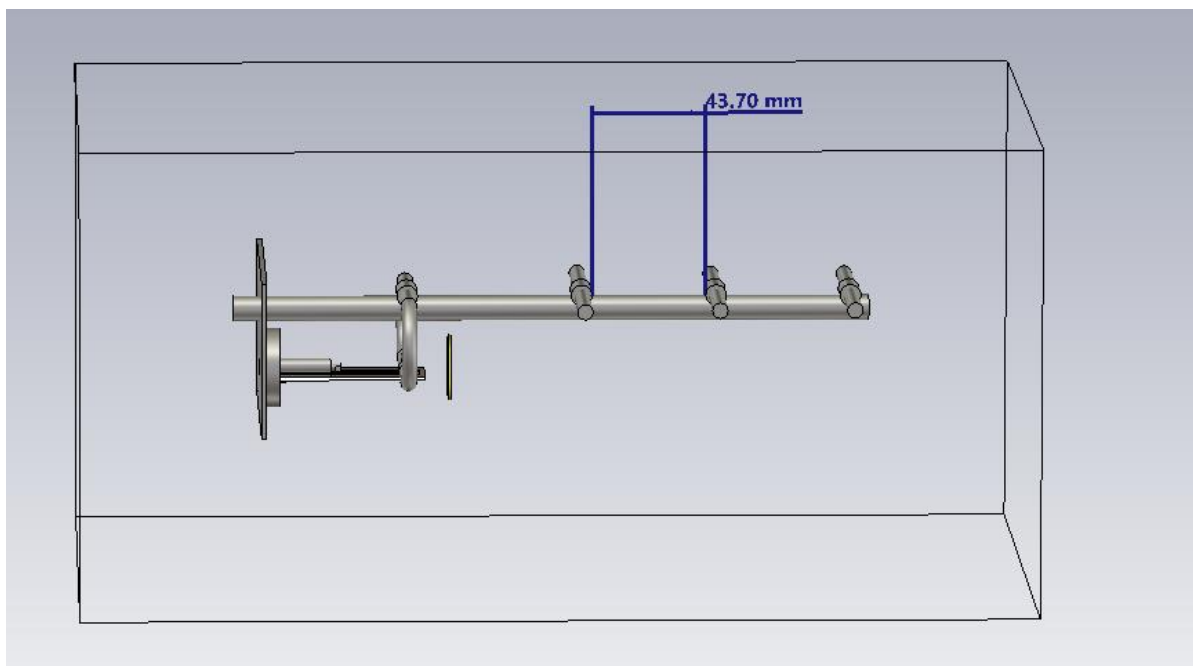


Рис 3.2.1.2

Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата

PI01.464655.001 ПЗ

Лист

40

3.2.2 S-параметри та КСХН

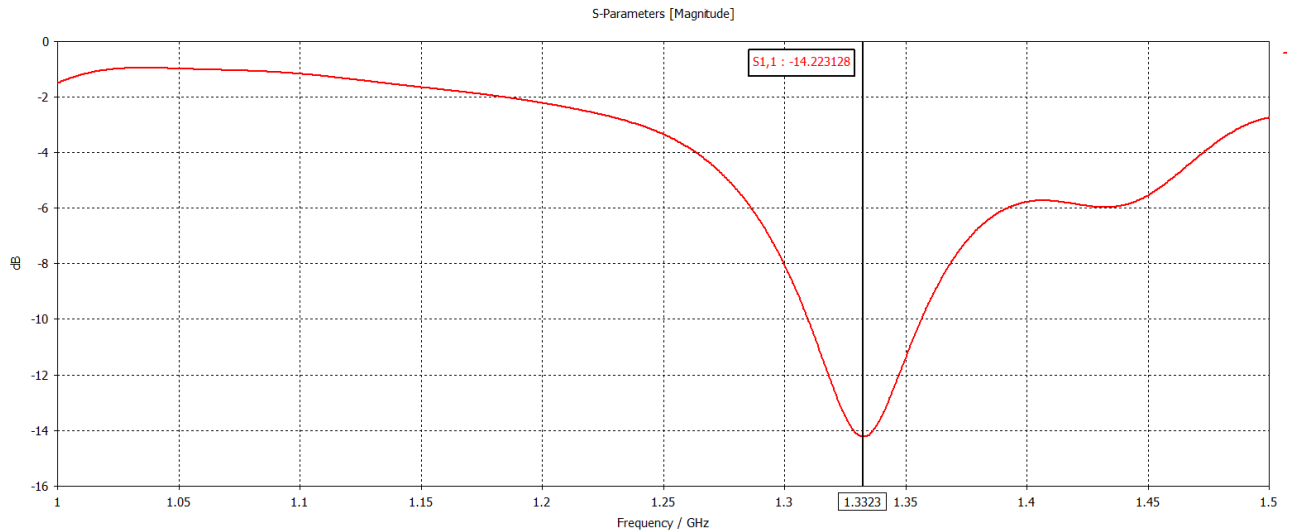


Рис 3.2.2.1 – Залежність S-параметрів від частоти в діапазоні 1-1.5 ГГц

Червона лінія – це параметр S11, який вказує на коефіцієнт відбиття сигналу від порту 1. Глибокий мінімум цієї залежності близько 1.33 ГГц показує частоту резонансу або узгодження, на якій імпеданс антени найближчий до імпедансу джерела, що призводить до мінімізації відбиття антени.

