

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  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

## Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою

«Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія»

зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

на тему: «Двополяризаційна дискостержнева антена»

Виконав (-ла) студент (-ка) II курсу, групи PI-21 мп

\_\_\_ Бутенко Владислав Євгенійович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Науковий керівник:

\_\_\_ Проф., д.т.н., проф Дубровка Федір Федорович \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Рецензент:

\_\_\_ Ст. викладач Турєєва Ольга Василівна \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних  
посилань.  
Студент (-ка)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о.зав. кафедри РІ

Сергій МАРТИНЮК

«13» листопада 2023 року

**ЗАВДАННЯ**  
на магістерську дисертацію студенту (тці)

**Бутенко Владислав Євгенійович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема дисертації** Двополяризаційна дискостержнева антена

науковий керівник дисертації

Д.т.н., проф. Дубровка Федір Федорович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «09» листопада 2023 р. №5206-с

2. **Термін подання студентом дисертації**

3. **Об'єкт дослідження:**

Дискостержневі антени з лінійними та коловими поляризаціями.

4. **Вихідні дані:**

1. Діапазон частот: 2.2-2.5 ГГц.
2. Типи поляризацій: лінійна, колова.
3. Кількість дисків: 33; 10; 5; 3.
4. Досліджувані параметри: коефіцієнт відбиття; КСХН; коефіцієнт спрямованої дії; ширина ДС на рівні половинної потужності; рівень бічних пелюсток.

5. **Перелік завдань, які потрібно розробити:**

1. Розглянути конструкції, принцип дії та основні характеристики дискостержневих антен.
2. Створити 3D модель у середовищі CST Microwave Studio Suite TM.
3. Провести чисельні дослідження дискостержневих антен різної довжини(із різною кількістю дисків) для лінійної та колової поляризації.
4. Проаналізувати отримані характеристики
5. Зробити висновки на основі отриманих даних.

6. **Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:** слайди для презентації результатів роботи над магістерською дисертацією.

7. **Орієнтовний перелік публікацій:**

**8. Консультанти розділів дисертації:** науково-педагогічні працівники радіотехнічного факультету.

**9. Дата видачі завдання:** 14 листопада 2023 р.

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Усвідомлення завдання на виконання кваліфікаційної роботи	14 листопада по 18 листопада 2023р.	
2	Робота над 1 розділом кваліфікаційної роботи	18 листопада 2023р. по 1 грудня 2023 р.	
3	Робота над 2 розділом кваліфікаційної роботи	1 грудня 2023 р по 7 грудня 2023 року	
4	Робота над 3 розділом кваліфікаційної роботи	7 грудня 2023 року по 14 грудня 2023 року	
5	Робота над 4 розділом кваліфікаційної роботи	14 грудня 2023 року по 25 грудня 2023	
6	Оформлення кваліфікаційної роботи у відповідності до вимог та методичних рекомендацій	25 грудня 2023 р. по 05 січня 2024 року	
7	Подання кваліфікаційної роботи керівнику на підготовку відгука	05 січня 2024 року	
8	Підготовка матеріалів та результатів роботи до попереднього захисту	06 по 07 січня 2023 року	
9	Попередній захист результатів дисертаційних досліджень	08 січня 2024р.	
10	Подання кваліфікаційної роботи на рецензію	09 січня 2024 р.	
11	Подання кваліфікаційної роботи для перевірки на дотримання академічної доброчесності	10 січня 2024 р.	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Науковий керівник

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

**Актуальність** дискостержневих антен у сучасних бездротових системах полягає у її здатності адаптації та оптимізації параметрів радіотехнічних систем у складних умовах. Такі антени забезпечують високу якість сигналу завдяки можливості приймати та передавати сигнали різних поляризацій та різних інтенсивностей, що є ключовим для роботи в перенасичених частотних діапазонах та наявності перешкод. Ця властивість також робить їх ідеальними для використання у бездротових телекомунікаційних системах і особливо у системах радіоелектронної розвідки та радіоелектронного подавлення.

**Мета дослідження** полягає у дослідженні характеристик збудження та випромінювання дискостержневих антен різної довжини, здатних працювати на лінійних та колових поляризаціях та забезпечувати потрібний коефіцієнт підсилення у заданому робочому діапазоні частот.

**Завдання дослідження** антени включає: детальний аналіз її конструкції та особливостей побудови; глибоке вивчення функціональних принципів та механізмів роботи цього типу антен; створення 3D моделі та всебічне чисельне дослідження характеристик узгодження та випромінювання при різних видах поляризацій та різних довжинах антени.

**Об'єктом дослідження** у проекті є процеси збудження, поширення та випромінювання електромагнітних хвиль дискостержневими антенами.

**Предметом дослідження** є особливості та характеристики збудження та випромінювання електромагнітних хвиль лінійних та колових поляризацій.

**Методи дослідження**— чисельні методи із застосуванням засобів автоматизованого проектування (програма CST Microwave Studio Suite TM).

**Результати дослідження** двополяризаційних дискостержневих антен можуть бути застосовані у різних областях, включаючи бездротові телекомунікаційні системи, радіолокаційні системи, а також системи радіоелектронної розвідки та радіоелектронного подавлення.

**Структура та обсяг магістерської дисертації** складається із 5 розділів, 60 сторінок, 16 таблиць та 62 рисунка

**Ключові слова:** дискостержнева антена, моделювання антен, колова поляризація, лінійна поляризація, коефіцієнт підсилення, коефіцієнт відбиття, діаграма спрямованості, КСХН.

## ANNOTATION

***The relevance*** of disk-on-rod antennas in modern wireless systems lies in their ability to adapt and optimize the parameters of radio engineering systems in difficult conditions. Such antennas provide high signal quality due to the ability to receive and transmit signals of different polarizations and different intensities, which is key for operation in saturated frequency ranges and the presence of interference. This property also makes them ideal for use in wireless telecommunications systems and especially in electronic intelligence and electronic suppression systems.

***The purpose of the research*** is to study the excitation and radiation characteristics of disk-on-rod antennas of different lengths, capable of working on linear and circular polarizations and providing the required gain factor in a given operating frequency range.

***The task*** of antenna research includes: a detailed analysis of its design and construction features; in-depth study of functional principles and mechanisms of operation of this type of antenna; creation of a 3D model and a comprehensive numerical study of the matching and radiation characteristics at different types of polarizations and different lengths of the antenna.

***The object*** of research in the project is the processes of excitation, propagation and radiation of electromagnetic waves by disk-on-rod antennas.

***Research methods*** are computational with the use of automated design tools (CST mitsrovarestodio suite TM programs).

***The results of research*** on dual-polarization disk-on-rod antennas can be applied in various fields, including wireless telecommunication systems, radar systems, and electronic intelligence and electronic suppression systems.

***The master's thesis on the topic*** consists of 5 chapters, 60 pages, 16 tables and 62 figures.

***Key words:*** disk-on-rod antenna, antenna modeling, circular polarization, linear polarization, gain coefficient, reflection coefficient, directional diagram, VSWR.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКРОРОЧЕНЬ .....	4
Вступ .....	5
Розділ 1 .....	6
Аналітична частина .....	6
1.1 Діаграма спрямованості .....	6
1.2 Спрямованість .....	7
1.3 Інтенсивність випромінювання .....	8
1.4 Ефективність антени.....	9
1.5 Коефіцієнт підсилення .....	9
1.6 Коефіцієнт стоячої хвилі за напругою.....	10
1.7 Ширина головної пелюстки половинної потужності.....	10
1.8 Смуга пропускання .....	12
1.9 Вхідний опір .....	13
1.10 Поляризація .....	13
1.11 Розміри антени .....	14
Висновки .....	14
Розділ 2.....	15
Дискостержневі антени .....	15
2.1 Основні характеристики антени.....	15
2.2 Опис структури антени .....	16
2.3 Принцип дії антени .....	17
2.4 Принцип формування сигналу у дискостержневих антенах ..	17
2.5 Особливості роботи та переваги двополяризаційних дискостержневих антен .....	18
2.6 Порівняння з іншими типами антен.....	19
Висновки .....	20
Розділ 3.....	21
Моделювання двополяризаційної дискостержневої антени .....	21

3.1	Двополяризаційна дискостержнева антенна із 33 елементів .	21
3.1.1	3D модель.....	21
3.1.2	S-параметри .....	22
3.1.3	КСХН.....	23
3.1.4	Діаграма спрямованості .....	25
3.1.5	Коефіцієнт підсилення .....	27
3.2	Двополяризаційна дискостержнева антенна із 10 елементів .	28
3.2.1	3D модель.....	28
3.2.2	S-параметри .....	28
3.2.3	КСХН.....	29
3.2.4	Діаграма спрямованості .....	30
3.2.5	Коефіцієнт підсилення .....	32
3.3	Двополяризаційна дискостержнева антенна із 5 елементів ...	33
3.3.1	3D модель.....	33
3.3.2	S-параметри .....	34
3.3.3	КСХН.....	35
3.3.4	Діаграма спрямованості .....	35
3.3.5	Коефіцієнт підсилення .....	38
3.4	Двополяризаційна дискостержнева антенна із 3 елементів ...	39
3.4.1	3D модель.....	39
3.4.2	S-параметри .....	40
3.4.3	КСХН.....	41
3.4.4	Діаграма спрямованості .....	42
3.4.5	Коефіцієнт підсилення .....	44
3.5	Порівняння характеристик випромінювання дискостержневої антени при варіантах збудження лінійних та колових поляризацій. .....	44
3.5.1	Лінійна поляризація двома синфазними зондами .....	45

3.5.1.1 S-параметри .....	45
3.5.1.2 КСХН .....	46
3.5.1.3 Діаграма спрямованості .....	47
3.5.1.4 Коефіцієнт підсилення .....	50
3.5.1 Колова поляризація із зсувом фази на -90 градусів .....	50
3.5.1.1 S-параметри .....	50
3.5.1.2 КСХН .....	50
3.5.1.3 Діаграма спрямованості .....	51
3.5.1.4 Коефіцієнт підсилення .....	52
3.6 Порівняння отриманих чисельних результатів із узагальненими відомими результатами досліджень антен поверхневої хвилі .....	52
Висновки .....	52
Розділ 4.....	56
Розробка стартап-проєкту .....	56
4.1 Опис ідеї проєкту .....	56
4.2 Визначення сильних та слабких характеристик .....	57
4.3 Попередня характеристика потенційного ринку стартап- проєкту .....	57
4.4 Характеристика потенційних клієнтів.....	58
4.5 Фактори загроз .....	59
Висновки .....	60
Загальні висновки .....	61
Список Використаних джерел .....	63

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ДС- діаграма спрямованості;

КСХН – коефіцієнт стоячої хвилі по напрузі;

НРВW- Ширина головної пелюстки половинної напруги;

## ВСТУП

Антенна є фундаментальним елементом у світі бездротових технологій. Вона діє як міст між провідними та бездротовими засобами зв'язку, перетворюючи електричні сигнали в електромагнітні хвилі для передачі та навпаки. Їх історія бере свій початок з експериментів Генріха Герца у 1880-х роках, який демонстрував існування електромагнітних хвиль. З того часу антенний дизайн та технології пройшли довгий шлях, від простих дротяних антен до складних апертурних антен та фазованих антенних решіток. Цей розвиток сприяв еволюції бездротових комунікацій від радіотрансляції до сучасних радарів, систем радіоелектронної боротьби, супутникових інформаційних систем, мобільних систем тощо.

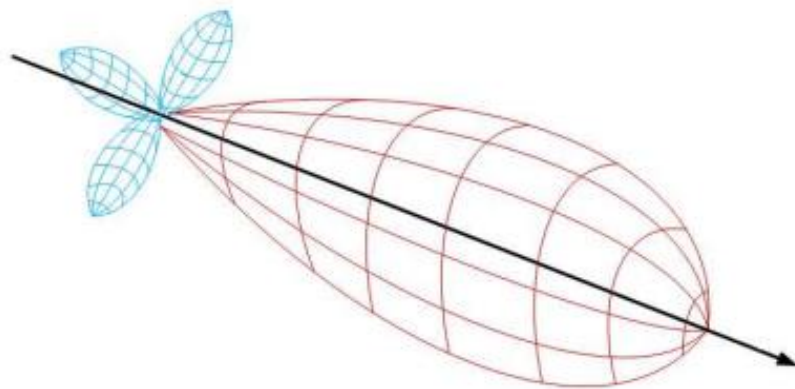
Сьогодні антени є невід'ємною частиною нашого повсякденного життя. Вони знаходять застосування скрізь, починаючи від вашого смартфона до систем автомобільного зв'язку та навігації. Антени стали набагато меншими, ефективнішими та зручнішими для інтеграції в портативні пристрої. Розвиток цих технологій не лише покращив якість мобільного зв'язку та бездротового інтернету, але й відкрив нові можливості, як-от концепції Інтернет речей, який стає все більш поширеним у таких сферах, як домашня автоматизація, медицина, та промисловість. Освоєння космічного простору та дослідження Землі, також значною мірою залежать від розвитку антенної техніки, яка дозволяє збирати дані з далеких планет або забезпечувати супутниковий моніторинг. Від розвитку антенної техніки в значній мірі залежить створення новітніх систем озброєння та військової техніки.

## 1 РОЗДІЛ

### АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

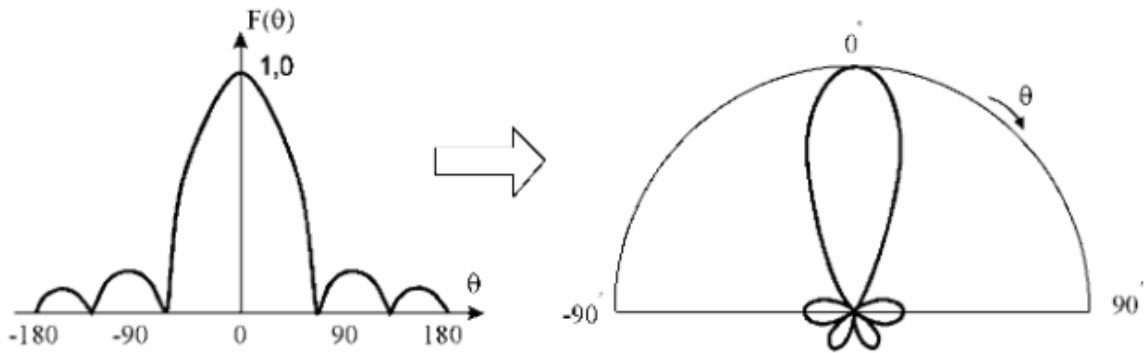
#### 1.1 Діаграма спрямованості

У сфері радіотехніки поняття "діаграма спрямованості" відіграє ключову роль, оскільки воно представляє собою просторовий розподіл потужності випромінювання антени через її поля. Це може бути виражено як математична функція або як візуальне представлення, яке описує випромінювальні характеристики антени в залежності від просторового положення. Зазвичай цей термін застосовується у випадках, коли розглядаються властивості в далекому полі, де діаграма визначається, як функція поперечних координат. Такі параметри випромінювання, як щільність потоку потужності, інтенсивність, напруженість поля та фаза, є фундаментальними. Вони визначають, як енергія розподіляється у просторі відносно антени і як спостерігач, розташований на певній відстані, сприйматиме це випромінювання. Діаграма спрямованості, яка відображається як двовимірний або тривимірний графік, дає можливість візуалізувати ці характеристики.



“Рис 1.1 — Тривимірна візуалізація ДС”

Унікальність ДС залежить від побудови конструкції самої антени чи антенних систем, основна складність якої залежить саме від характеристик антени та її особливості конструкції.



“Рис 1.2 — Зображення ДС у прямокутній та полярній системах координат”

Із наведених графіків зображених на “Рис 1.2” можемо виділити основну пелюстку, яка є основним напрямком головного випромінювання антени та її бічні пелюстки. Але є типи антен, які не мають бічних пелюсток у ДС або мають декілька основних пелюсток.

## 1.2 Спрямованість

У 1983 році стандарт IEEE з термінології для антен пройшов ревізію, що привнесла нове бачення до поняття спрямованості, відрізняючись від версії 1973 року. Зміни підкреслили перехід від терміну "коефіцієнт підсилення" до чіткішого і конкретнішого "спрямованості". В оновленому форматі, це поняття вказує на здатність антени концентрувати випромінювання у найбільш ефективному напрямку. Стандартизація відповідала міжнародному розумінню і практиці, особливо наближаючись до вимог Міжнародної електротехнічної комісії, що стала значним кроком у досягненні консенсусу серед фахівців.

Формула спрямованості в радіотехніці визначається, як відношення інтенсивності випромінювання в найбільш вигідному напрямку до середньої інтенсивності випромінювання в усіх напрямках. Якщо антена випромінює однаково у всіх напрямках, вона має спрямованість рівну одиниці, що є характеристикою ізотропного джерела. Спрямованість може бути виражена в децибелах (дБ), якщо її представити в логарифмічному масштабі.

Математична формула для спрямованості антени визначається як:

$$D = \frac{U_{max}}{P_{total}/(4\pi)}$$

де,  $U_{max}$  – це максимальна інтенсивність випромінювання у певному напрямку, вимірювана в ватах на стерадіан (Вт/ср).

$P_{total}$  – це загальна потужність, випромінювана антеною, вимірювана в ватах (Вт).

$4\pi$  – це фактор, що нормалізує випромінювання до ізотропного джерела, яке випромінює однаково у всіх напрямках, що охоплює повну сферу.

Спрямованість антени вказує на те, наскільки ефективно антена здатна концентрувати енергію у порівнянні з ізотропним джерелом, що випромінює однаково у всіх напрямках. Чим вища спрямованість, тим більш концентрованим є випромінювання.

### 1.3 Інтенсивність випромінювання

Інтенсивність випромінювання антени, вимірювана в напрямку певного тілесного кута, характеризується, як випромінена потужність на одиницю цього кута. Ця характеристика, яка належить до параметрів дальнього поля антени, може бути обчислена шляхом множення щільності випромінювання на квадрат відстані від антени. Математично виражається через формулу:

$$U = r^2 W_{rad}$$

де,  $U$  – інтенсивність випромінювання (Вт/одиницю тілесного кута).

$r$  – відстань (м).

$W_{rad}$  – щільність інтенсивності випромінювання (Вт/м<sup>2</sup>).

У цілому, ми можемо це характеризувати так, коли ми дивимося на інтенсивність випромінювання антени, ми говоримо про кількість потужності, що випромінюється в конкретному напрямку. Це як визначити, скільки енергії виходить з антени і розсіюється в просторі в певному напрямку. Це залежить не тільки від того, наскільки потужною є антена, але й від того, наскільки

далеко вона може передавати цю енергію. Тому це нам допомагає зрозуміти, як антена взаємодіє із оточуючим середовищем.

#### 1.4 Ефективність антени

Щоб оцінити повну ефективність антени, важливо врахувати різні види втрат, що можуть виникати. Втрати можуть бути пов'язані з неідеальним узгодженням між антеною та лінією передачі, а також із провідністю і діелектричними властивостями матеріалів. Формула для оцінки загального коефіцієнта корисної дії (ККД) виглядає так:

$$e_0 = e_r e_c e_d$$

де,  $e_0$  – загальний коефіцієнт корисної дії.

