

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

Радіотехнічний факультет

Кафедра теоретичних основ радіотехніки

«На правах рукопису»

УДК _____

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Федір ДУБРОВКА

«___» _____ 2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою

«Радіосистемна інженерія»

зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

**на тему: «Модифікована bow-tie антена для ефективного випромінювання
ультракоротких моноімпульсів Гауса»**

Виконав :

студент II курсу, групи РС-391мп

Вус Олександр Сергійович

Керівник:

д. т. н., проф..

Дубровка Федір Федорович

Рецензент:

Старший викладач

Омеляненко Михайло Юрійович

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

Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Радіотехнічний факультет
Кафедра теоретичних основ радіотехніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Радіосистемна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Федір ДУБРОВКА

«__2__» вересня 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Вусу Олександрю Сергійовичу

1. Тема дисертації «Модифікована bow-tie антена для ефективного випромінювання ультракоротких моноімпульсів Гауса»,

науковий керівник дисертації Дубровка Федір Федорович, д. т. н., проф.,
затверджені наказом по університету від «__05__» листопада 2020 р. № __3222-с

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження – модифікована ультраширокосмуговими планарними антенами типу bow-tie.

4. Вихідні дані: дослідження та оптимізація характеристик обраної антени проводити у програмі CST Microwave Studio методом скінчених різниць у часовій області – FDTD; діапазон частот 0.4 ГГц до 1.4 ГГц; тип діаграми спрямованості – максимум у дзеркальній площині антени; коефіцієнт стоячої хвилі за напругою (КСХН) менше 2.5; габаритні розміри не більше 220x190.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: аналітичний огляд аналогів, створення у CST Microwe Studio моделей класичної та запропонованої модифікованої антени;

чисельне дослідження та оптимізація їх характеристик узгодження та випромінювання у робочому діапазоні частот 0.4 – 1.4 ГГц;

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу 22

7. Орієнтовний перелік публікацій: 15

8. Дата видачі завдання 2 вересня 2020р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналітичний огляд аналогів	02.09 – 18.09.2020	
2	Створення моделі класичної «bow-tie» антени	21.09 – 09.10.2020	
3	Розрахунок характеристик «bow-tie» антени	12.10 – 23.10.2020	
4	Створення моделі модифікованої «bow-tie»	26.10 – 06.11.2020	
5	Дослідження та оптимізація їх характеристик узгодження та випромінювання модифікованої «bow-tie» антени	16.11 – 11.12.2020	

Студент

Олександр Сергійович Вус

Науковий керівник

Федір Федорович Дубровка

Реферат

Магістерська дисертація складається з 67 аркушів, 22 рисунків, 19 таблиць та 16 літературних джерел.

Об'єкт дослідження – випромінювання електромагнітних хвиль ультраширокосмуговими планарними антенами типу bow-tie;

Предмет дослідження – характеристики узгодження та випромінювання класичної та модифікованої «bow-tie» антен.

Мета дослідження – покращення характеристик (максимізація ефективності) випромінювання ультракоротких моноімпульсів Гауса «bow-tie» антеною у робочому діапазоні частот за рахунок модифікації її профілю.

За допомогою методу скінченних різниць у часовій області FDTD, реалізованого в програмному пакеті CST Microwave Studio 2017, вирішені наступні задачі: запропоновано новий профіль ультраширокосмугової антени типу bow-tie та досліджено характеристики випромінювання та узгодження такої антени.

В результаті виконаних досліджень встановлено: запропонована ультраширокосмугова модифікована антена типу bow-tie забезпечує ефективне випромінювання ультракоротких моноімпульсів Гауса при КСХН не більше 2.5 в діапазоні частот 0.4 – 1.4 ГГц, і може бути використана для передачі і приймання субнаносекундних імпульсів в ультра широкосмугових радарних системах.

Подальші дослідження мають бути спрямовані експериментальну перевірку характеристик випромінювання та узгодження запропонованої модифікованої bow-tie антен.

Ключові слова: ультраширокосмугова антена, антена типу bow-tie, модифікована антена типу bow-tie, ультракороткі імпульси, субнаносекундні імпульси, діаграма спрямованості, КСХН, коефіцієнта відбиття.

Abstract

The master's dissertation consists of 67 sheets, 22 drawings, 19 tables and 16 literature sources.

The object of research is the radiation of electromagnetic waves by ultra-wideband planar antennas of the bow-tie type;

The subject of research is the characteristics of coordination and radiation of classical and modified "bow-tie" antennas.

The purpose of the study is to improve the characteristics (maximization of efficiency) of radiation of ultrashort Gaussian monopulses by a "bow-tie" antenna in the operating frequency range by modifying its profile.

Using the method of finite differences in the time domain FDTD, implemented in the software package CST Microwave Studio 2017, the following tasks were solved: introduced a new profile of ultra-wideband antenna type bow-tie and studied the radiation characteristics and matching of such antennas.