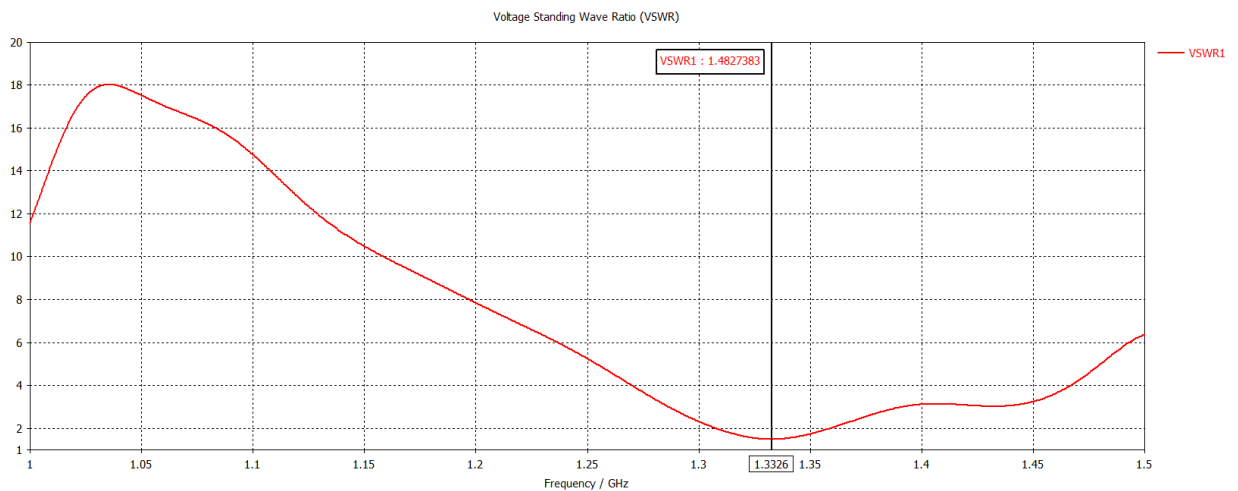


Рис 3.2.2.2 – Частотна залежність КСХН 5-елементної антени типу хвильовий канал

Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата

PI01.464655.001 ПЗ

Лист

41

3.2.3 Діаграма направленості

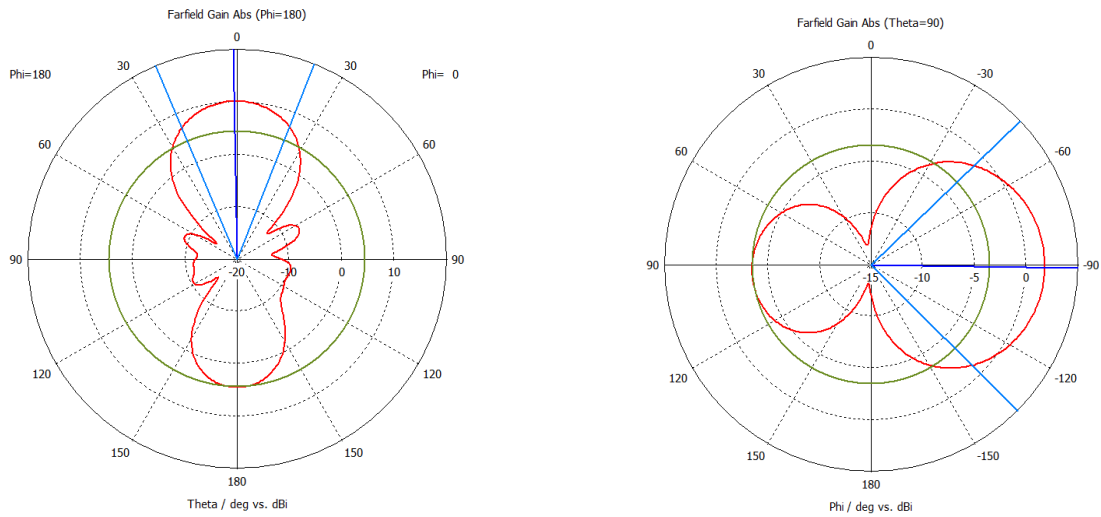


Рис 3.2.3.1 - Графік ДН у горизонтальній та вертикальній площинах відповідно на частоті 1,33 ГГц