$e_r$  – коефіцієнт відбиття.

$e_c$  – коефіцієнт провідності.

$e_d$  – коефіцієнт діелектричної провідності.

#### 1.5 Коефіцієнт підсилення

Це важливий показник, який демонструє ефективність антени у фокусуванні сигналу в певному напрямку. Він враховує не тільки спрямованість антени, але й її здатність перетворювати прийняту потужність на випромінювання. Формула для цього виражається так:

$$Gain = \frac{4\pi \text{ Radiation Intensity}}{\text{Total Input Accepted Power}}$$

Де, "*Radiation Intensity*" означає інтенсивність випромінювання в конкретному напрямку, а "*Total Input Accepted Power*" відображає загальну потужність, прийняту антеною. Ця формула дозволяє оцінити, наскільки ефективно антена концентрує сигнал та перетворює вхідну потужність на випромінювання.

## 1.6 Коефіцієнт стоячої хвилі за напругою

Коефіцієнт стоячої хвилі за напругою (КСХН) або ж коефіцієнт стоячої хвилі(КСХ) оцінює, наскільки добре імпеданс антени узгоджений із характеристичним імпедансом лінії передачі. Ця міра відображає взаємодію між антеною та лінією, а не прямі характеристики самої антени. Вона визначається, як співвідношення максимальної та мінімальної амплітуд напруги у лінії, що відбиває ступінь відбиття сигналу від антени. Що можна зобразити загальною формулою:

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}}$$

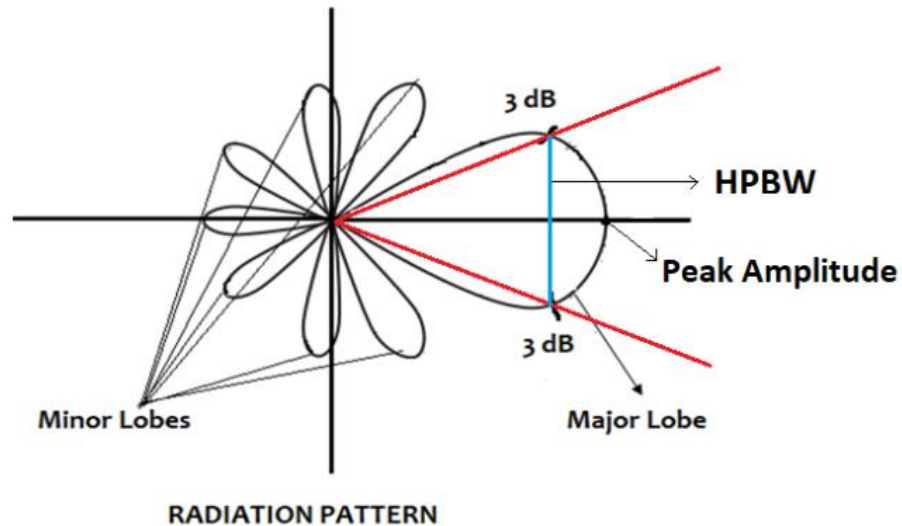
де,  $V_{max}$  – максимальна напруга.

$V_{min}$  – мінімальна напруга.

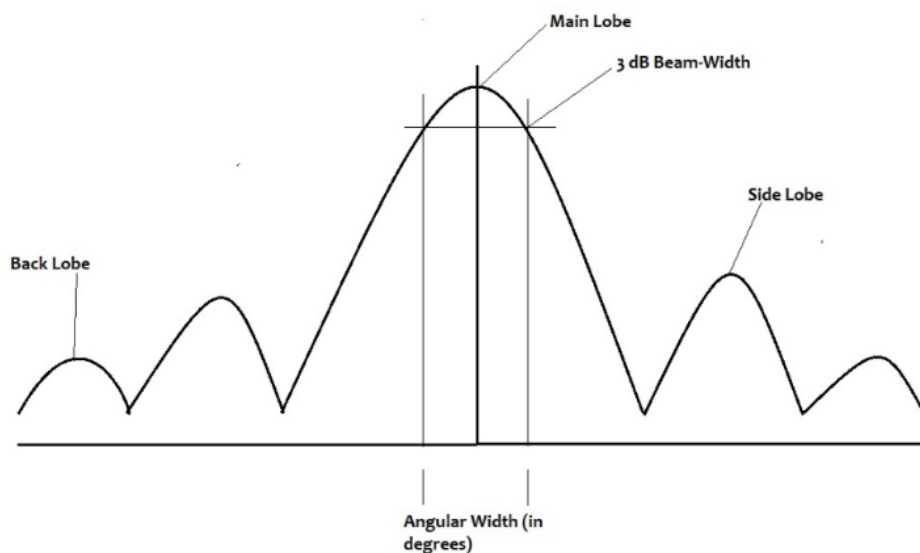
Ідеальне узгодження імпедансів відповідає нижчому значенню КСХН.

## 1.7 Ширина головної пелюстки половинної потужності

В контексті радіотехніки, ширина основної пелюстки половинної потужності “HPBW (*Half Power Beamwidths*)” - це критичний параметр для оцінки діаграми спрямованості антени. Вона визначається, як кутовий розмір головної пелюстки, де інтенсивність випромінювання знижується до половини максимуму. Цей параметр важливий, оскільки він вказує на здатність антени концентрувати сигнал у певному напрямку.



“Рис 1.7.1 — Зображення графічно ширини основної пелюстки половинної потужності (HPBW) у полярній системі координат”



“Рис 1.7.2 — Зображення графічно ширини основної пелюстки половинної потужності (HPBW) у прямокутній системі координат”

Маленька ширина основного пелюстка свідчить про більш "вузьку" діаграму спрямованості, що є важливим для точності в радарних і супутникових системах. Водночас, зменшення HPBW може призводити до зростання рівня бічних пелюсток, що є компромісом у дизайні антен.

## 1.8 Смуга пропускання

У сфері радіотехніки смуга пропускання антени відіграє ключову роль, оскільки вона вказує на діапазон частот, де антена зберігає свої оптимальні характеристики. Вона розглядається як частотний діапазон навколо центральної частоти, де параметри антени відповідають заданим критеріям.

Для вузькосмугових антен цей діапазон визначається формулою:

$$FBW = \frac{F_h - F_l}{F_c} \times 100 ,$$

де ,  $F_h$  – верхня частота.

$F_l$  – нижня частота.

$F_c$  – центральна частота.

Широкосмугові антени охоплюють більший діапазон, що може включати октаву або навіть більше, визначається:

$$FBW = \frac{F_h}{F_c} \times 100 ,$$

Зміна імпедансу з частотою впливає на смугу пропускання, що може бути обмежено залежно від узгодження антени із лінією живлення. Визначення смуги пропускання імпедансу часто базується на зворотних втратах або КСХ, що зазвичай становить менше ніж (2.0 або 1.5). Відношення смуги пропускання до "Q" визначається:

$$B = \frac{SWR - 1}{Q \times SWR} ,$$

де, "Q" – процентний імпеданс, розраховується як:

$$Q = \frac{F_h - F_l}{F_h F_l} \times 100 ,$$

де, "B" представляє відношення смуги пропускання антени до її якісного фактора "Q". Це показник, який допомагає оцінити, наскільки широкою або вузькою є смуга пропускання антени відносно її специфічних характеристик імпедансу.

## 1.9 Вхідний опір

У радіотехніці, вхідний опір створений антеною є фундаментальною характеристикою, яка визначає, як антена взаємодіє з іншими елементами цієї системи. Це опір, який антена створює на своїх виводах, і він представлений через комбінацію резистивного (реального) та реактивного (уявного) опорів.

Формула для цього виглядає так:

$$Z_A = R_A + jX_A ,$$

де,  $Z_A$  – це загальний імпеданс антени на затискачах.

$R_A$  – це резистивний компонент, що представляє реальний опір.

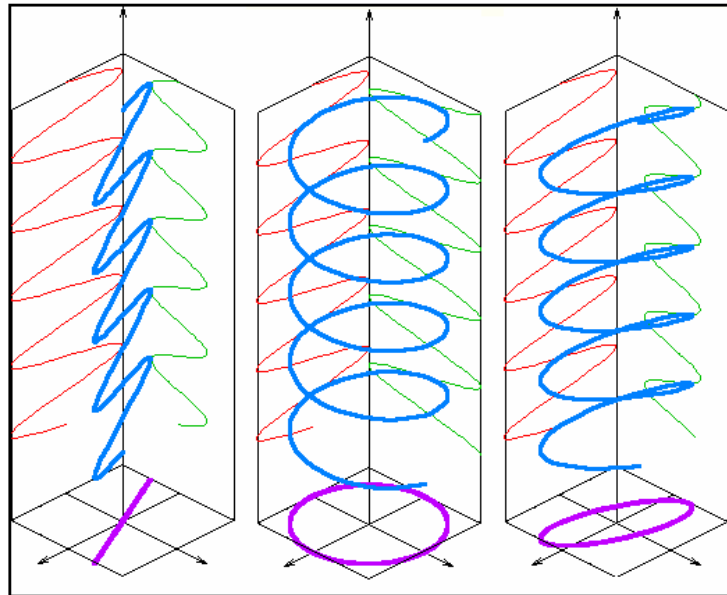
$jX_A$  – реактивний компонент, що відображає уявний опір.

Це розуміння вхідного опору є ключовим для проектування та узгодження антен з іншими частинами радіосистеми.

## 1.10 Поляризація

У радіотехніці поляризація антени означає характер орієнтації її електромагнітної хвилі, що випромінюється антеною. Зазвичай, коли ми говоримо про поляризацію, ми маємо на увазі тип поляризації в напрямку, де антена має максимальне підсилення. Поляризація випромінюваної хвилі характеризується зміною в часі векторів електричного поля. Вона може бути лінійною, коловою ( яка може бути лівою та правою) та еліптичною, залежно від форми, яку приймає кінець вектора електричного поля при фіксованому положенні в просторі.

Вибір типу поляризації може бути ключовим для покращення якості зв'язку та мінімізації втрат сигналу через різні перешкоди, такі як перешкоди від структур або вплив атмосферних умов. Оптимальна поляризація допомагає забезпечити стабільний та надійний бездротовий зв'язок. Використання ортогональних поляризацій дозволяє збільшити у двічі пропускну здатність систем зв'язку.



“Рис 1.10 — Зображення лінійної, кругової та еліптичної поляризації”

### 1.11 Розміри антени

У радіотехніці, розмір антени має велике значення для її функціональності. Відповідність між розмірами антени та довжиною хвилі сигналу визначає її частотну узгодженість.

Більша антена забезпечує краще підсилення та вищу спрямованість, що важливо для далекого зв'язку, але може вимагати більше місця та ресурсів. З іншого боку, менші антени, хоча і менш потужні, є більш підходящими для високочастотних застосувань.

Вибір розміру антени - це завжди баланс між її фізичними параметрами та необхідними характеристиками.

### Висновки

У розділі були описані ключові характеристики антен. Це включає такі показники, як діаграма спрямованості, спрямованість, інтенсивність випромінювання, ефективність антени, коефіцієнт підсилення, КСХН, ширина головної пелюстки половинної потужності, смуга пропускання, вхідний опір, поляризація, розміри антени.

## РОЗДІЛ 2

### ДИСКОСТЕРЖНЕВІ АНТЕНИ

Дискостержнева антена - це вид антени, що складається з декількох частин: плоского круглого основного диску, диску рефлектора, дисків директорів та стержня на якому розташовані диски. Особливість такої антени в тому, що вона здатна працювати з двома різними поляризаціями одночасно (наприклад, горизонтальною та вертикальною), що забезпечує більш гнучке використання та ефективність у різних комунікаційних застосуваннях.

#### 2.1 Основні характеристики антени

1. Антена здатна працювати з двома видами поляризацій як окремо та і одночасно (наприклад, горизонтальною та вертикальною), що забезпечує більшу гнучкість у прийомі та передачі сигналів різного типу. Це особливо важливо у середовищах з високим рівнем перешкод, де використання двох видів поляризацій може зменшити вплив перешкод на дію антени та покращити якість зв'язку.
2. Дискостержневі антени відрізняються значною шириною смуги пропускання, що означає здатність працювати на широкому діапазоні частот без значної втрати ефективності. Це досягається завдяки особливій конструкції, де розміри дисків та стержня оптимізовані для створення резонансу на різних частотах. Вона зазвичай становить 5-15% від центральної частоти діапазону, у якому працює антена.
3. Дискостержневі антени здатні генерувати дуже вузькі промені( до 10 градусів, як у горизонтальній, так і вертикальній площинах), що дає змогу більшій частині енергії сигналу випромінюватись у потрібному нам напрямку.

4. Дискостержневі антени можуть мати високий коефіцієнт підсилення( від 10 до 25 децибел), що дозволяє підвищити ефективність передачі та прийому сигналу.
5. Для дискостержневої антени рівень бічних пелюсток становить мінус 10-20 дБ.



“Рис 2.1 — Приклад фізичного вигляду дискостержневої антени із лінійною поляризацією”

## 2.2 Опис структури антени

Структура дискостержневої антени:

1. Основний Диск (Вібратор). Центральний елемент конструкції, який виконує роль основного випромінювача або вібратора. Його розмір та форма визначають основні робочі частоти антени.
2. Стержень. Розташований у центрі основного диска, служить для кріплення усіх елементів антени.
3. Додаткові Директори та Рефлектор. Розташовані на стержні антени, де директори знаходяться перед основним диском, а рефлектор – за ним. Вони допомагають керувати та фокусувати радіохвилі, покращуючи спрямованість та ефективність антени.

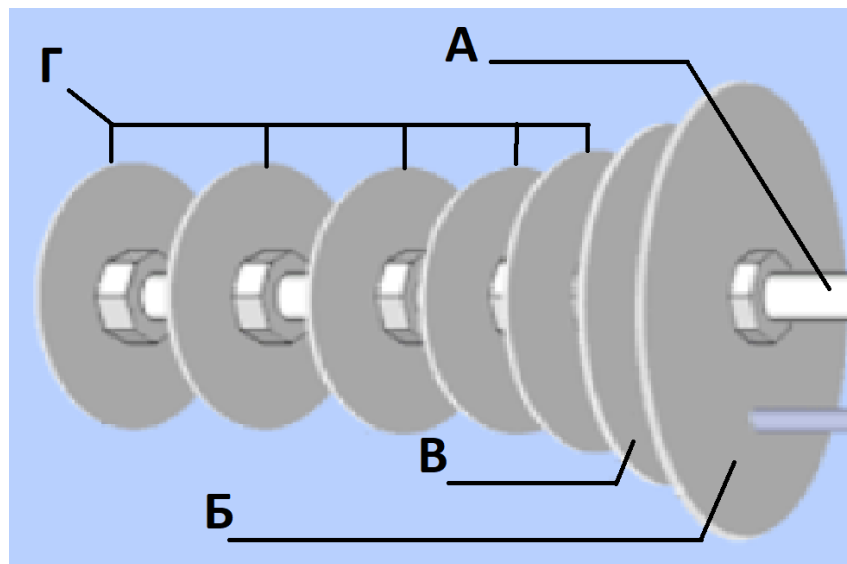


Рис 2.2 — Зображення структури дискостержневої антени, де А – стержень, Б – рефлектор, В – випромінювач, Г – директори

### 2.3 Принцип дії антени

1. Випромінювання та Прийом Сигналів. При передачі сигналу, електричний струм проходить через антену, створюючи електромагнітні хвилі, які випромінюються в простір. При прийомі процес відбувається зворотно: антена перетворює електромагнітні хвилі назад на електричний сигнал.
2. Фокусування Радіохвиль. Директори та рефлектор працюють разом, щоб фокусувати та направляти радіохвилі, підсилюючи сигнал у певному напрямку та зменшуючи розсіювання сигналу.
3. Двополяризаційна Робота. Антена одночасно ефективно працює із сигналами обох поляризацій, завдяки правильному збудженню основного диску.

### 2.4 Принцип формування сигналу у дискостержневих антенах

Дискостержневі антени працюють на основі принципу збільшення спрямованості сигналу. Їхня структура дозволяє збирати або випромінювати сигнал у вузькому напрямку. Це досягається завдяки спеціальному дизайну антени, які фокусують енергію сигналу у визначеному напрямку дії антени.

Антенa використовує комплексну систему випромінювання та прийому сигналів. Основний диск, діючи як первинний випромінювач, перетворює електричні сигнали на електромагнітні хвилі для випромінювання, а додаткові директори та рефлектори сприяють покращенню спрямованості та фокусуванню цих хвиль, що забезпечує ефективніший радіозв'язок.

Також важливою особливістю є двополяризаційна здатність антени, яка дозволяє одночасно працювати з сигналами горизонтальної та вертикальної поляризацій, забезпечуючи більшу гнучкість та ефективність у різних комунікаційних сценаріях.

## **2.5 Особливості роботи та переваги двополяризаційних дискостержневих антен**

1. Робота з різними типами поляризацій радіосигналів – Двополяризаційні антени можуть одночасно опрацьовувати сигнали різної поляризації, що дозволяє їм працювати з різними типами об'єктів або умовами поширення сигналу.
2. Зменшення впливу перешкод – Два сигнали з різною поляризацією можуть бути менш чутливі до перешкод у вимірах інших елементів оточуючого середовища, що покращує якість отриманого сигналу.
3. Універсальність в застосуванні – Двополяризаційні антени є універсальними і можуть бути використані в різноманітних областях, включаючи телекомунікації, радіолокацію та інші сфери, де потрібна висока точність передачі або прийому сигналу.
4. Двополяризаційні дискостержневі антени відкривають широкі можливості у сфері бездротового зв'язку, дозволяючи працювати з різними типами сигналів та умовами поширення сигналу для покращення ефективності та надійності передачі даних.

## 2.6 Порівняння з іншими типами антен

Порівняння двополяризаційних дискостержневих антен з іншими типами антен може включати ряд аспектів, важливих для бездротових комунікацій.

Переваги двополяризаційних дискостержневих антен:

1. Універсальність: Двополяризаційні антени можуть працювати з різними типами сигналів та умовами поширення, надаючи більшу гнучкість у застосуванні.
2. Мінімізація впливу перешкод: Завдяки двом компонентам поляризації, вони можуть бути менш чутливі до перешкод, що поліпшує якість сигналу у складних умовах.
3. Ефективність у різних умовах: Вони працюють ефективно як у міських, так і у відкритих просторах, де можуть забезпечити високу якість зв'язку.

Недоліки двополяризаційних дискостержневих антен:

1. Складність конструкції. Високоточність та необхідність точної орієнтації компонентів можуть зробити конструкцію антени складнішою та вимагати більш складних технологій для її виготовлення.
2. Витратність. Розробка та виготовлення двополяризаційних антен може бути витратною у порівнянні з іншими типами антен, особливо у випадку складних конструкцій. Оскільки це антена поверхневої хвилі, то високий коефіцієнт підсилення забезпечується великою довжиною антен по відношенню до довжини хвилі.
3. Чутливість до умов середовища: Хоча двополяризаційні антени менш чутливі до деяких перешкод, деякі умови середовища можуть впливати на їхню ефективність.