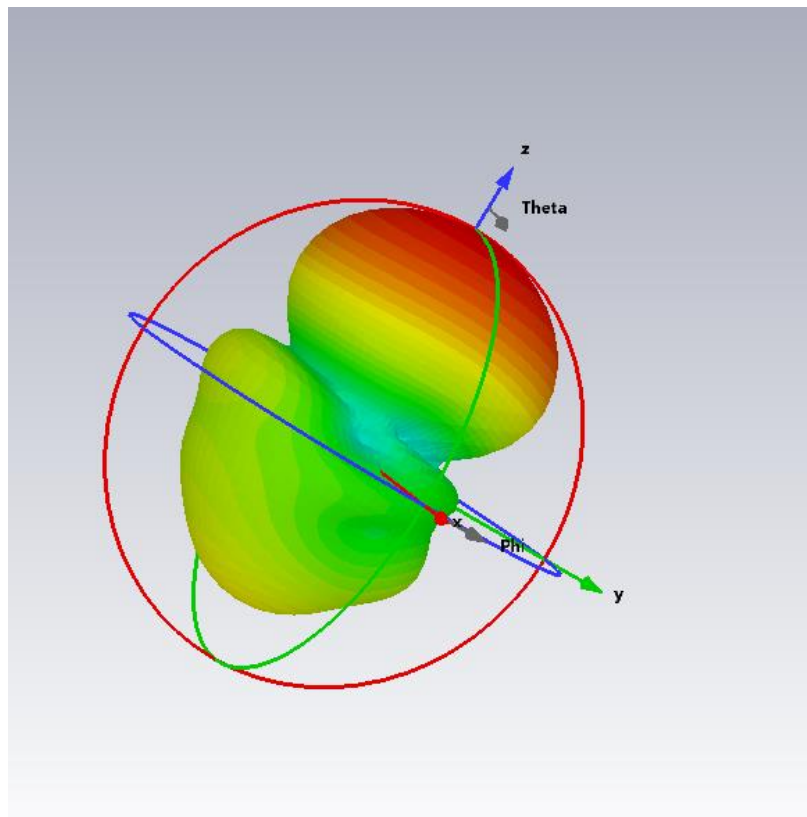


Рис 3.2.3.2 - Зображення ДН у 3D візуалізації

Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата

РІ01.464655.001 ПЗ

Лист

42

результати з наведених графіків зведено в таблицю:

Таблиця 3.2.3.1

Коефіцієнт підсилення	10, дБ
Напрямок головної пелюстки	1 градус
Ширина головного пелюстка при зниженні на 3 дБ	44 градуси
Рівень заднього випромінювання	-5,6 дБ

3.3 Вібраторна антена типу «хвильовий канал» із 10 елементів

3.3.1 Моделювання вібраторної антени

Тепер змодельуємо антену яка буде мати 8 директорів, 1 петльовий вібратор та 1 рефлектор. Відстань між директорами все та ж сама 43,7 мм