Розглядаючи двополяризаційні дискостержневі антени порівняно з іншими типами, важливо враховувати, що вони можуть мати свої переваги в

різних умовах зв'язку. Для цих антен характерні висока спрямованість та здатність працювати в умовах, де є багато перешкод.

Важливо зазначити, що вони можуть бути менш чутливими до деяких видів завад, що робить їх ефективними в міських умовах. Та в той же час, в відкритих просторах вони можуть забезпечувати стабільний зв'язок на великі відстані.

На великих відстанях та у ситуаціях з інтерференцією вони також можуть бути корисними, оскільки забезпечують стійкий сигнал.

### **Висновки**

У цій частині магістерської дисертації було зроблено опис дискостержневої антени із принципом дії антени, були описані її головні характеристики, а також були перераховані переваги над іншими антенами та її основні недоліки.

## РОЗДІЛ 3

### МОДЕЛЮВАННЯ ДВОПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ ДИСКСТЕРЖНЕВОЇ АНТЕНИ

*Метою дисертаційної роботи* є дослідження та оптимізація характеристик двополяризаційних дискстержневих антен з різними коефіцієнтами підсилення для діапазону частоти 2.4 ГГц

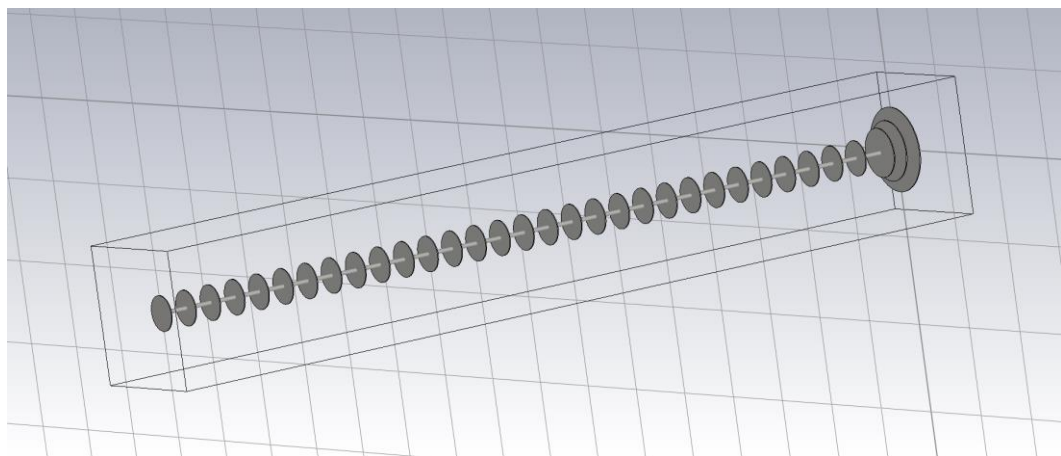
#### 3.1 Двополяризаційна дискстержнева антенна із 33 елементів

##### 3.1.1 3D модель

Побудуємо 3D модель антени, яка складається із 33 елементів + стрижень.

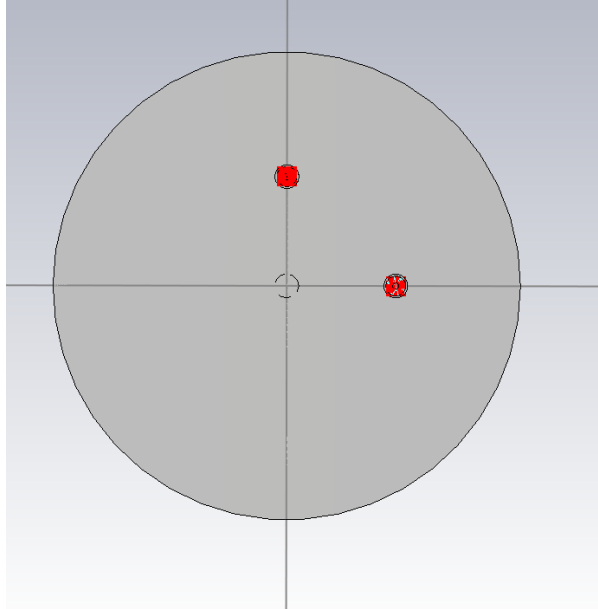
А саме:

- 1 рефлектор;
- 1 випромінюючий диск;
- 31 директор;



“Рис 3.1.1.1 — 3D модель 33 елементної антени, зроблена у програмі CST”

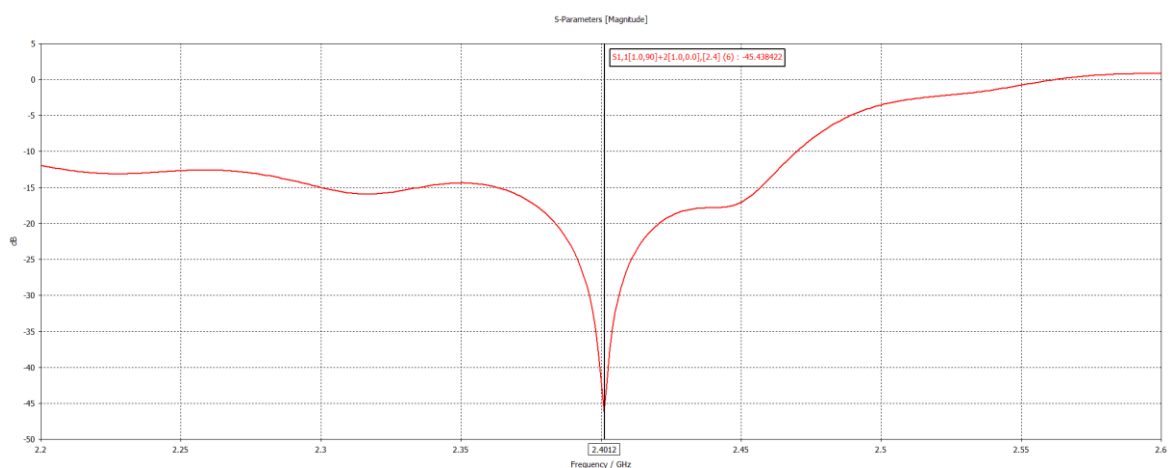
Також щоб отримати достовірні результати важливим кроком є правильне збудження основного диску для отримання колової поляризації. Під'єднуємо два коаксіальних кабелі таким чином, як зображено на рисунку нижче.



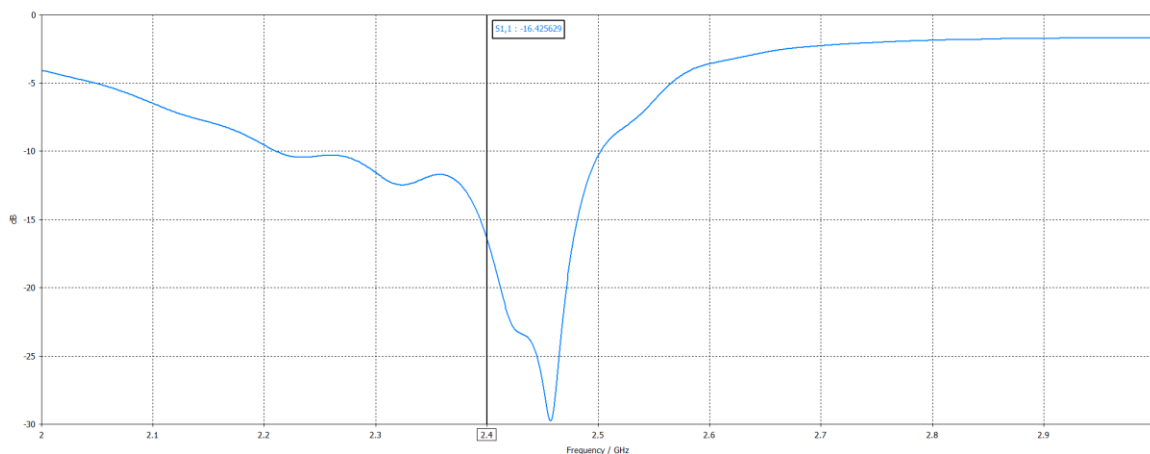
“Рис 3.1.1.2 — Зображення отримання колової поляризації на випромінюючому диску для 33 елементної антени”

### 3.1.2 S-параметри

Із побудованої антени отримуємо такі значення S-параметрів.



“Рис 3.1.2.1 — Залежність S- параметрів від частоти в діапазоні 2.2- 2.6 ГГц для колової поляризації”

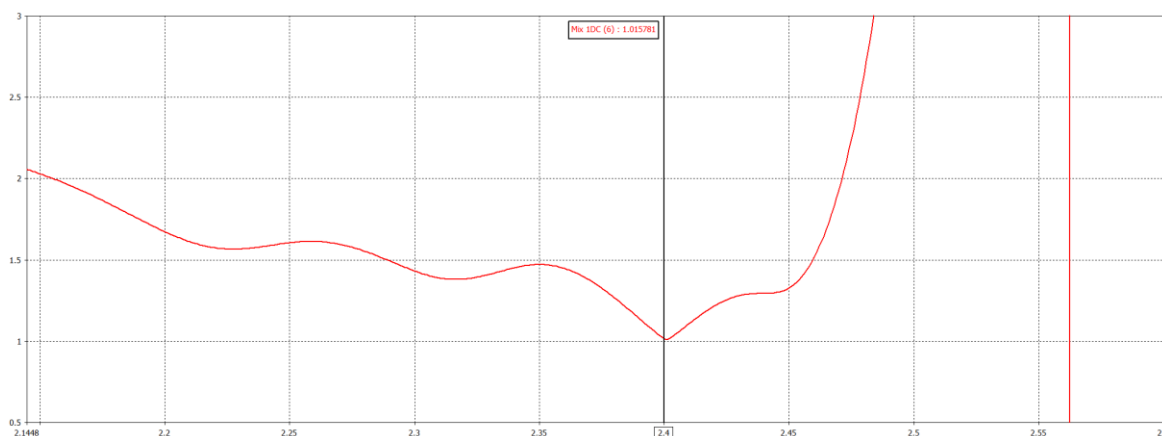


“Рис 3.1.2.2 — Залежність S- параметрів від частоти в діапазоні 2- 3 ГГц для лінійної поляризації”

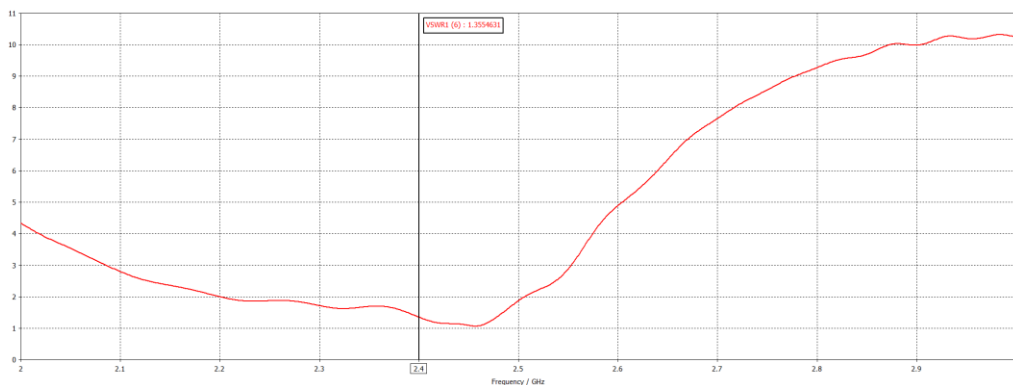
Червона та синя крива - це параметр S11, який показує коефіцієнт відбиття сигналу від порту 1. Глибокий мінімум кривої близько 2.4 та 2.46 ГГц вказує на частоту резонансу або узгодження, де імпеданс антени найближчий до імпедансу джерела, що призводить до мінімізації відбиття сигналу.

### 3.1.3 КСХН

Далі отримуємо графік зображення КСХН відносно частоти. Де ми можемо бачити частоту на котрій наша антена є узгоджено та значення КСХН для даної частоти.



“Рис 3.1.3.1 — Частотна залежність КСХН для колової поляризації”

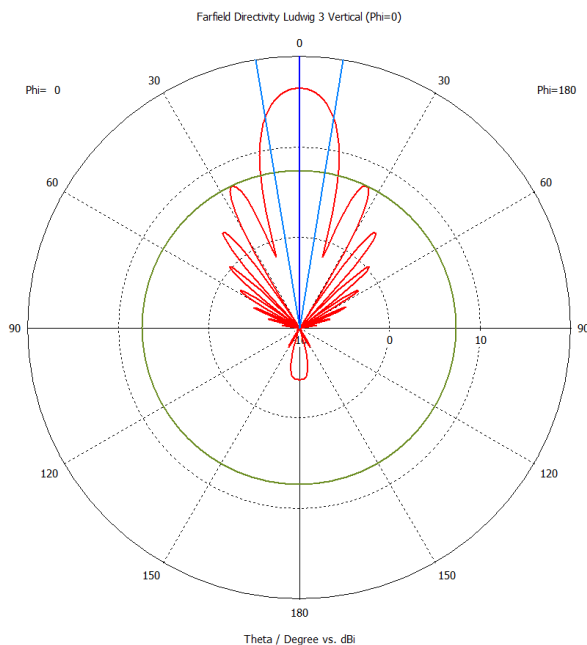


“Рис 3.1.3.2 — Частотна залежність КСХН для лінійної поляризації”

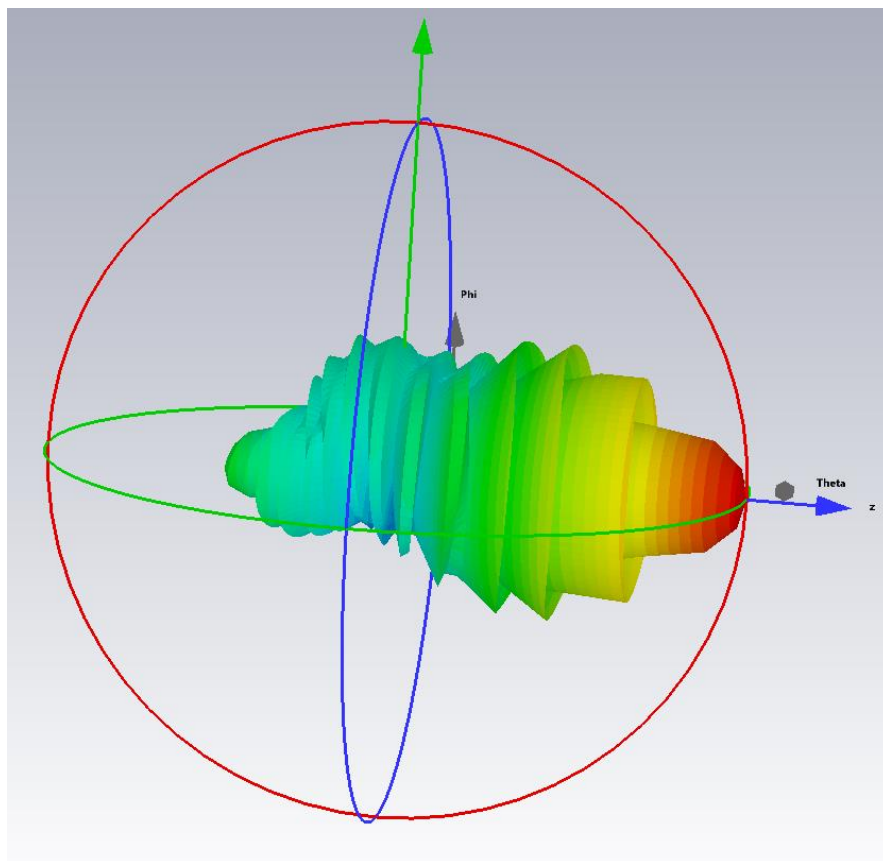
Із графіку стоячої хвилі видно що на частоті 2.4 Гц він дорівнює 1.3 для лінійної поляризації, а для кругової цей коефіцієнт дорівнює приблизно 1.

### 3.1.4 Діаграма спрямованості

Для початку зображуємо графік ДС та його значення для лінійної поляризації.



“Рис 3.1.4.1 — Графік зображення лінійної поляризації у полярній системі координат.”

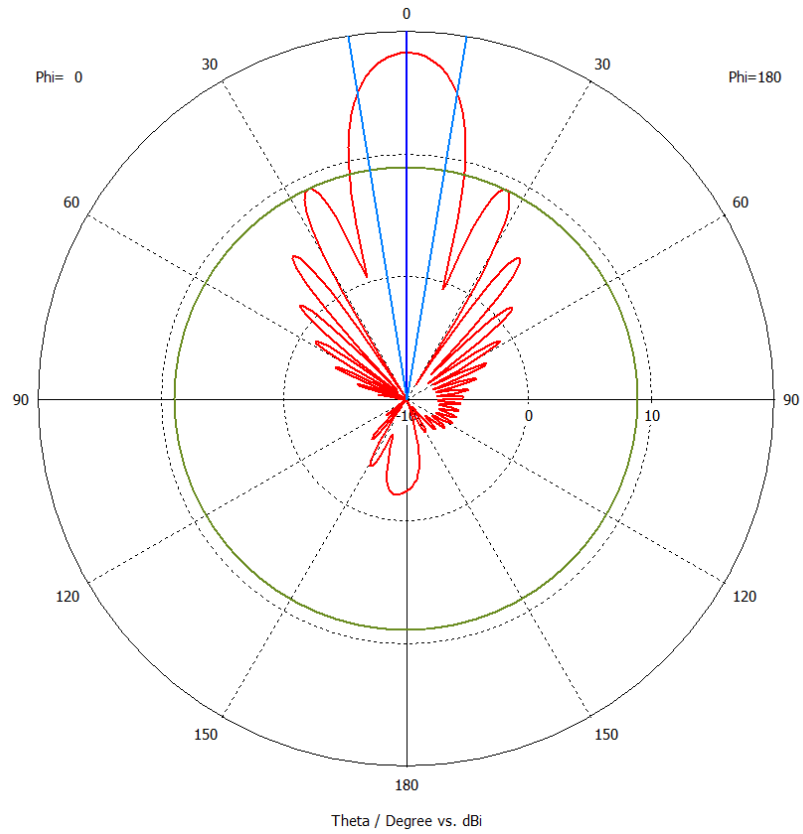


“Рис 3.1.4.2 — Зображення ДС у 3D візуалізації для лінійної поляризації”

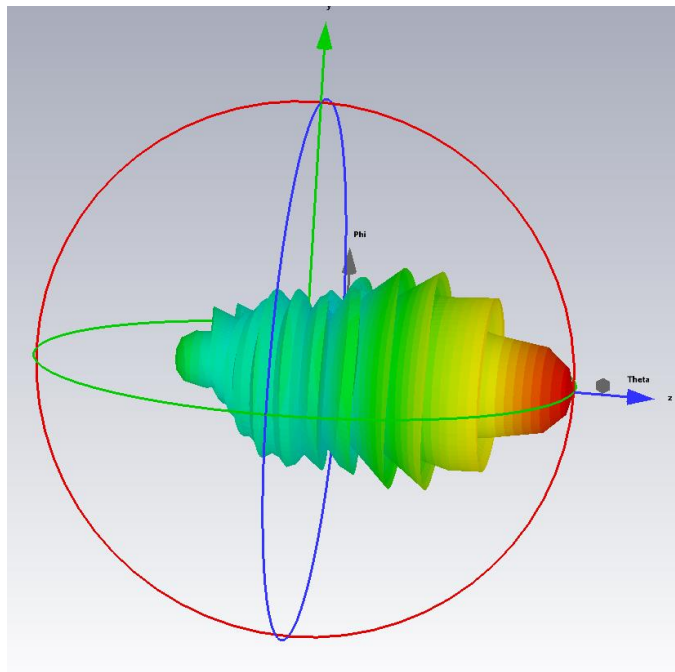
Із наведеної діаграми можемо зробити висновки, які зображені у “Таблиці 3.1.4.1”

Таблиця 3.1.4.1

Максимальний коефіцієнт спрямованої дії	16.5 дБі
Напрямок головної пелюстки	0.0 градусів
Ширина головної пелюстки при зниженні на 3 дБ	18.6 градусів
Рівень бічних пелюсток	-9.1 дБ



“Рис 3.1.4.3 — Графік зображення колової поляризації у полярній системі координат”



“Рис 3.1.4.4 — Зображення ДС у 3D візуалізації для колової поляризації”

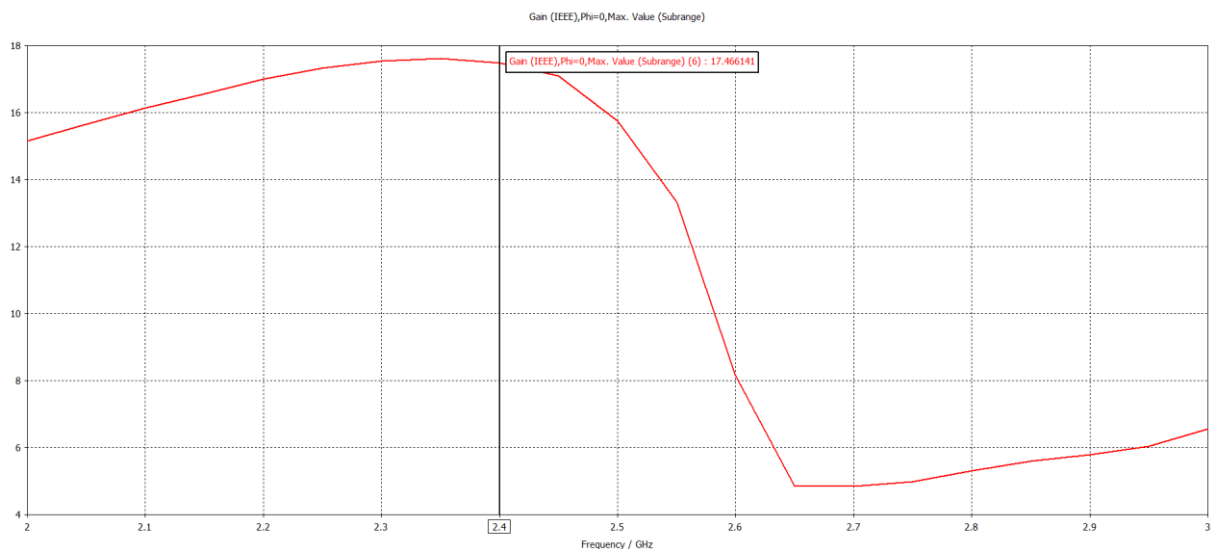
Маємо такі дані ДС для кругової поляризації у “Таблиці 3.1.4.1”

Таблиця 3.1.4.2

Максимальний коефіцієнт спрямованої дії	18.2 дБі
Напрямок головної пелюстки	0.0 градусів
Ширина головного пелюстка при зниженні на 3 дБ	18.5 градусів
Рівень бічних пелюсток	-9.3 дБ

### 3.1.5 Коефіцієнт підсилення

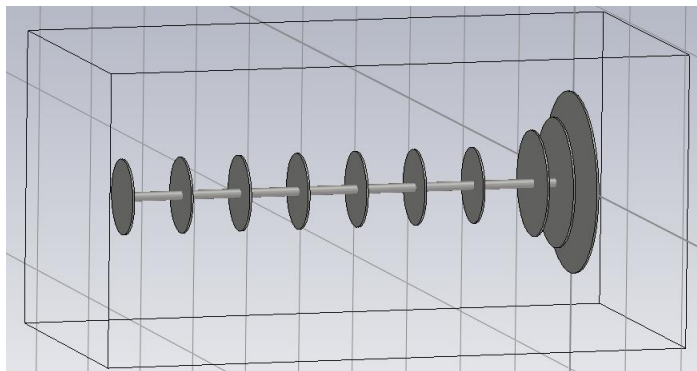
Він показує, як підсилення антени змінюється в широкому діапазоні частот, з піком близько 2.4 ГГц, де підсилення досягає максимуму приблизно 17.4 дБ. На низьких частотах підсилення менше і збільшується до максимального значення, після чого знову знижується на вищих частотах, що можна бачити на Рис 3.1.5.1.



“Рис 3.1.5.1 — Частотна залежність коефіцієнта підсилення в діапазоні від 2 до 3 ГГц”

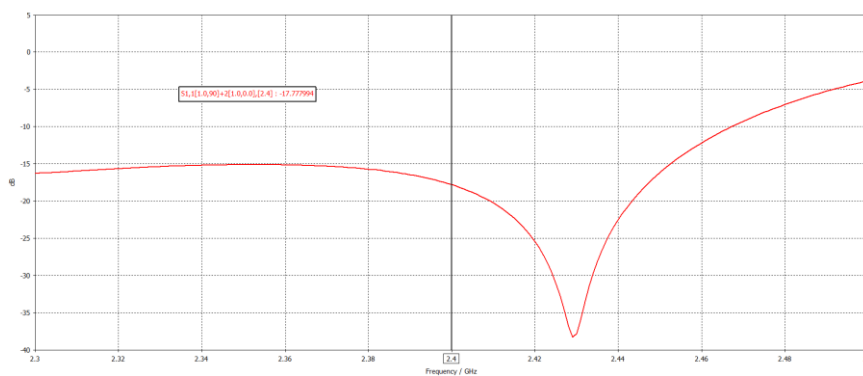
## 3.2 Двополяризаційна дискостержнева антена із 10 елементів

### 3.2.1 3D модель

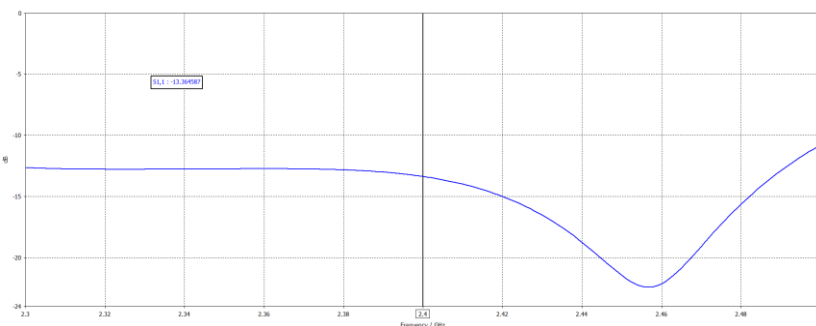


“Рис 3.2.1.1 — зображення 3D моделі для 10-елементної антени”

### 3.2.2 S – параметри



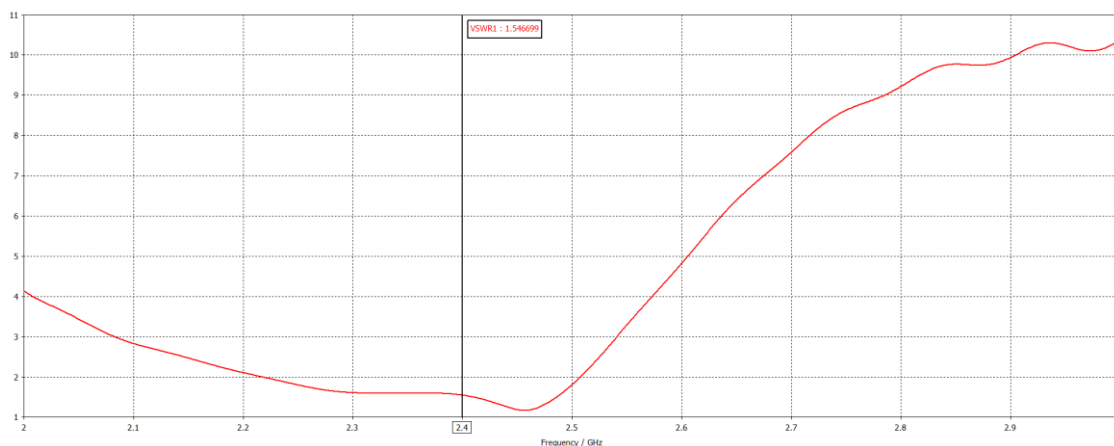
“Рис 3.2.2.1 — Залежність S- параметрів від частоти в діапазоні 2.3- 2.5 ГГц для кругової поляризації”



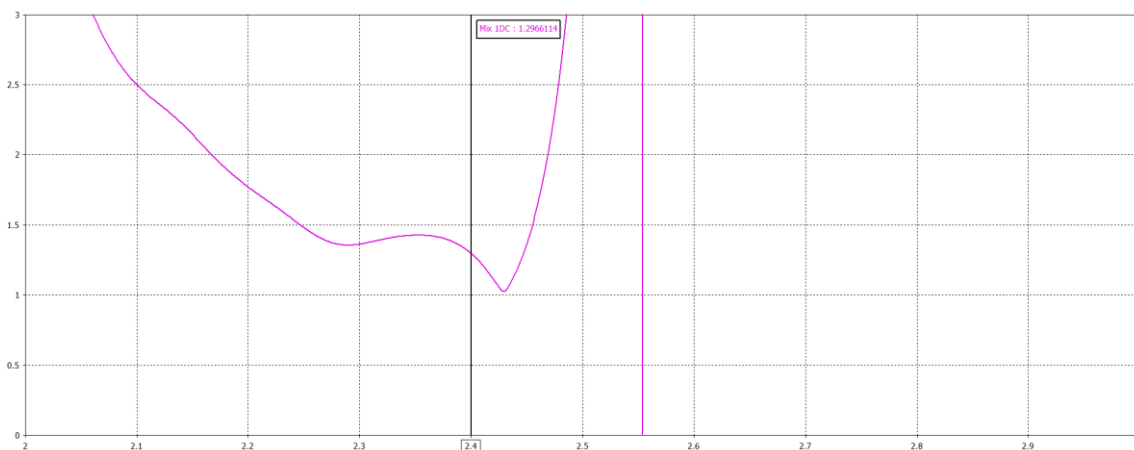
“Рис 3.2.2.2 — Залежність S- параметрів від частоти в діапазоні 2.3- 2.5 ГГц для лінійної поляризації”

Червона та синя крива - це параметр  $S_{11}$ , який показує коефіцієнт відбиття сигналу від порту 1. Глибокий мінімум кривої близько 2.43 та 2.45 ГГц вказує на частоту резонансу або узгодження, де імпеданс антени найближчий до імпедансу джерела, що призводить до мінімізації відбиття сигналу.

### 3.2.3 КСХН



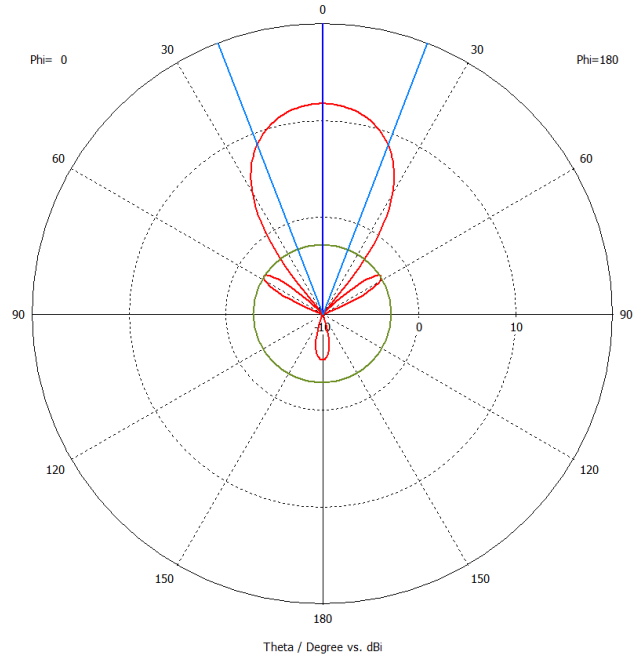
“Рис 3.2.3.1 — Частотна залежність КСХН для лінійної поляризації”



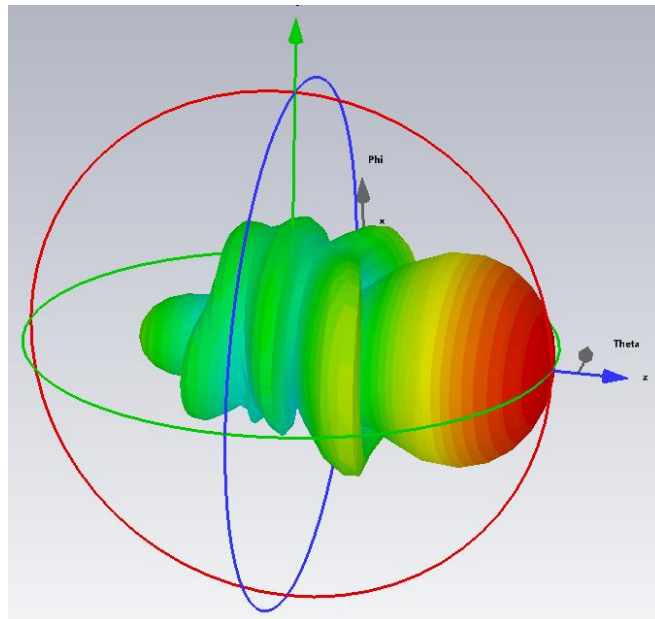
“Рис 3.2.3.2 — Частотна залежність КСХН для колової поляризації”

### 3.2.4 Діаграма спрямованості

Спочатку діаграма спрямованості для лінійної поляризації



“Рис 3.2.4.1 — Графік зображення лінійної поляризації у полярній системі координат”



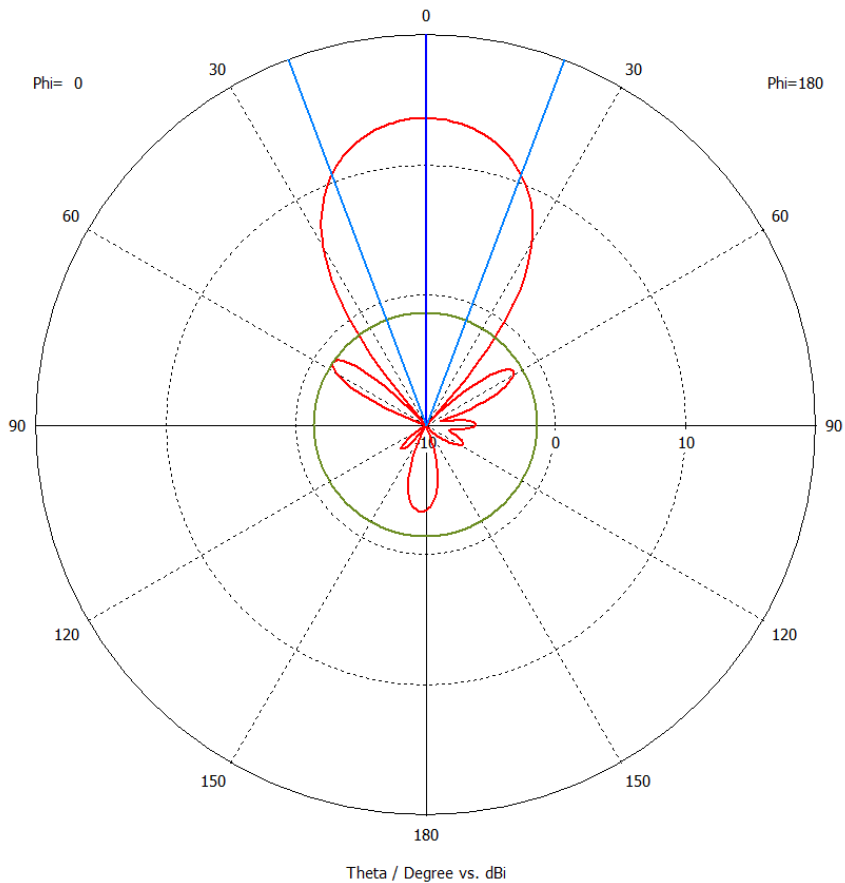
“Рис 3.2.4.2 — Зображення ДС у 3D візуалізації для лінійної поляризації”

Із наведеної ДС маємо такі результати, що наведені в “Таблиці 3.2.4.1”

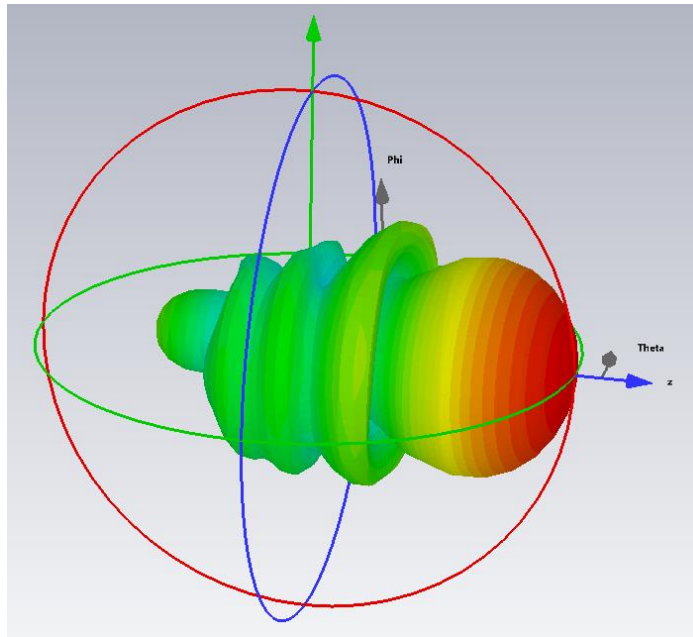
Таблиця 3.2.4.1

Максимальний коефіцієнт спрямованої дії	11.7 дБі
Напрямок головної пелюстки	0.0 градусів
Ширина головного пелюстка при зниженні на 3 дБ	42.4 градуси
Рівень бічних пелюсток	-14.6 дБ

Графік зображення ДС для колової поляризації



“Рис 3.2.4.3 — Графік зображення колової поляризації у полярній системі координат”



“Рис 3.2.4.4 — Зображення ДС у 3D візуалізації для колової поляризації”