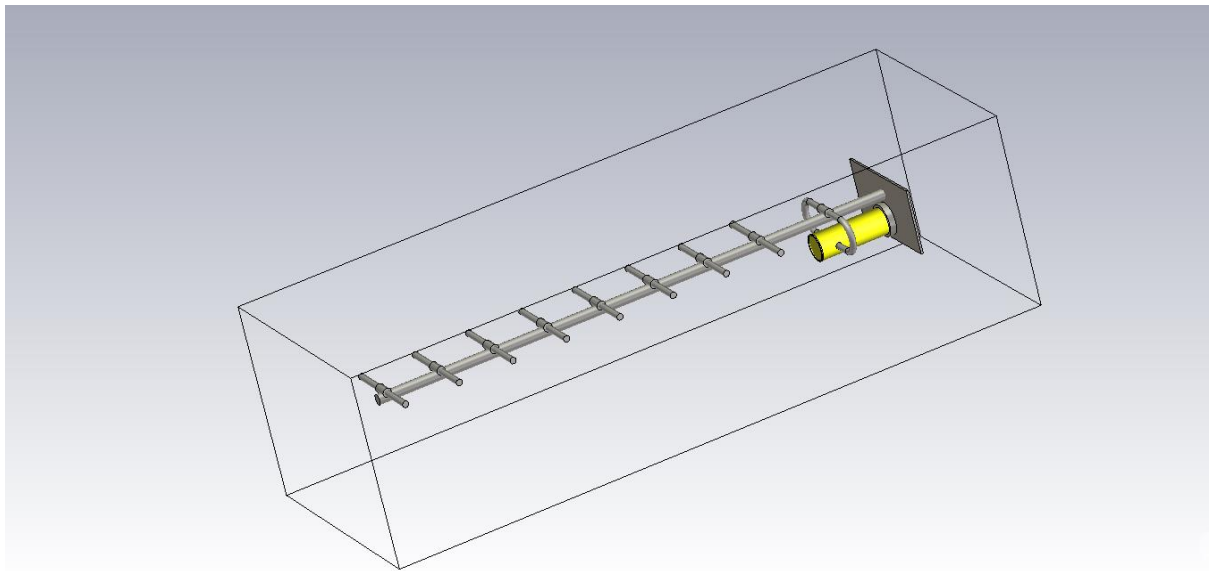


Рис 3.3.1.1 – 3D модель 10-елементної вібраторної антени

3.3.2 S-параметри та КСХН

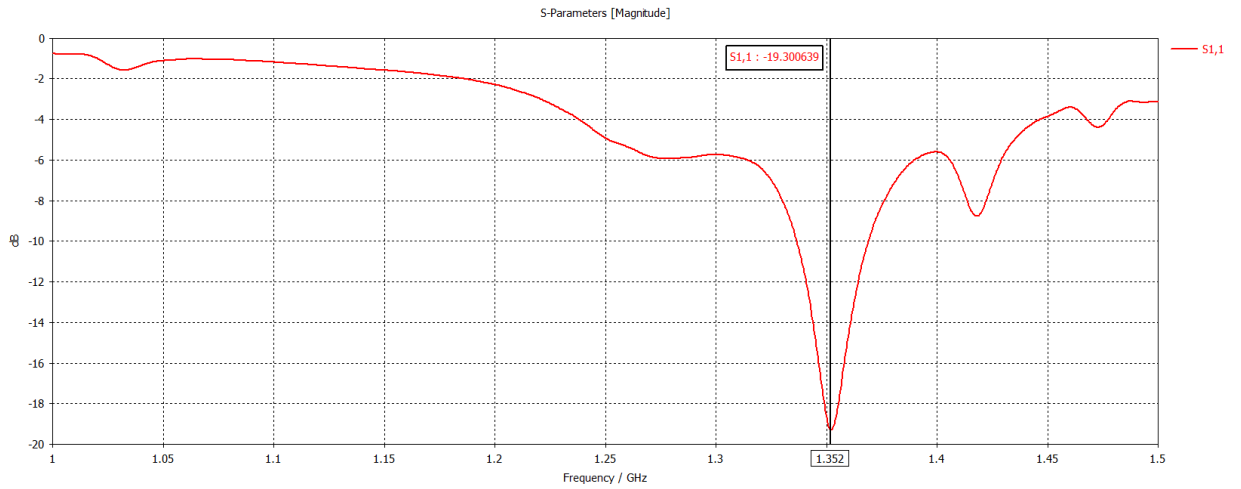


Рис 3.3.2.1– Залежність S-параметрів від частоти в діапазоні 1-1.5 ГГц

Червона лінія – це параметр S11, який вказує на коефіцієнт відбиття сигналу від порту 1. Глибокий мінімум цієї залежності близько 1.33 ГГц, він показує частоту резонансу або узгодження, на якій імпеданс антени найближчий до імпедансу джерела, що призводить до мінімізації відбиття антени.

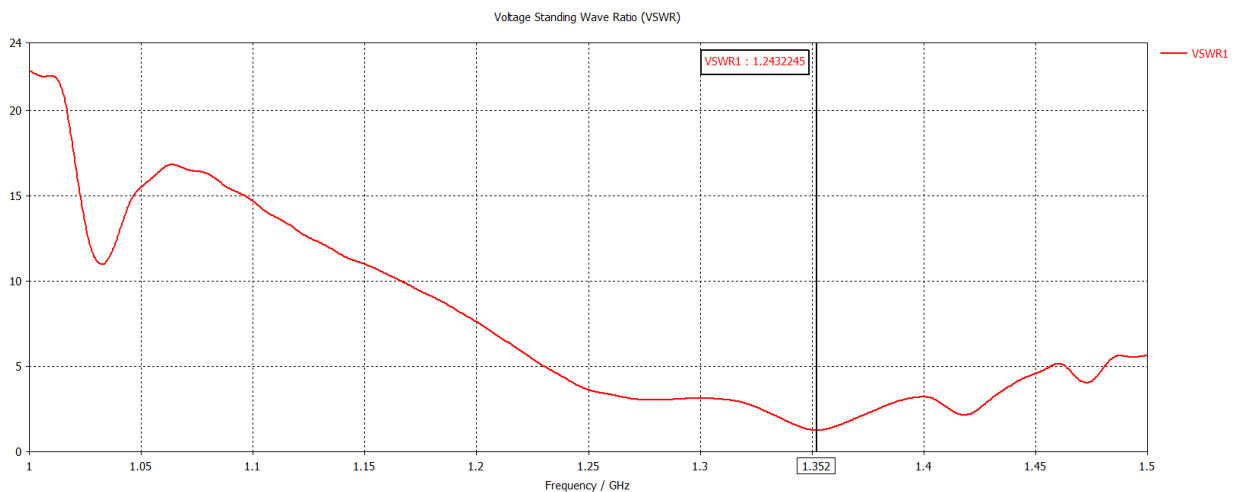


Рис 3.3.2.2 - Частотна залежність КСХН для лінійної поляризації

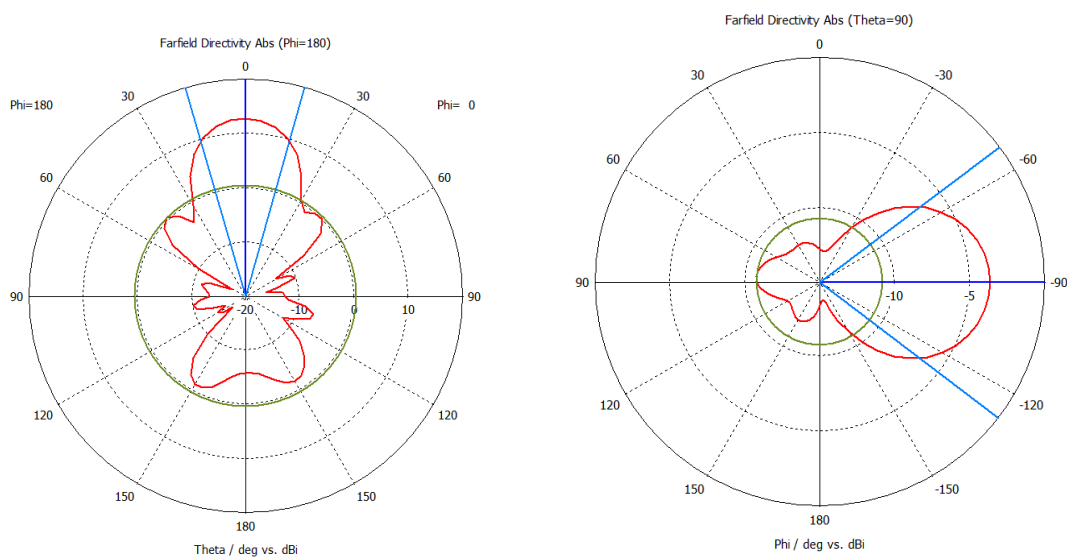
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата

РІ01.464655.001 ПЗ

Лист

44

3.3.3 Діаграма направленості



3.3.3.1 - - Графік ДН у горизонтальній та вертикальній площинах відповідно на частоті 1,33 ГГц

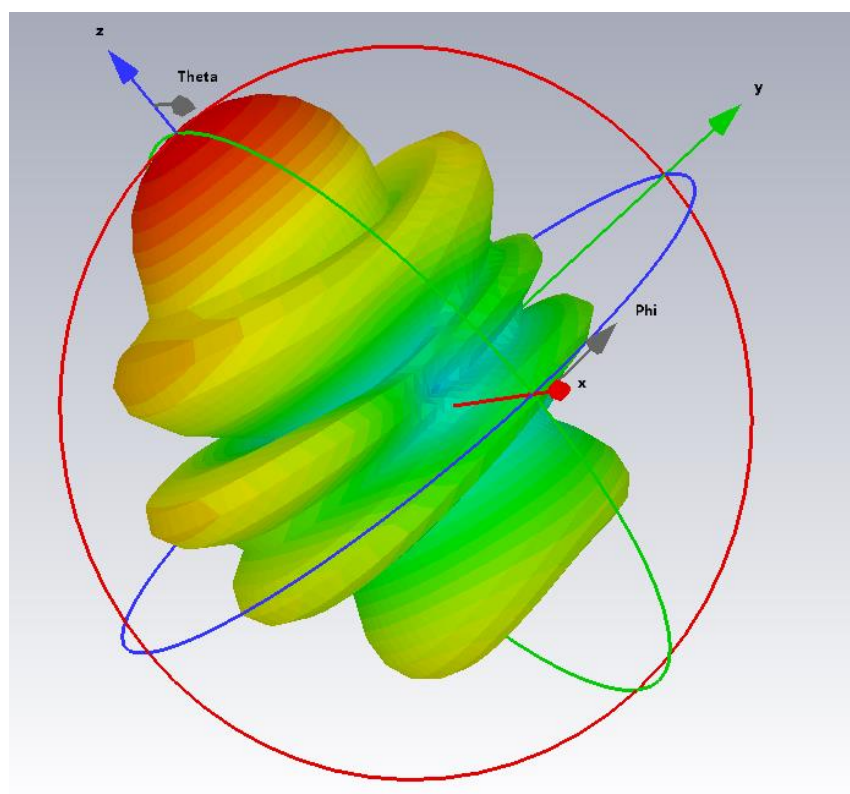


Рис 3.3.3.2 - Зображення ДН у 3D візуалізації

Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата

РІ01.464655.001 ПЗ

Лист

45

З наведених графіків маємо такі висновки:

Таблиця 3.3.3.1

Коефіцієнт підсилення	12,8 дБ
Напрямок головної пелюстки	0 градусів
Ширина головного пелюстка при зниженні на 3 дБ	31,7 градусів
Рівень бічних пелюсток	-12,3 дБ

3.4 Порівняння результатів отриманих в ході дослідження антени

Для зручності порівняння результатів занесемо їх в одну таблицю:

Таблиця 3.4

Кількість директорів	Коефіцієнт підсилення (дБ)	Ширина діаграми спрямованості (градуси)	КСХН
1	9,2	55	1,29
3	10,0	44	1,33
8	12,8	31	1,35

Додавання директорів в антену типу хвильовий канал покращує її коефіцієнт підсилення і робить її більш спрямованою, що є корисним для застосувань, де потрібна висока спрямованість і підсилення сигналу. Хоча КСХН трохи зростає, він залишається на прийнятному рівні, що свідчить про збереження хорошого узгодження.

Збільшення коефіцієнта підсилення з 9,22 дБ до 13 дБ при переході від 1 до 8 директорів є суттєвим покращенням, що дозволяє більш ефективно передавати сигнал.

Зменшення ширини діаграми спрямованості з 55 до 31,7 градусів вказує на покращення спрямованості антени, що важливо для концентрації електромагнітної енергії конкретному напрямку.

Незначне збільшення КСХН з 1,29 до 1,35 не є критичним і не суттєво впливає на загальну ефективність антени. Він міг збільшитися із-за

Таким чином, додавання директорів в вібраторну антену типу «хвильовий канал» є ефективним способом покращення її характеристик, особливо в плані підсилення та спрямованості.