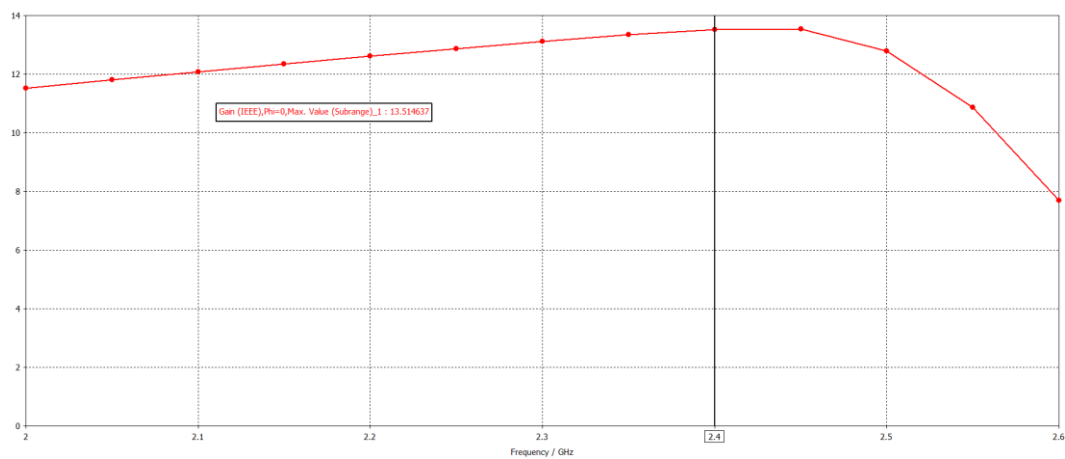
Із ДС ми можемо визначаємо дані, які наведено в “Таблиці 3.2.4.2”

Таблиця 3.2.4.2

Максимальний коефіцієнт спрямованої дії	13.6 дБі
Напрямок головної пелюстки	0.0 градусів
Ширина головного пелюстка при знижені на 3 дБ	41.4 градуси
Рівень бічних пелюсток	-15 дБ

### 3.2.5 Коефіцієнт підсилення

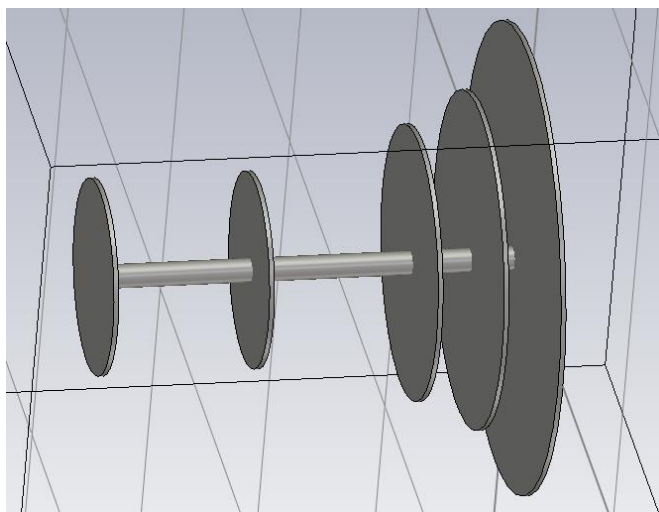
Піком на частоті 2.4 ГГц, де підсилення досягає максимуму, дорівнює 13.5 дБ. На низьких частотах підсилення менше і збільшується до максимального значення, після чого знову знижується на вищих частотах, що можна бачити на Рис 3.2.5.1.



“Рис 3.2.5.1 — Частотна залежність коефіцієнта підсилення в діапазоні від 2.3 до 2.6 ГГц”

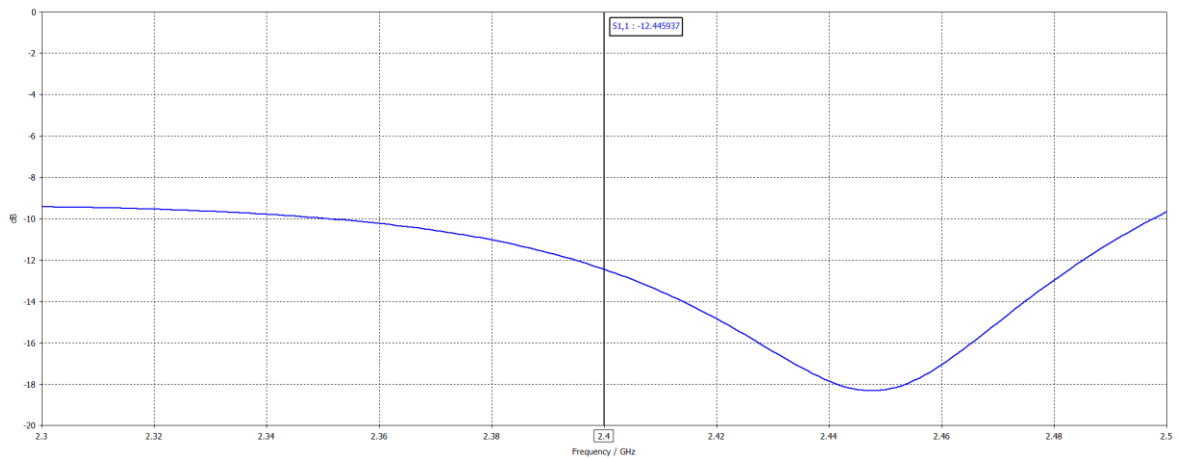
### 3.3 Двополяризація дискостержнева антена із 5 елементів

#### 3.3.1 3D модель

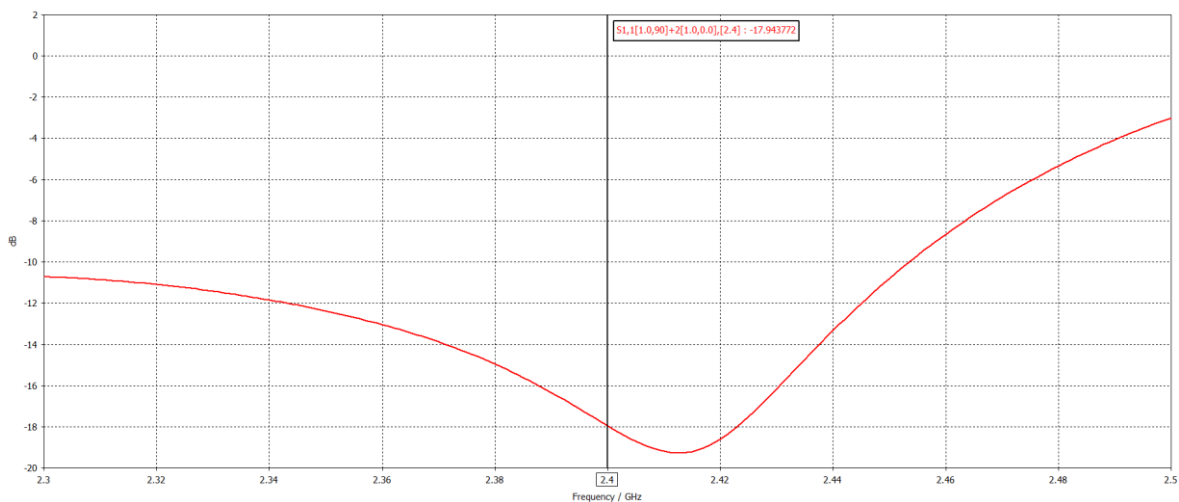


“Рис 3.3.1.1 — зображення 3D моделі для 5-елементної антени”

### 3.3.2 S – параметри



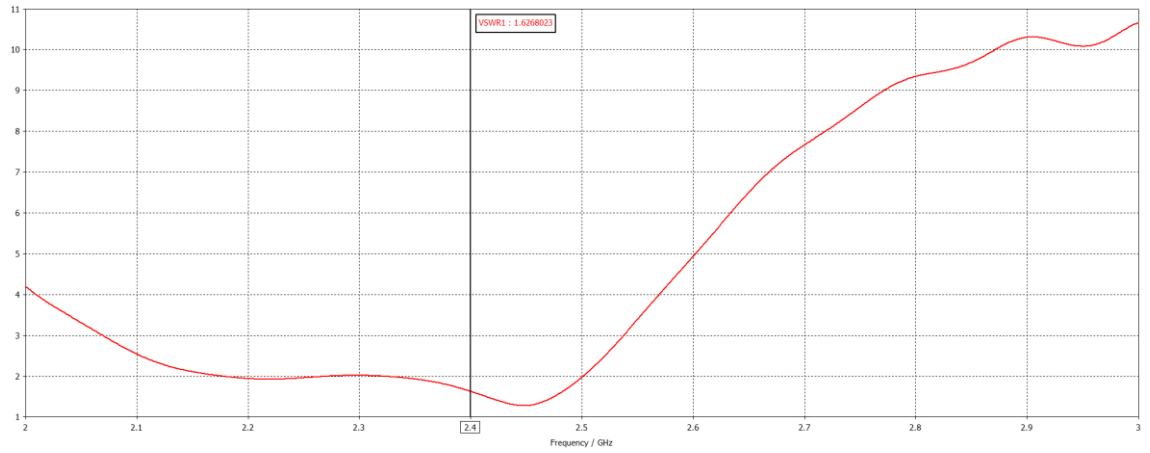
“Рис 3.3.2.1 — Залежність S- параметрів від частоти в діапазоні 2.3- 2.5 ГГц для лінійної поляризації”



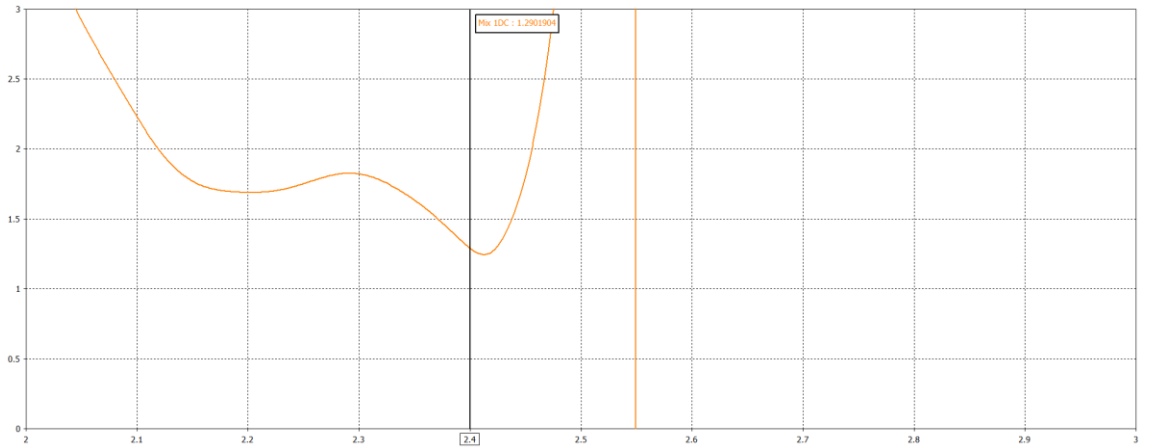
“Рис 3.3.2.2 — Залежність S- параметрів від частоти в діапазоні 2.3- 2.5 ГГц для колової поляризації”

Червона та синя крива - це параметр S11, який показує коефіцієнт відбиття сигналу від порту 1. Глибокий мінімум кривої близько 2.41 та 2.45 ГГц вказує на частоту резонансу або узгодження, де імпеданс антени найближчий до імпедансу джерела, що призводить до мінімізації відбиття сигналу.

### 3.3.3 КСХН



“Рис 3.3.3.1 — Частотна залежність КСХН для лінійної поляризації”

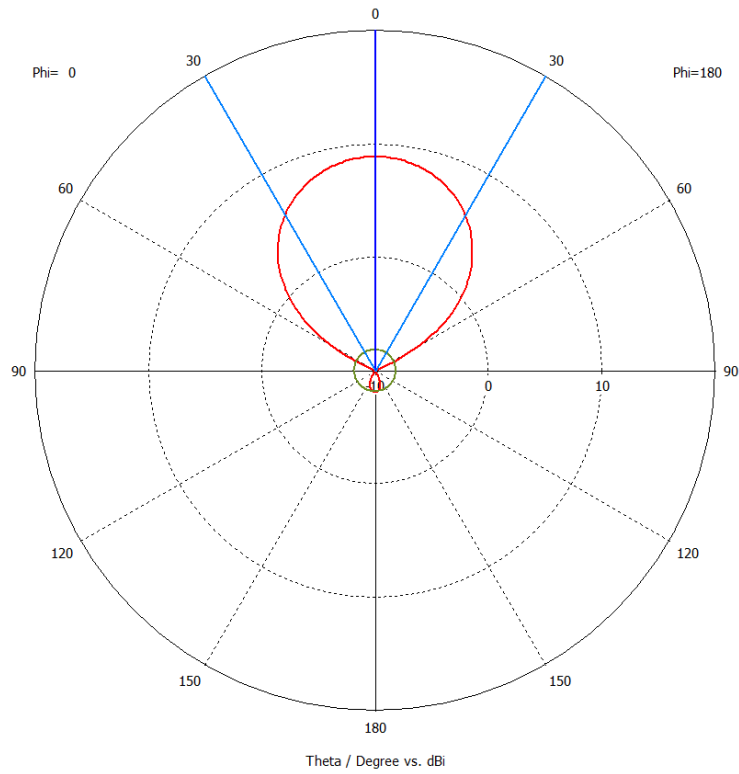


“Рис 3.3.3.2 — Частотна залежність КСХН для колової поляризації”

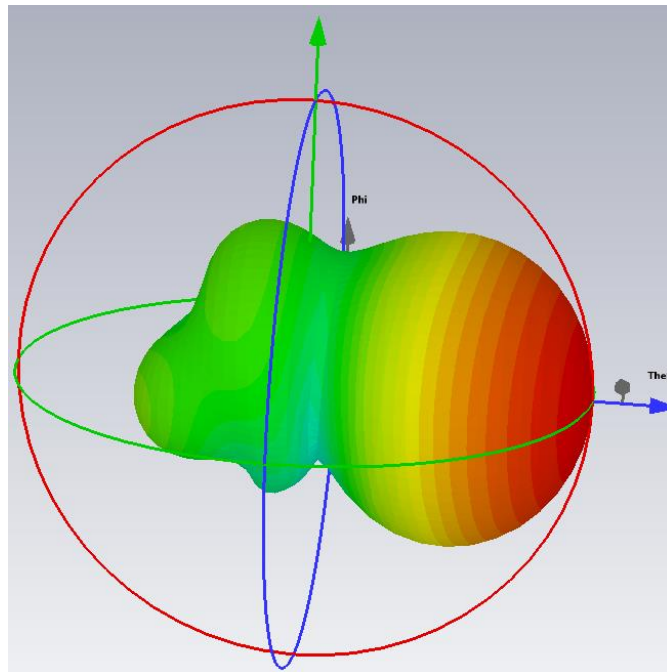
Із графіку стоячої хвилі видно, що на частоті 2.4 ГГц він дорівнює 1.6 та 1.3.

### 3.3.4 Діаграма спрямованості

Спочатку діаграма спрямованості для лінійної поляризації



“Рис 3.3.4.1 — Графік зображення лінійної поляризації у полярній системі координат”



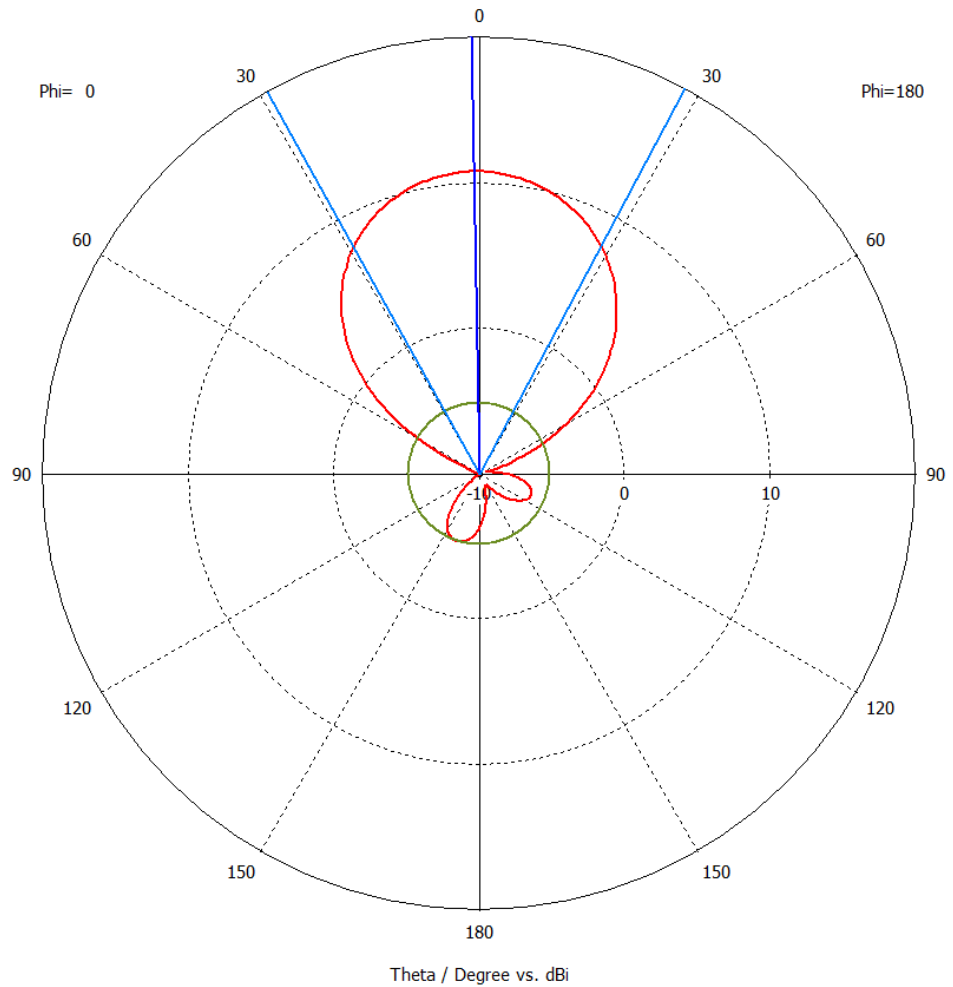
“Рис 3.3.4.2 — Зображення ДС у 3D візуалізації для лінійної поляризації”

Із наведеної ДС маємо такі результати, які були записані у “Таблицю 3.3.4.1”

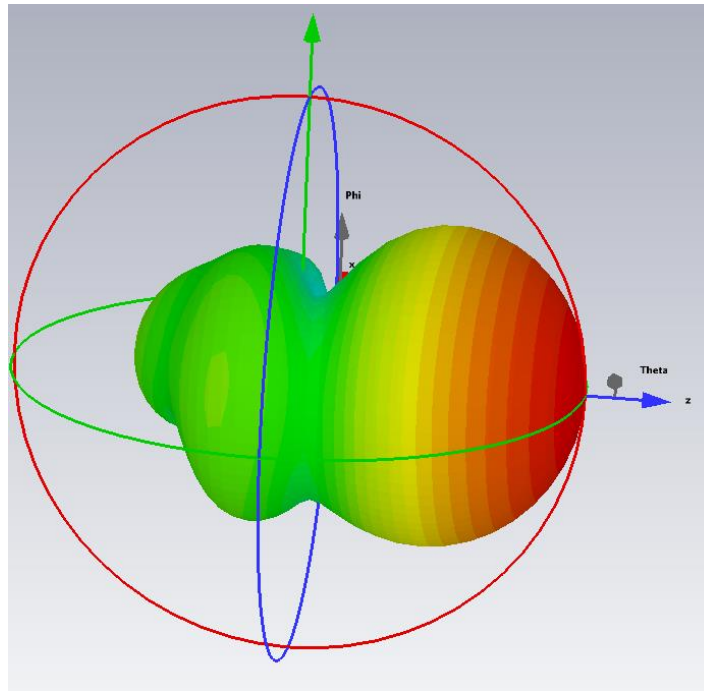
Таблиця 3.3.4.1

Максимальний коефіцієнт спрямованої дії	8.86 дБі
Напрямок головної пелюстки	0.0 градусів
Ширина головного пелюстка при зниженні на 3 дБ	60 градусів
Рівень бічних пелюсток	-17 дБ

Графік зображення ДС для колової поляризації



“Рис 3.3.4.2 — Графік зображення колової поляризації у полярній системі координат”



“Рис 3.3.4.2 — Зображення ДС у 3D візуалізації для колової поляризації”

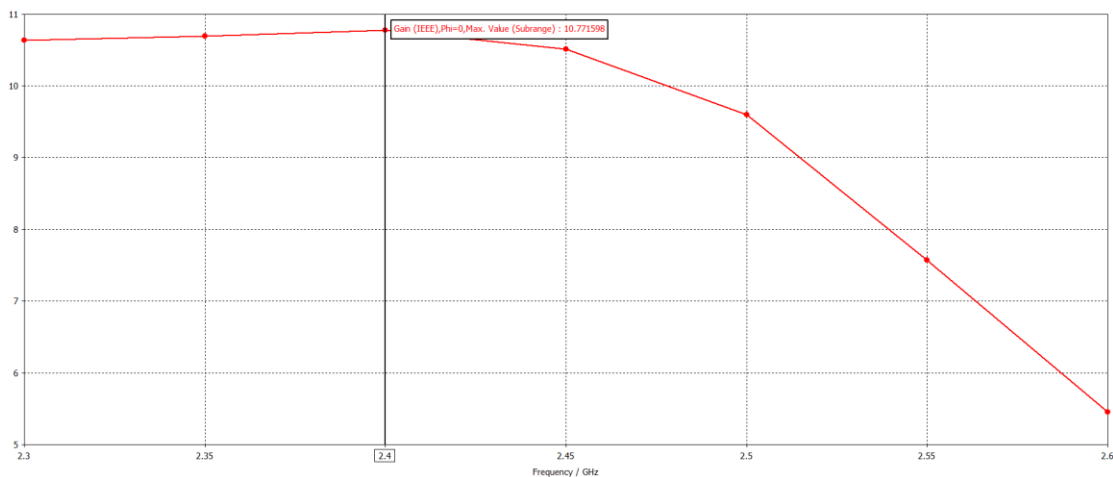
Із ДС ми можемо визначаємо дані які наведено в “Таблиці 3.3.4.2”

Таблиця 3.3.4.2

Максимальний коефіцієнт спрямованої дії	10.8 дБі
Напрямок головної пелюстки	1.0 градус
Ширина головного пелюстка при знижені на 3 дБ	57.1 градусів
Рівень бічних пелюсток	-15.9 дБ

### 3.3.5 Коефіцієнт підсилення

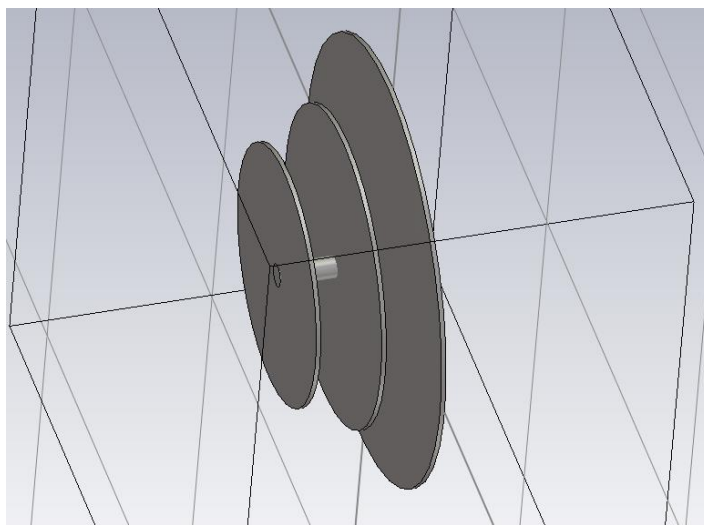
Піком на частоті 2.4 ГГц, де підсилення досягає максимуму, дорівнює 10.7 дБ. На низьких частотах підсилення менше і збільшується до максимального значення, після чого знову знижується на вищих частотах, що можна бачити на Рис 3.3.5.1.



“Рис 3.3.5.1 — Частотна залежність коефіцієнта підсилення в діапазоні від 2.3 до 2.6 ГГц”

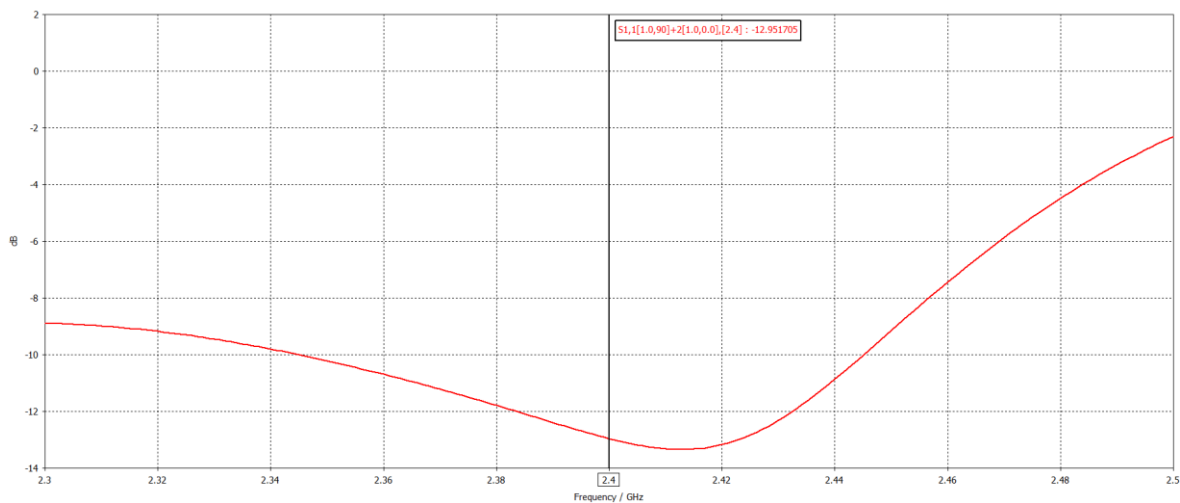
### 3.4 Двополяризаційна дискостержнева антена із 3 елементів

#### 3.4.1 3D модель

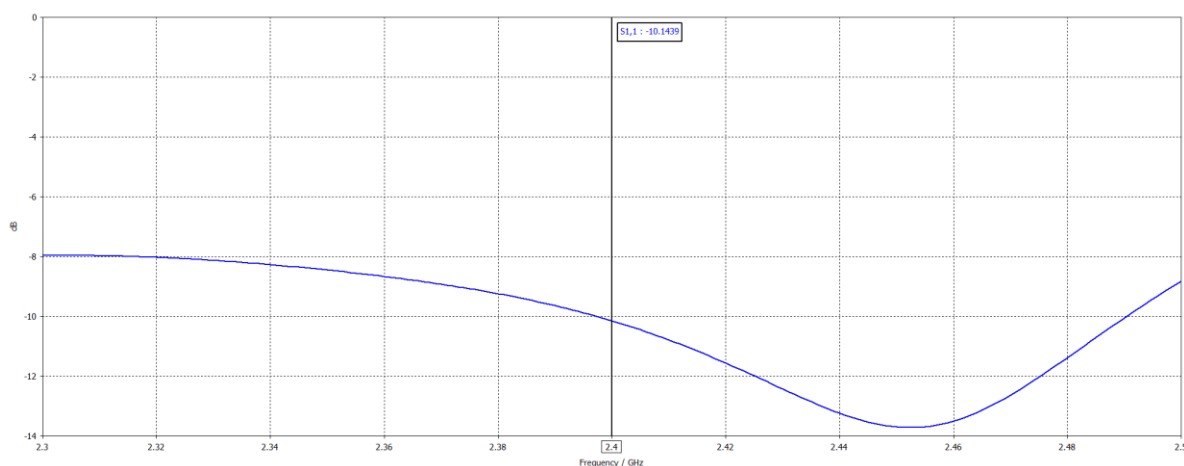


“Рис 3.4.1.1 — зображення 3D моделі для 3-елементної антени”

### 3.4.2 S – параметри



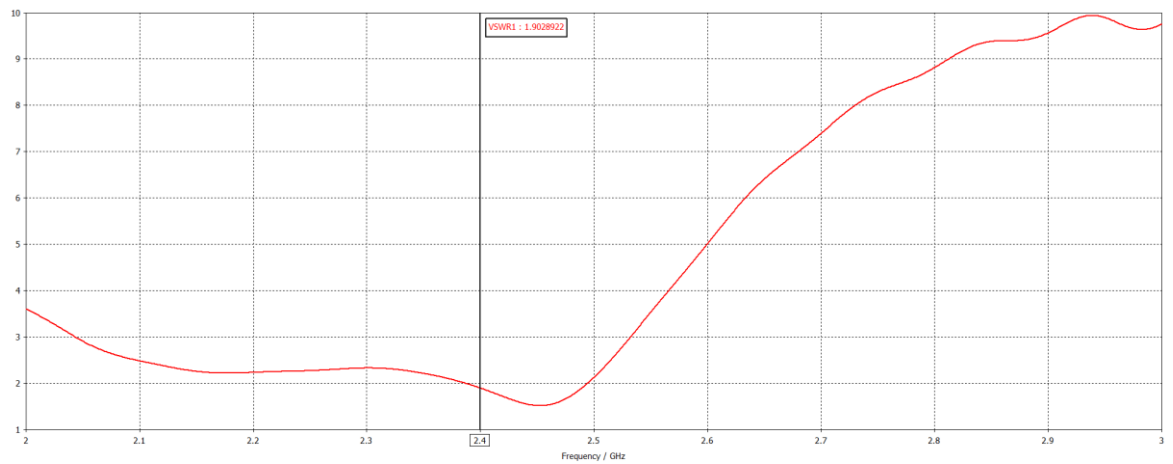
“Рис 3.4.2.1 — Залежність S- параметрів від частоти в діапазоні 2.3- 2.5 ГГц для колової поляризації”



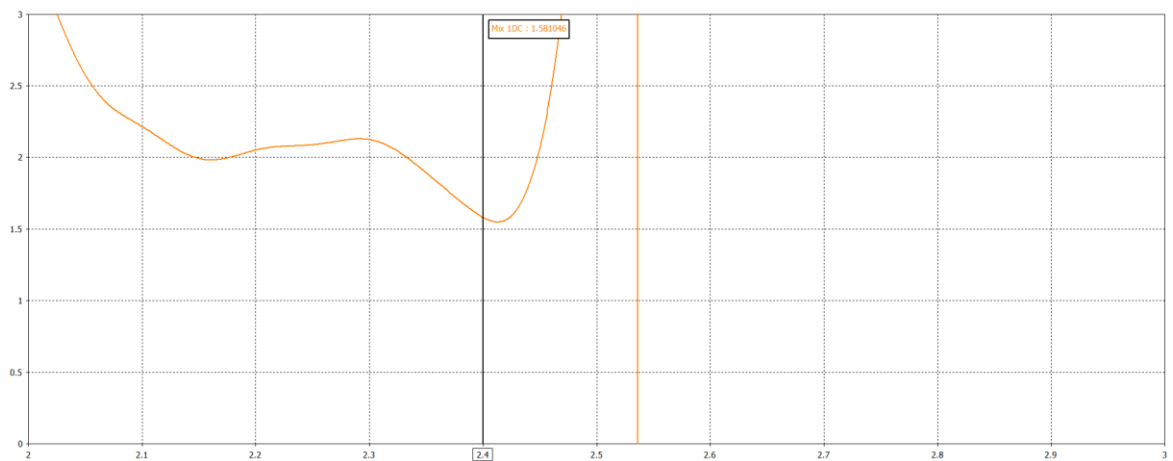
“Рис 3.4.2.2 — Залежність S- параметрів від частоти в діапазоні 2.3- 2.5 ГГц для лінійної поляризації”

Червона крива - це параметр S11, який показує коефіцієнт відбиття сигналу від порту 1. Глибокий мінімум кривої близько 2.41 та 2.45 ГГц вказує на частоту резонансу або узгодження, де імпеданс антени найближчий до імпедансу джерела, що призводить до мінімізації відбиття сигналу.

### 3.4.3 КСХН



“Рис 3.4.3.1 — Частотна залежність КСХН для лінійної поляризації”

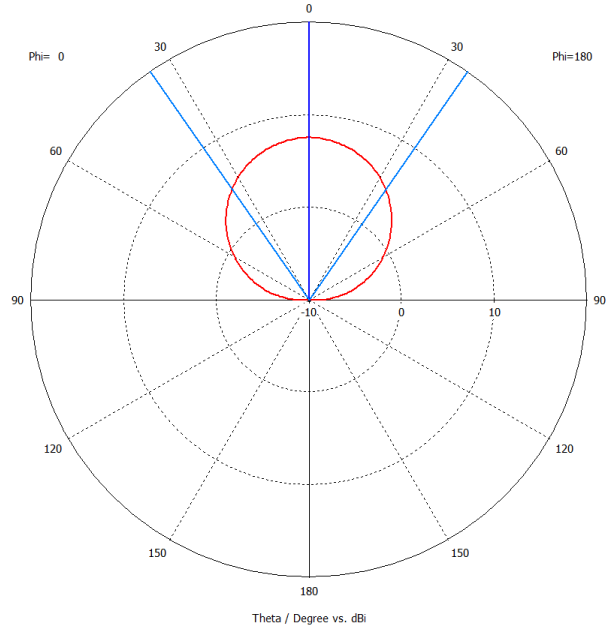


“Рис 3.4.3.2 — Частотна залежність КСХН для колової поляризації”

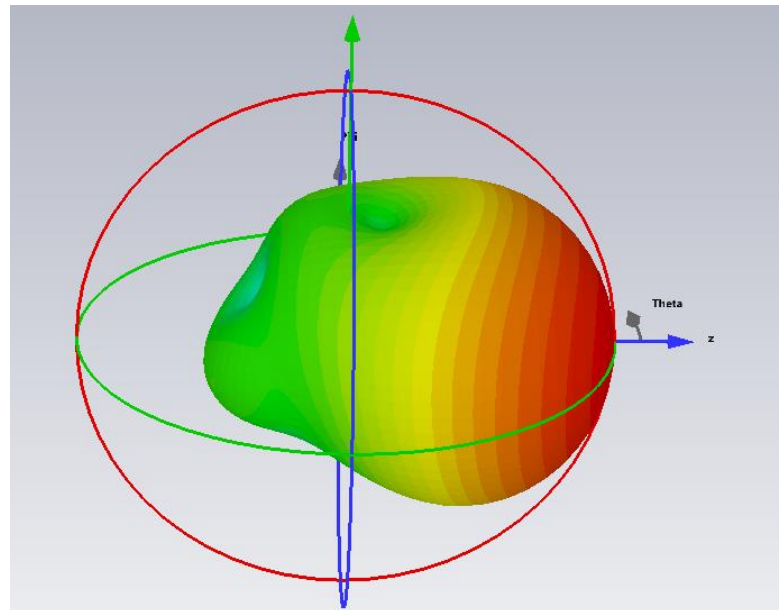
Із графіку стоячої хвилі видно що на частоті 2.4 ГГц він дорівнює 1.9 та 1.58.

### 3.4.4 Діаграма спрямованості

Спочатку діаграма спрямованості для лінійної поляризації



“Рис 3.4.4.1 — Графік зображення лінійної поляризації у полярній системі координат”



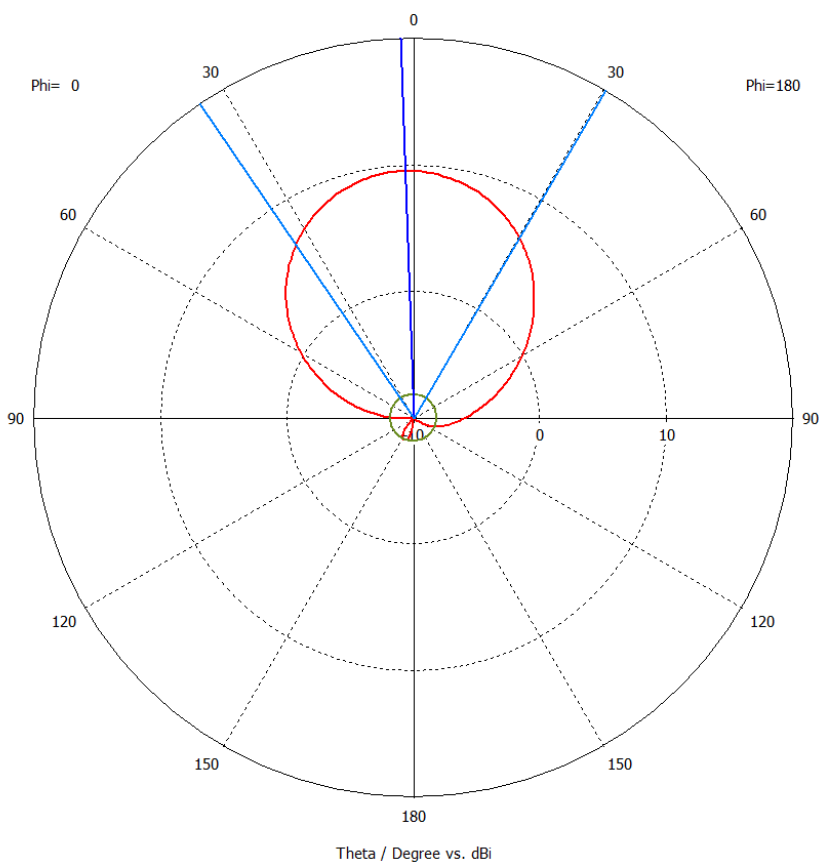
“Рис 3.4.4.2 — Зображення ДС у 3D візуалізації для лінійної поляризації”

Із наведеної ДС маємо такі результати, що наводяться у “Таблиці 3.4.4.1”