Для порівняння результатів спробуємо прибрати захисний корпус з плати живлення, та подивитися наскільки сильно це вплине на роботу антени.

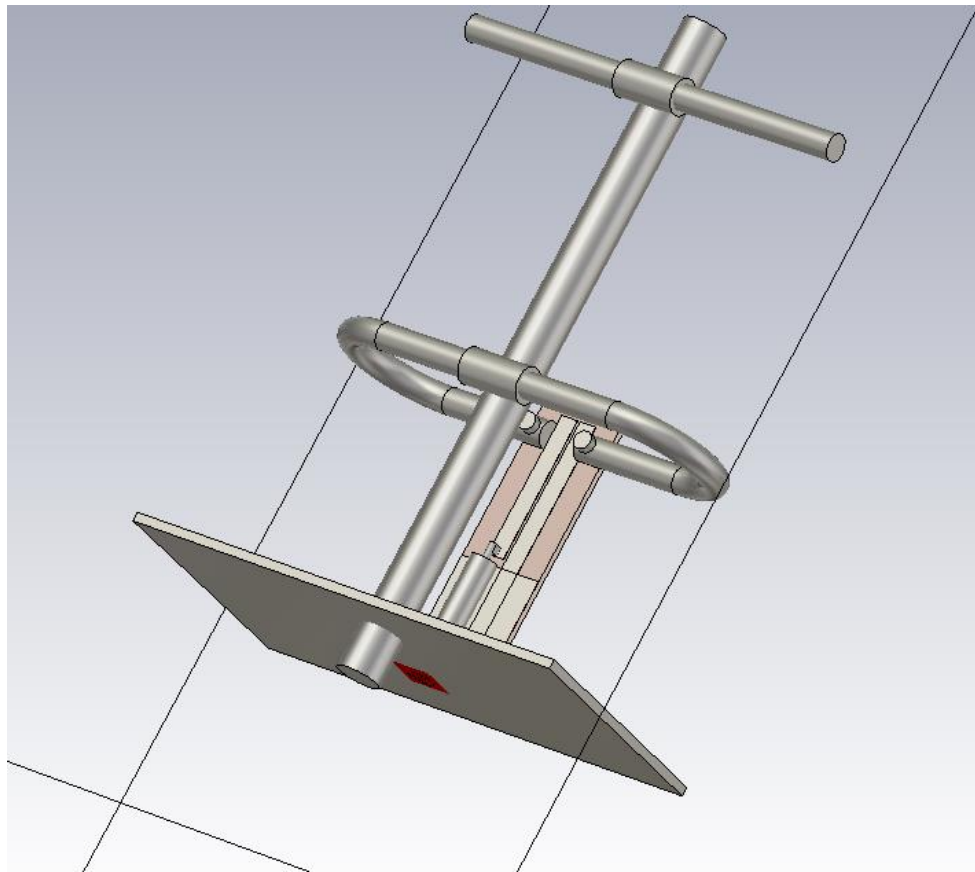


Рис 3.4.1 – Трьохелементна антена без захисного корпусу

Отримуємо S-парамери, які зовсім не відрізняються від трьохелементної антени з корпусом.