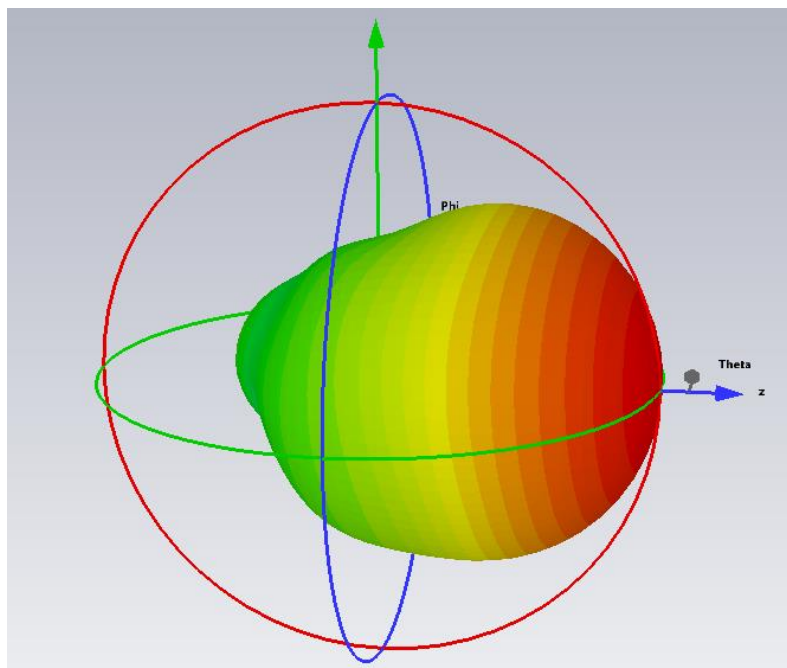
Таблиця 3.4.4.1

Максимальний коефіцієнт спрямованої дії	7.5 дБі
Напрямок головної пелюстки	0.0 градусів
Ширина головного пелюстка при зниженні на 3 дБ	69.7 градусів
Рівень бічних пелюсток	-19.4 дБ

Графік зображення ДС для колової поляризації



“Рис 3.4.4.3 —Графік зображення колової у полярній системі координат”



“Рис 3.4.4.4 — Зображення ДС у 3D візуалізації для колової поляризації”

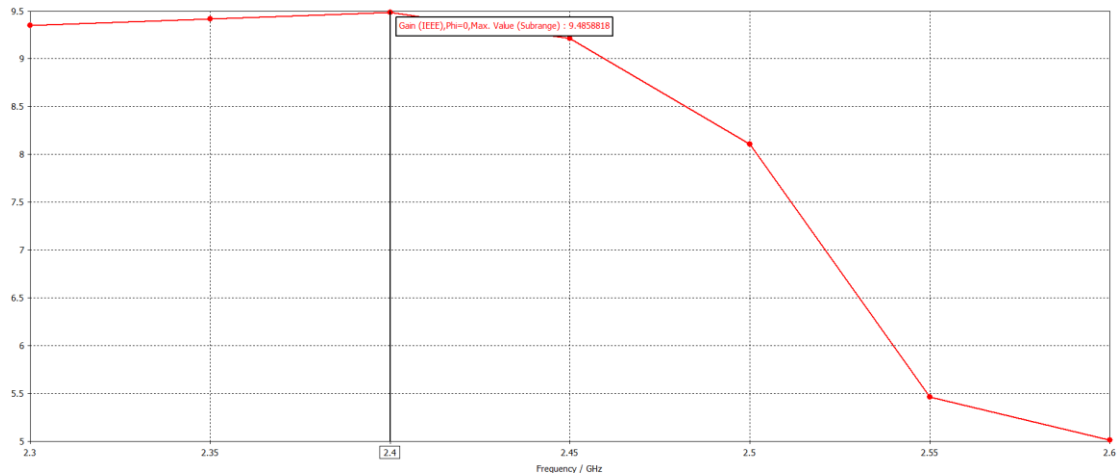
Із ДС ми можемо визначаємо дані які наведено в “Таблиці 3.4.4.2”

Таблиця 3.4.4.2

Максимальний коефіцієнт спрямованої дії	9.51 дБі
Напрямок головної пелюстки	2.0 градуси
Ширина головного пелюстка при знижені на 3 дБ	64.4 градуси
Рівень бічних пелюсток	-17.6 дБ

### 3.4.5 Коефіцієнт підсилення

Піком на частоті 2.41 ГГц, де підсилення досягає максимуму, дорівнює 9.4 дБі. На низьких частотах підсилення менше і збільшується до максимального значення, після чого знову знижується на вищих частотах, що можна бачити на Рис 3.3.5.1.



“Рис 3.3.5.1 — Частотна залежність коефіцієнта підсилення в діапазоні від 2.3 до 2.6 ГГц”

### 3.5 Порівняння характеристик випромінювання дискостержневої антени при різних варіантах збудження лінійних та колових поляризацій

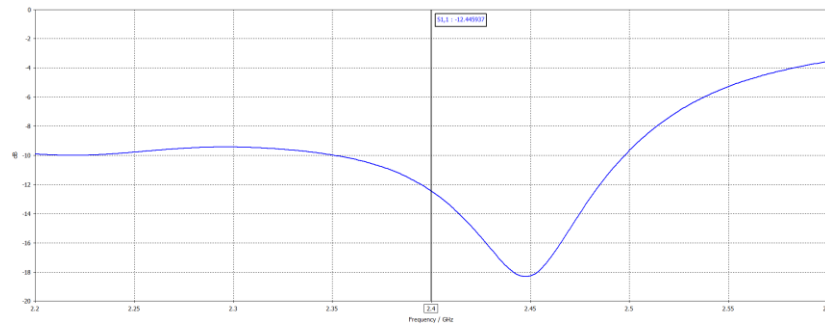
Для отримання лівої чи правої колової поляризації нам потрібно зробити фазовий зсув  $\pm 90$  градусів між зондами збудження антени, розташованими у горизонтальній та вертикальній площинах на однакових відстанях від осі антени.

Лінійну поляризацію можна збудити одним зондом збудження чи двома синфазними зондами, розташованими у горизонтальній та вертикальній площинах на однакових відстанях від осі антени.

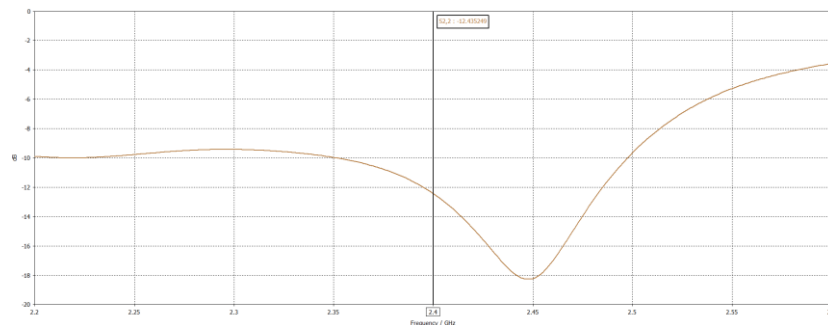
#### 3.5.1 Лінійна поляризація двома синфазними зондами

##### 3.5.1.1 S-параметри

Для прикладу будемо розглядати дискостержневу антену, яка складається із 5 елементів.



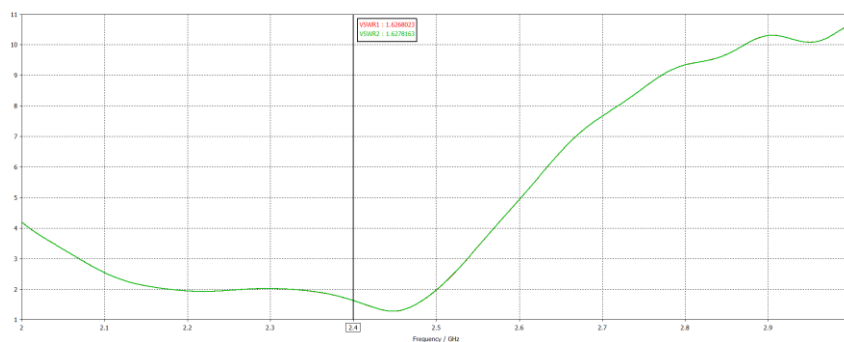
“Рис 3.5.1.1.1 — Залежність S- параметрів зонду 1 від частоти в діапазоні 2.2- 2.6 ГГц’ для лінійної поляризації”



“Рис 3.5.1.1.2 — Залежність S- параметрів зонду 2 від частоти в діапазоні 2.2- 2.6 ГГц, для лінійної поляризації”

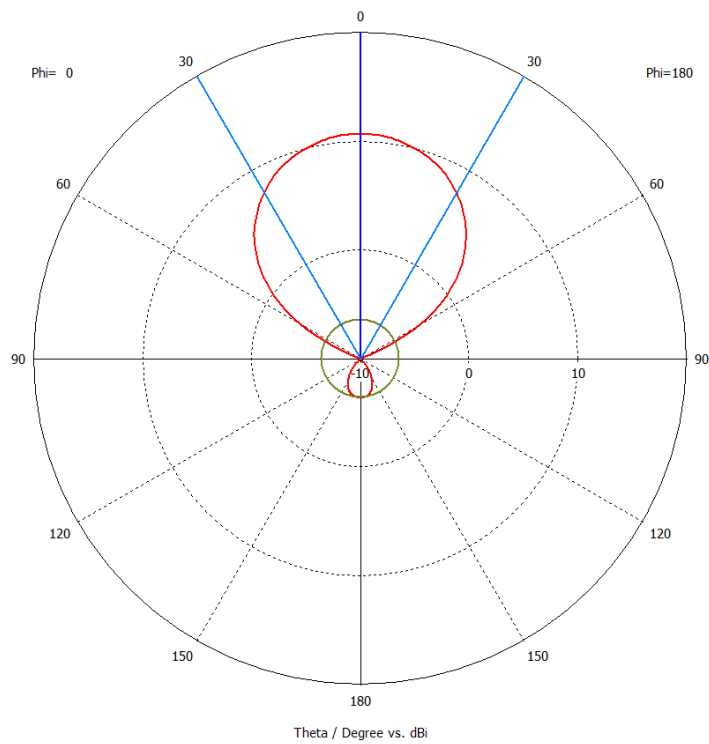
Графіки на Рис. 3.5.1.1 та Рис. 3.5.1.2 зображено параметр S11, який показує частотну залежність відбиття сигналу від зонду 1 та зонду 2. Глибокий мінімум котрих знаходиться в діапазоні частот 2.44-2.45 ГГц.

### 3.5.1.2 КСХН

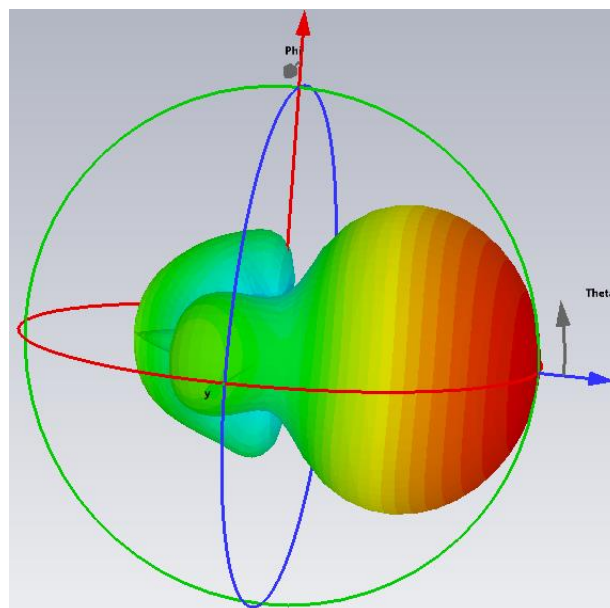


“Рис 3.5.1.2 — Графік зображення КСХН відносно частоти для лінійної поляризації для двох синфазних зондів”

### 3.5.1.3 Діаграма спрямованості



“Рис 3.5.1.3.1 — Графік зображення лінійної вертикальної поляризації для двох синфазних зондів у полярній системі координат”

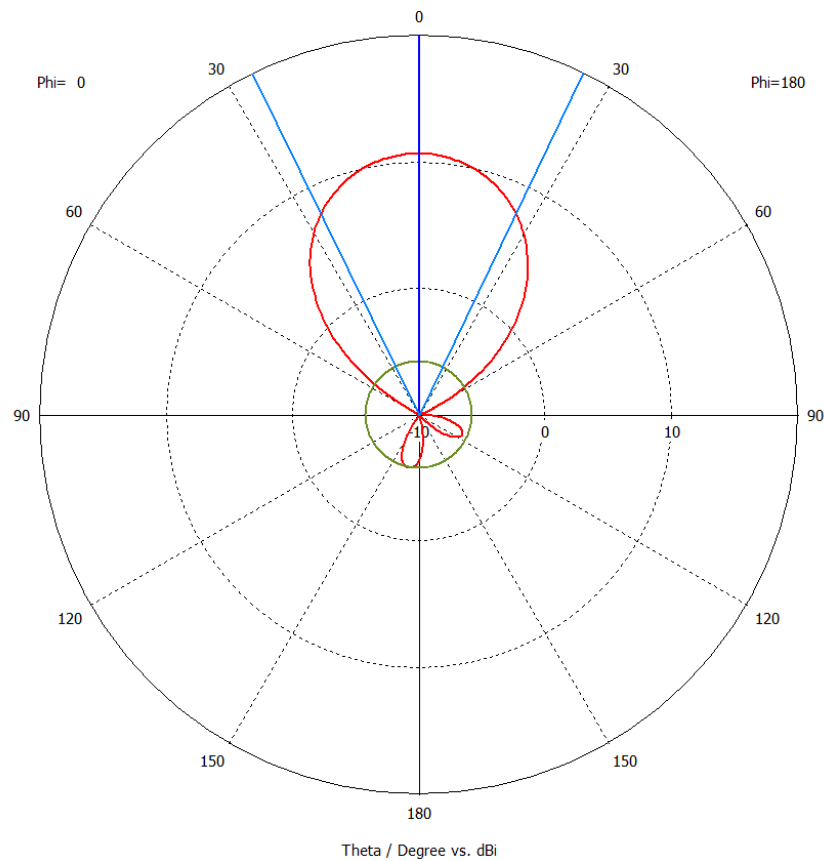


“Рис 3.5.1.3.2 — Графік зображення лінійної вертикальної поляризації для двох синфазних зондів у 3D візуалізації”

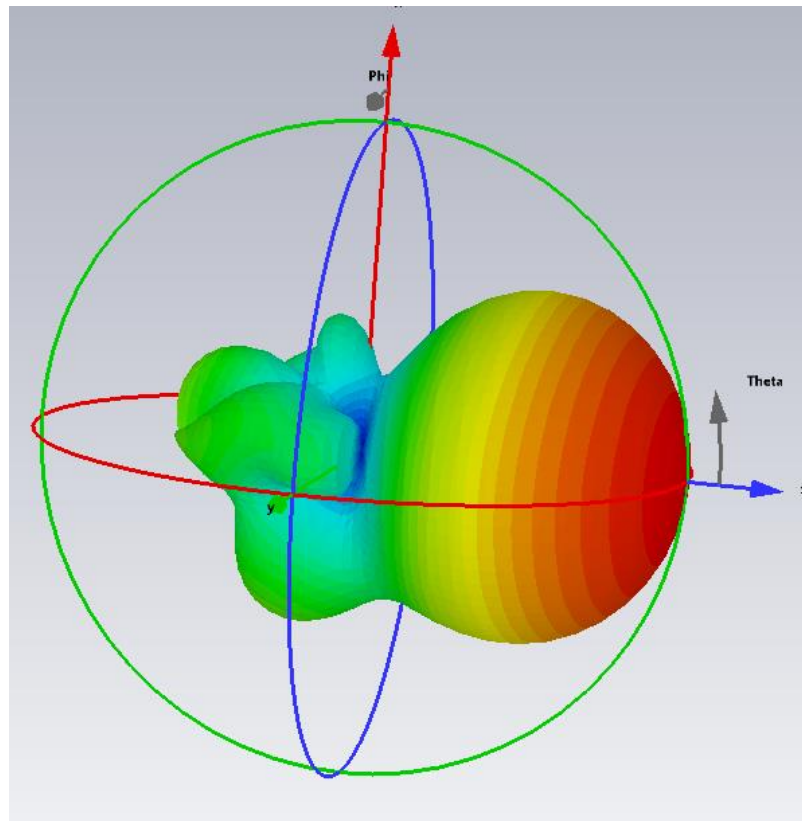
Із наведеної ДС на Рис. 3.5.1.3.1 маємо такі результати, які були записані у “Таблицю 3.5.1.3.1”

Таблиця 3.5.1.3.1

Максимальний коефіцієнт спрямованої дії	10.7 дБі
Напрямок головної пелюстки	0.0 градуси
Ширина головного пелюстка при зниженні на 3 дБ	60 градусів
Рівень бічних пелюсток	-17 дБ



“Рис 3.5.1.3.3 — Графік зображення лінійної горизонтальної поляризації для двох синфазних зондів у полярній системі координат”



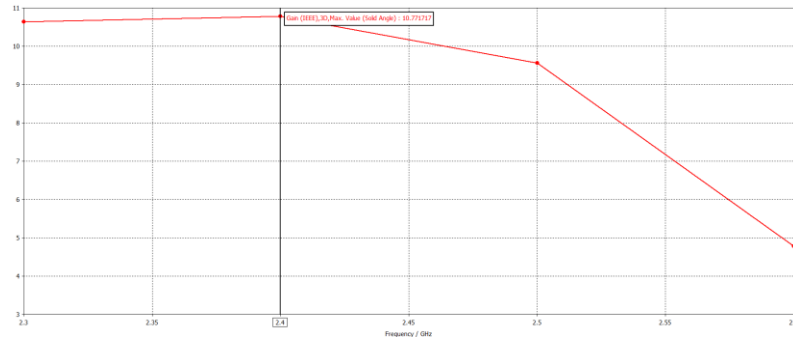
“Рис 3.5.1.3.4 — Графік зображення лінійної горизонтальної поляризації для двох синфазних зондів у 3D візуалізації”

Із наведеної ДС на Рис. 3.5.1.3.3 маємо такі результати, які були записані у “Таблицю 3.5.1.3.2”

Таблиця 3.5.1.3.2

Максимальний коефіцієнт спрямованої дії	10.7 дБі
Напрямок головної пелюстки	0.0 градуси
Ширина головного пелюстка при знижені на 3 дБ	51.7 градусів
Рівень бічних пелюсток	-16.4 дБ

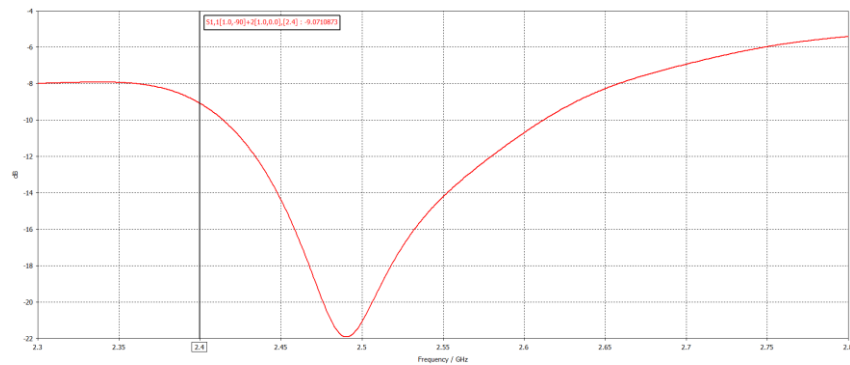
### 3.5.1.4 Коефіцієнт підсилення



“Рис 3.5.1.4 — Частотна залежність коефіцієнта підсилення для двох синфазних зондів у діапазоні від 2.3 до 2.6 ГГц”