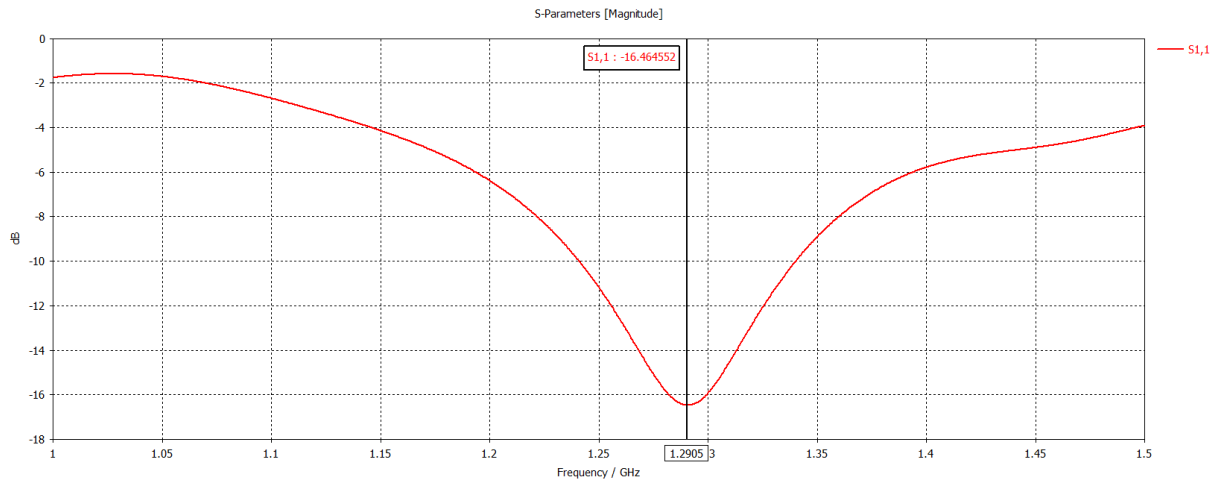


Рис 3.4.2 – S-параметри трьохелементної антени без корпусу в діапазоні 1-1,5ГГц

Теж саме із КСХН , ніяких змін не відбулося

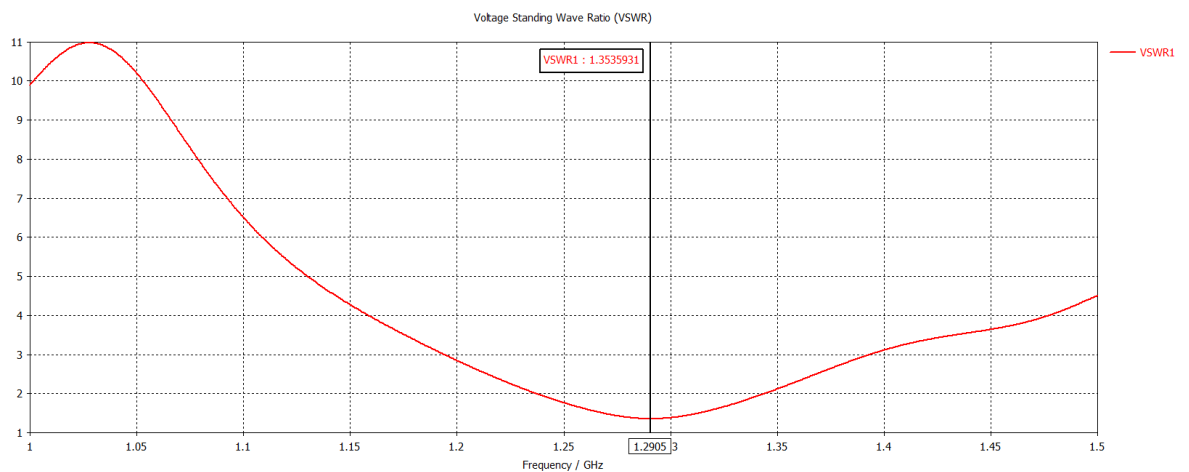


Рис 3.4.3 – КСХН трьохелементної антени без захисного корпусу в діапазоні 1-1.5 ГГц

Діаграма направленості теж не змінилася:

Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата

PI01.464655.001 ПЗ

Лист

48

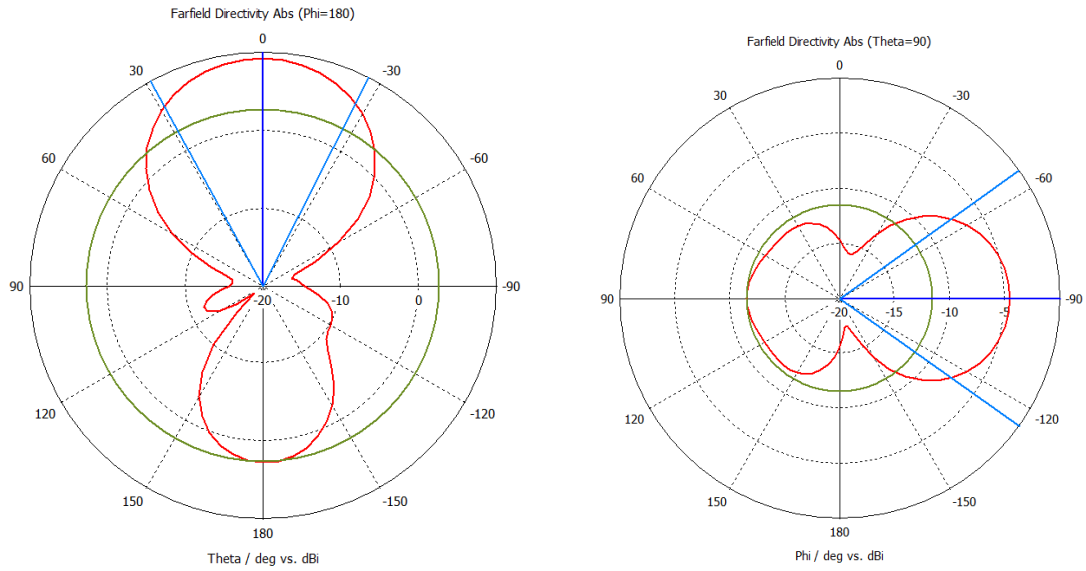


Рис 3.4.4 - Графік ДН у горизонтальній та вертикальній площинах відповідно на частоті 1,28 ГГц

Отже, навіть при умові що антена побудована без захисного корпусу параметри її не змінюється.

Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата

РІ01.464655.001 ПЗ

Лист

49

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті було здійснено розробку вібраторної антени типу «хвильовий канал», яка могла б бути використана у ролі ретранслятора для безпілотних літальних апаратів з різними цілями використання. Було створено 3Д модель антени і оптимізовано характеристики антени: на частоті 1,3 ГГц коефіцієнт підсилення складає приблизно 13 дБ, в смузі частот не менше 10% КСХН не перевищує 2. Дослідження показало, що для побудови антени з такими параметрами, буде достатньо 8 директорів, 1 рефлектор та 1 активний вібратор.

					РІ01.464655.001 ПЗ	Лист
						50
Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ільницький Л.Я., Савченко О.Я., Сібрук Л.В. Антени та пристрої надвисоких частот, Київ 2013.
2. О Ільницький Л.Я., Щербина О.А. ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИРЕКТОРНОЇ АНТЕНИ
3. Лабораторний практикум по дисципліні «Антени» Купрій О.М., Мартинюк С.Є., Літвінцев С.М., 2023.
4. Constantine A. Balanis Antenna, Theory, analysis and design.
5. Програмне забезпечення CST Microwave Studio Suite
6. Jasik Antenna Engineering Hanbook.

					РІ01.464655.001 ПЗ	Лист
						51
Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Технічне завдання

Змоделювати вібраторну антену типу «хвильовий канал», яка могла б мати такі параметри:

- Коефіцієнт підсилення 13 дБ
- Смуга частот не менше 10%
- Діапазон частоти 1,3 ГГц

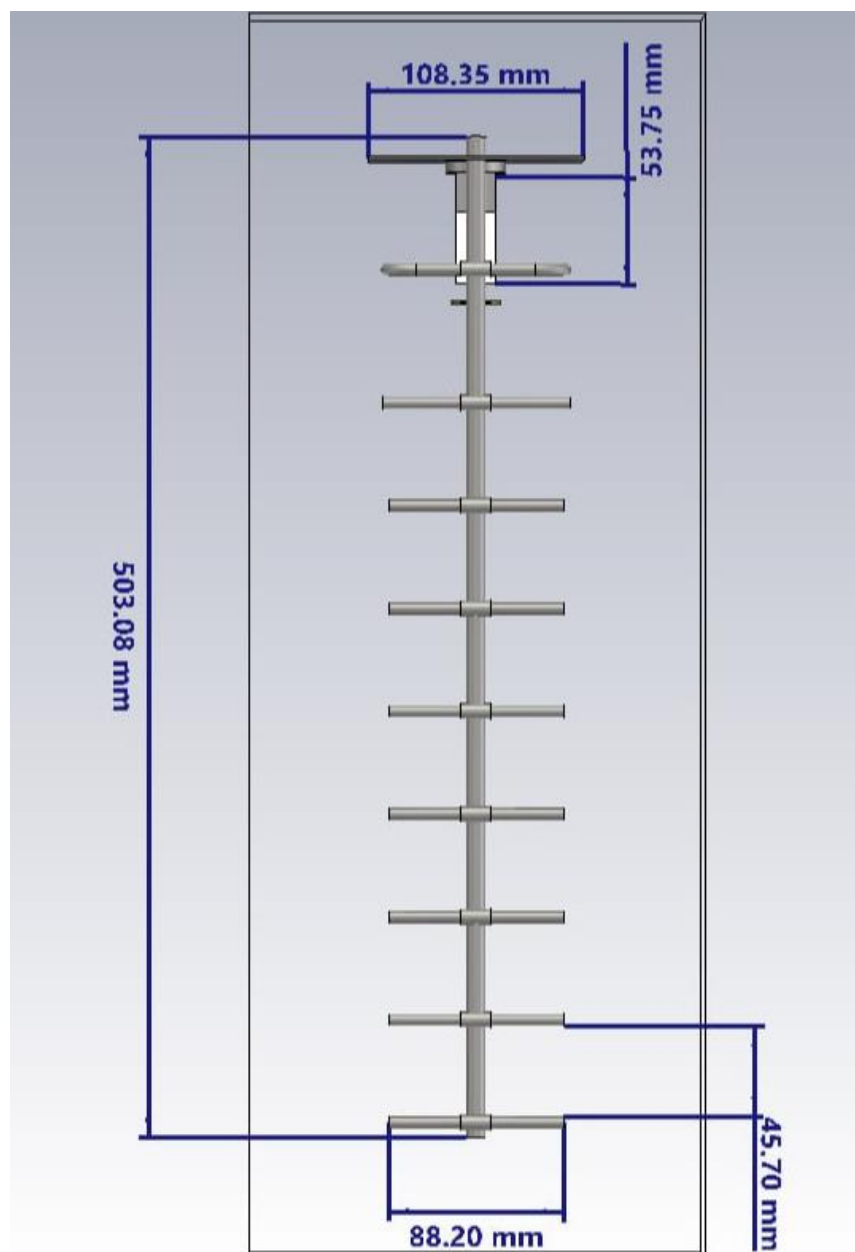
В ході цього завдання дослідити топологію антени змінюючи кількість елементів у її побудові.

Робота містить 49 рисунків, 4 таблиці та 1 креслення

					РІ01.464655.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Б

Вид зверху оптимізованої антени, з програмного забезпечення CST Microwave Studio. Показано загальну довжину антени, довжини вібратора, рефлектора та відстань між ними.



Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата

PI01.464655.001 ПЗ

Лист

ДОДАТОК В. ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4	PI01.464655.001 ТЗ	Завдання на дипломний проєкт	1	
2	A4	PI01.464655.001 ПЗ	Пояснювальна записка	44	

				PI01.464655.001	
	ПІБ	Підп.	Дата		
Розробн.	Бугенко			Лист	Листів
Керівн.	Мартинюк			1	1
Консульт.				Вібраторна антена типу «хвильовий канал» КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. PI Гр. PI-01	
Н/контр.					
Зав.каф.					

					PI01.464655.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		