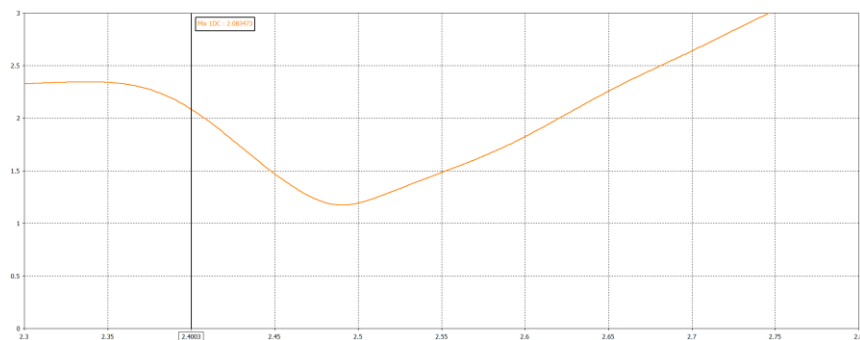
### 3.5.2 Колова поляризація із зсувом фази на -90 градусів

#### 3.5.2.1 S-параметри



“Рис 3.5.2.1 — Залежність S- параметрів від частоти в діапазоні 2.3- 2.8 ГГц для колової поляризації”

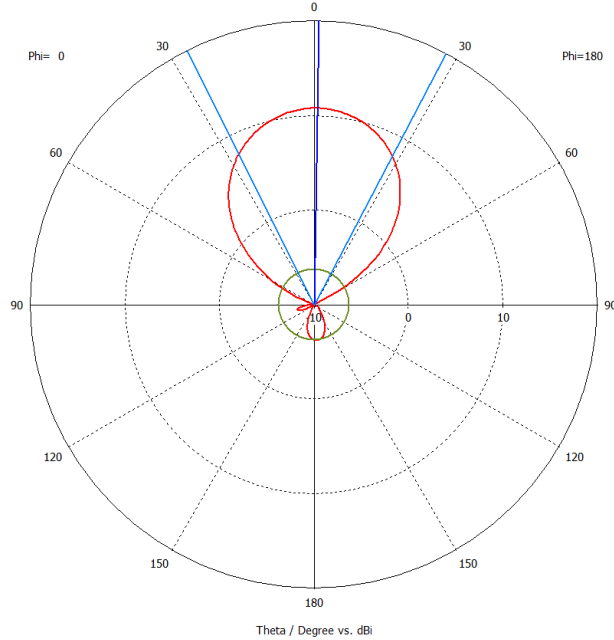
#### 3.5.2.2 КСХН



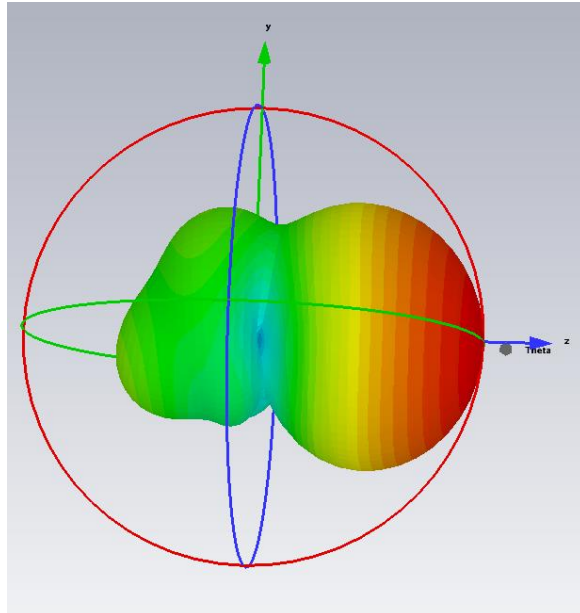
“Рис 3.5.2.2 — Графік зображення КСХН відносно частоти для колової поляризації”

Із графіку КСХН можна сказати, що у смузі частот 2.41-2.64 ГГц КСХН не перевищує значення 2 для колової поляризації.

### 3.5.2.3 Діаграма спрямованості



“Рис 3.5.2.3.1 — Графік зображення колової поляризації з фазовим зсувом -90 градусів”



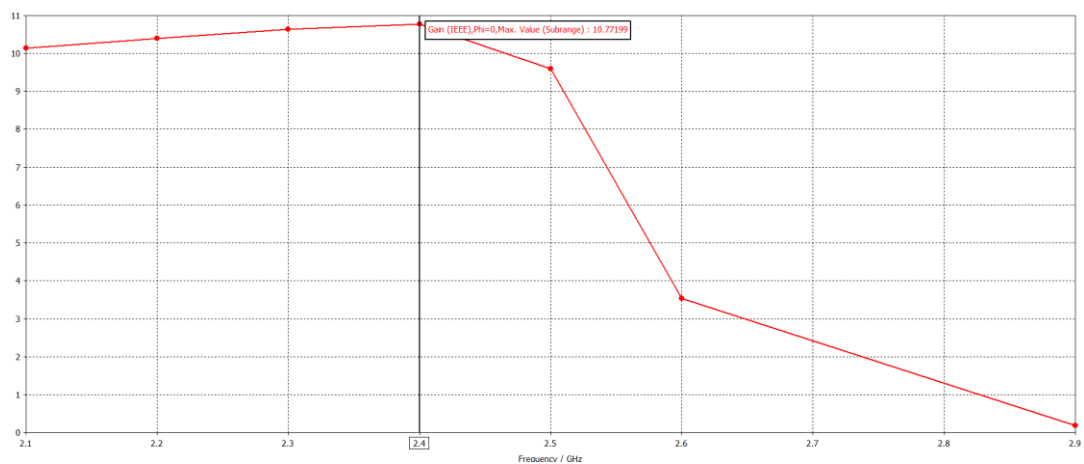
“Рис 3.5.2.3.2 — Графік зображення колової поляризації з фазовим зсувом -90 градусів у 3D візуалізації”

Із наведеної ДС на Рис. 3.5.2.3.1 маємо такі результати, які були записані у “Таблицю 3.5.2.3.1”

Таблиця 3.5.2.3.1

Максимальний коефіцієнт спрямованої дії	10.8 дБі
Напрямок головної пелюстки	1.0 градуси
Ширина головного пелюстка при зниженні на 3 дБ	54.4 градусів
Рівень бічних пелюсток	-17 дБ

### 3.5.2.4 Коефіцієнт підсилення

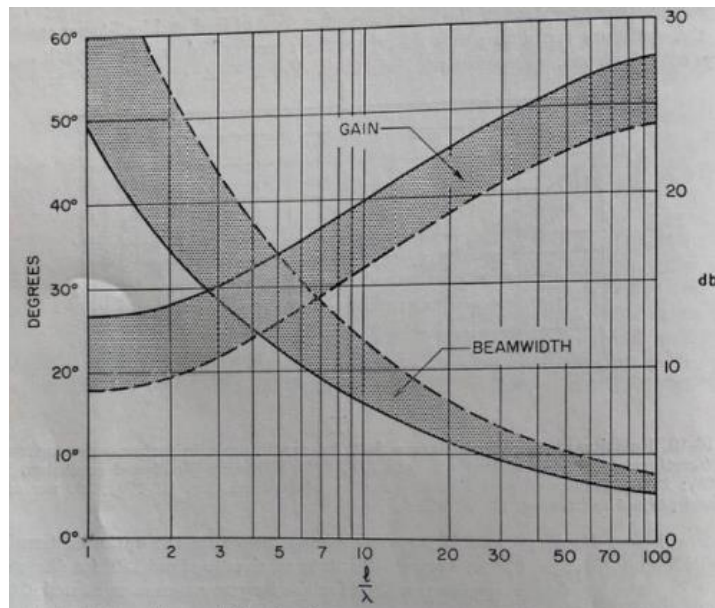


“Рис 3.5.2.4 — Частотна залежність коефіцієнта підсилення для колової поляризації з фазовим зсувом  $-90$  градусів у діапазоні від 2.1 до 2.9 ГГц”

## 3.6 Порівняння отриманих чисельних результатів із узагальненими відомими результатами досліджень антен поверхневої хвилі

Використаємо відомі загальні формули та графіки для коефіцієнтів підсилення та ширини головної пелюстки на рівні половинної потужності та порівняємо ці результати з результатами, отриманими нами з використанням електродинамічного моделювання в програмному середовищі CST Microwave Studio.

На рисунку 3.5.1 представлено графіки коефіцієнта підсилення та ширини головної пелюстки на рівні половинної потужності в залежності від відношення довжини антени до довжини хвилі.



“Рис 3.5.1 — Графіки залежності коефіцієнта підсилення та ширини головної пелюстки на рівні половинної потужності для антен поверхневої хвилі від відношення довжини антени до довжини хвилі ( $\frac{l}{\lambda}$ ). Суцільна лінія відповідає оптимальним значенням, а пунктирна — низьким рівням бічних пелюсток та широкосмуговості.”

Формула для коефіцієнта підсилення, коли ( $l \gg \lambda$ ):

$$G \cong \frac{7l}{\lambda}, \quad (3.6.1)$$

де  $l$ - довжина антени;  $\lambda$ - довжина хвилі.

Формула ширини пелюстки на рівні половинної потужності для випадку отримання максимального підсилення така:

$$BW = 55 \sqrt{\frac{\lambda}{l}}$$

(3.6.1)

Єдина із досліджених нами антен, яка задовольняє умову  $l \gg \lambda$ , є антена, що складається із 33 елементів. У цьому випадку маємо:

$$l_{33el} = 990\text{мм}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{м/с}}{2.4 \times 10^9 \text{Гц}} = 125\text{мм}$$

$$G \cong \frac{7l}{\lambda} = \frac{7 \times 990}{125} = \frac{6930}{125} = 55.44$$

Переведемо це значення у дБ:

$$10\log(G) = 17.4 \text{ дБ}$$

За формулою знайдемо ширину головної пелюстки:

$$BW = 55 \sqrt{\frac{\lambda}{l}} = 55 \sqrt{\frac{125}{990}} = 19.54 \text{ град.}$$

Порівнявши розраховані дані із результатами, отриманими у програмі CST, бачимо, що характеристики розробленої антени є коректними та добре узгоджуються з оптимальними значеннями для антен поверхневої хвилі як за коефіцієнтом підсилення, так і ширині головного пелюстка на рівні половинної потужності.

### **Висновки**

1. Створено 3D модель дискостержневої антени, яка дозволяє здійснити чисельне дослідження її характеристик узгодження та випромінювання для різних довжин та різних поляризацій.
2. На базі створеної 3D моделі в програмному пакеті CST Microwave Studio на електродинамічному рівні проведено дослідження характеристик узгодження та випромінювання дискостержневих антен різної довжини, які працюють на лінійній та коловій поляризаціях.
3. В результаті проведених чисельних досліджень показано що:

-Дискостержнева антена із 33 елементів довжиною 990 мм забезпечує на частоті 2.4 ГГц коефіцієнт підсилення 17.4 дБ,

ширину головного пелюстка на рівні половинної потужності у 18.5 градусів та рівнем бічних пелюсток -9.3 дБ, КСХН не перевищує значення 1.01 для колової поляризації. У смузі частот 2.3-2.45 ГГц КСХН не перевищує значення 2 для колової поляризації.

-Дискостержнева антена із 10 елементів довжиною 248 мм забезпечує на частоті 2.4 ГГц коефіцієнт підсилення 13.5 дБ, ширину головного пелюстка на рівні половинної потужності у 41.4 градус та рівнем бічних пелюсток -15 дБ, КСХН не перевищує значення 1.3 для колової поляризації. У смузі частот 2.2-2.46 ГГц КСХН не перевищує значення 2 для колової поляризації.

-Дискостержнева антена із 5 елементів довжиною 87 мм забезпечує на частоті 2.4 ГГц коефіцієнт підсилення 10.7 дБ, ширину головного пелюстка на рівні половинної потужності у 57.1 градус та рівнем бічних пелюсток -15.9 дБ, КСХН не перевищує значення 1.3 для колової поляризації. У смузі частот 2.15-2.45 ГГц КСХН не перевищує значення 2 для колової поляризації.

-Дискостержнева антена із 3 елементів довжиною 22 мм забезпечує на частоті 2.4 ГГц коефіцієнт підсилення 9.4 дБ, ширину головного пелюстка на рівні половинної потужності у 64.4 градусів та рівнем бічних пелюсток -17.6 дБ, КСХН не перевищує значення 1.58 для колової поляризації. У смузі частот 2.33-2.45 ГГц КСХН не перевищує значення 2 для колової поляризації.

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ

#### 4.1 Опис ідеї проєкту

Цей стартап-проект присвячено розробці інноваційної двополяризаційної дискостержневої антени, яка задумана для підвищення ефективності та надійності військових комунікаційних систем. Основна мета полягає у створенні антени, здатної забезпечувати стабільний зв'язок у складних умовах і зменшувати вплив зовнішніх перешкод. Проект орієнтований на інтеграцію з сучасними військовими технологіями, забезпечуючи вищу якість передачі даних та покращене покриття. Також він має на меті внести вклад у розвиток більш безпечних і ефективних комунікаційних рішень, які можуть бути важливими в теперішній час.

Таблиця 4.1 Опис ідеї проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигода для користувача
Розробка та вдосконалення двополяризаційної дискостержневої антени	Телекомунікації, радіолокація, військові застосування	Поліпшення якості сигналу, збільшення дальності та точності зв'язку

## 4.2 Визначення сильних та слабких характеристик

Таблиця 4.2 Визначення сильних та слабких характеристик

Конкуренти/ Альтернативні рішення	Мій проєкт	Слабка сторона	Сильна сторона
Традиційні антени	Двополяризаційна дискостержнева антена	Вища складність конструкції	Підвищена ефективність у різних поляризаціях

## 4.3 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

Таблиця 4.3 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість основних гравців на ринку	невідомо
2	Загальний обсяг продаж	Обмежений державними замовленнями
3	Динаміка ринку	Залежить від державних оборонних програм
4	Наявність обмежень для входу	Високі, потреба військових сертифікацій

Проаналізувавши дані котрі вдалось отримати під час оцінювання ринку, можна вважати що цей ринок є привабливим для входу у нього.

#### 4.4 Характеристика потенційних клієнтів

Таблиця 4.4 Характеристика потенційних клієнтів

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Вимоги споживачів до товару
1	Надійність і секретність військового зв'язку у складних умовах	Військові, телекомунікації	Надійність, стійкість до перешкод, дальність дії
2	Швидкість реагування на змінні умови "сигналізації"	Командні центри, мобільні оперативні групи	Швидке переналаштування

## 4.5 Фактори загроз

Таблиця 4.5 Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Технологічні зміни	Швидкий прогрес у розробці антенних технологій	Інвестиції у дослідження та розвиток, адаптація до змін
2	Конкуренція	Вихід на ринок нових інноваційних продуктів	Підвищення якості продукції, маркетингові стратегії
3	Людський	Мало спеціалістів у вузько-направлених областях	Постійна підтримка з боку кваліфікованих людей із знаннями у певних областях

## **Висновок**

Проект демонструє значний потенціал для розробки передової антенної системи, яка відповідатиме сучасним вимогам військових комунікацій.

Серед викликів - складність виробництва та висока вартість ініціативи.

Проект вимагає значних інвестицій у дослідження та розвиток, але обіцяє значні переваги для військових застосувань. Ефективне виконання проекту залежатиме від здатності команди адаптуватися до технологічних змін і підтримувати постійну інноваційну діяльність.

## 5 ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

За допомогою опису ключових характеристик антен і детального опису дискостержневої антени у магістерській дисертації, було проведено дослідження та аналіз антени. Було ретельно розглянуто принципи дії антени, включаючи її ефективність, коефіцієнт підсилення, діаграму спрямованості, інтенсивність випромінювання, КСХН, спрямованість, поляризацію та інші важливі показники.

Крім того, було визначено переваги дискостержневої антени порівняно з іншими типами антен. Однак, не залишились без уваги основні недоліки цієї антени.

Було створено 3D модель дискостержневої антени, яка дозволяє здійснити чисельне дослідження її характеристик узгодження та випромінювання для різних довжин та різних поляризацій.

На базі створеної 3D моделі в програмному пакеті CST Microwave Studio на електродинамічному рівні проведено дослідження характеристик узгодження та випромінювання дискостержневих антен різної довжини, які працюють на лінійній та коловій поляризаціях.

В результаті проведених чисельних досліджень показано що:

- Дискостержнева антена із 33 елементів довжиною 990 мм забезпечує на частоті 2.4 ГГц коефіцієнт підсилення 17.4 дБ, ширину головного пелюстка на рівні половинної потужності у 18.5 градусів та рівнем бічних пелюсток -9.3 дБ, КСХН не перевищує значення 1.01 для колової поляризації. У смузі частот 2.3-2.45 ГГц КСХН не перевищує значення 2 для колової поляризації.

- Дискостержнева антена із 10 елементів довжиною 248 мм забезпечує на частоті 2.4 ГГц коефіцієнт підсилення 13.5 дБ, ширину головного пелюстка на рівні половинної потужності у 41.4 градус та рівнем бічних пелюсток -15 дБ, КСХН не перевищує значення 1.3 для колової поляризації.

У смузі частот 2.2-2.46 ГГц КСХН не перевищує значення 2 для колової поляризації.

- Дискостержнева антена із 5 елементів довжиною 87 мм забезпечує на частоті 2.4 ГГц коефіцієнт підсилення 10.7 дБ, ширину головного пелюстка на рівні половинної потужності у 57.1 градус та рівнем бічних пелюсток -15.9 дБ, КСХН не перевищує значення 1.3 для колової поляризації. У смузі частот 2.15-2.45 ГГц КСХН не перевищує значення 2 для колової поляризації.

- Дискостержнева антена із 3 елементів довжиною 22 мм забезпечує на частоті 2.4 ГГц коефіцієнт підсилення 9.4 дБ, ширину головного пелюстка на рівні половинної потужності у 64.4 градусів та рівнем бічних пелюсток -17.6 дБ, КСХН не перевищує значення 1.58 для колової поляризації. У смузі частот 2.33-2.45 ГГц КСХН не перевищує значення 2 для колової поляризації.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Birand M.T., Gelsthorpe R.V. Experimental Millimetric Array Using Dielectric Resonators Fed by Means of Dielectric Waveguide.– Electronics Letters. Sept. 1981, v.17, p.633–635.
2. Бова Г.Т., Резников Г.Б. Антенны и устройства СВЧ. – К. В. шк. 1983. – 288с
3. Jasik, Antenna Engineering Handbook 1961 16-3 16-16
4. Olver A.D., Dubrovka F.F., Parini C.G. Propagation and Radiation characteristics of Disc-on-Rod Antenna//Radio Sci. -1984. -v19.-№2
5. Дубровка Ф.Ф., Ленивенко В.А. Синтез дискостержневих антен. // Радіоелектроніка. – 1993.
6. Програмне забезпечення CST Microwave Studio Suite.