As a result of the performed researches it is established: the offered ultra-wideband modified antenna of bow-tie type provides effective radiation of ultrashort Gaussian monopulses at KSHN no more than 2.5 in the frequency range 0.4 - 1.4 GHz, and can be used for transmission and reception of subnanosecond-second pulses.

Further research should be aimed at experimental verification of radiation characteristics and coordination of the proposed modified bow-tie antennas.

Keywords: ultra-wideband antenna, bow-tie type antenna, modified bow-tie type antenna, ultrashort pulses, subnanosecond pulses, radiation pattern, KSHN, reflection coefficient.

Реферат

Магистерская диссертация состоит из 67 листов, 22 рисунков, 19 таблиц и 16 литературных источников.

Объект исследования - излучения электромагнитных волн ультраширокополосными планарными антеннами типа bow-tie;

Предмет исследования - характеристики согласования и излучения классической и модифицированной «bow-tie» антенн.

Цель исследования - улучшение характеристик (максимизация эффективности) излучения ультракоротких моноимпульсов Гаусса «bow-tie» антенной в рабочем диапазоне частот за счет модификации ее профиля.

С помощью метода конечных разностей во временной области FDTD, реализованного в программном пакете CST Microwave Studio 2017, решены следующие задачи: предложена новый профиль ультраширокополосной антенны типа bow-tie и исследованы характеристики излучения и согласования такой антенны.

В результате выполненных исследований установлено: предложена ультраширокополосная модифицированная антенна типа bow-tie обеспечивает эффективное излучение ультракоротких моноимпульсов Гаусса при КСВН не более 2.5 в диапазоне частот 0.4 - 1.4 ГГц, и может быть использована для передачи и приема субнаносекундных импульсов в ультра широкополосных радарных системах.

Дальнейшие исследования должны быть направлены экспериментальную проверку характеристик излучения и согласования предложенной модифицированной bow-tie антенн.

Ключевые слова: ультраширокополосная антенна, антенна типа bow-tie, модифицированная антенна типа bow-tie, ультракороткие импульсы, субнаносекундные импульсы, диаграмма направленности, КСВН, коэффициента отражения.

ЗМІСТ

Вступ	9
Розділ 1. Сучасний стан досліджень антен типу «bow-tie» і методи розв'язку електродинамічних задач	12
1.1 Огляд літератури по сучасному стану досліджень і застосування антен типу «bow-tie»	12
1.1.1 Вибір ультраширокосмугової антени	12
1.1.2 Антена типу bow-tie та її модифікації	13
1.2 Огляд літератури по методу розв'язку електродинамічних задач	16
1.2.1 Метод моментів	17
1.2.2 Метод скінченних елементів	19
1.2.3 Метод скінченних різниць у часовій області – FDTD	20
1.2.4 Метод лінії передач	24
1.3 Висновки	25
Розділ 2. Числове дослідження антен типу «bow-tie»	26
2.1 Антена типу «bow-tie»	26
2.2 Висновки	54
Розділ 3. Розроблення стартап-проекту	55
3.1 Опис ідеї проекту(товару,послуги,технології)	55
3.2 Технологічний аудит ідеї проекту	56
3.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	56
3.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	60
3.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	61
3.6 Висновки	64
Висновки	65
Перелік посилань	66

ПЕРЕЛІК У МОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

CST - computer simulation technology (технологія комп'ютерного моделювання)

FDTD - finite difference time domain (метод скінчених різниць у часовій області)

КСХН (VSWR) -коефіцієнт стоячої хвилі за напругою (voltage standing wave ratio)

КСД -коефіієнт спрямованої дії;

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні системи передачі інформації розвиваються в напрямку збільшення їх пропускної здатності. За шириною робочої смуги частот інформаційні системи поділяють на вузькосмугові, широкосмугові та ультраширокосмугові. У цифрових системах передачі інформації перших двох типів збільшення ємності каналів у робочій смузі частот досягається за рахунок використання батопозиційних видів модуляції(маніпуляцій).

Нові можливості вирішення задачі пропонують ультраширокосмугові системи, які почали активно розвиватись не так давно. До 1989 року для позначення ультраширокосмугових систем користувались поняттями сигналів «без носійної», «імпульсних», несинусоїдальних» тощо. Визначення терміну «ультраширокосмугові пристрої» (UWB) введено агенством DARPA Міністерства оборони США в 1990 році та змінено Федеральною комісією зв'язку США (FCO) 2000 році. Згідно визначення FCC, до UWB пристроїв відносять усі системи зі спектральною смугою не менше 500 МГц, а також пристрої, у яких ширина спектральної смуги складає щонайменше 20% від значення центральної частоти. У 2002 році у США було відкрито для широкого користування діапазон частот 3.1 – 10.6 ГГц. Оскільки даний діапазон частот розрахований лише для використання всередині приміщень, то Федеральною комісією зв'язку США була жорстко обмежена максимальна щільність потужності передавачів на рівні $-41,3$ дБм/МГц. Зараз знаходиться в стадії доробки телекомунікаційний стандарт IEEE 802.15.3a, який має на меті використання цього діапазону і за попередніми домовленостями передбачає розбиття всього діапазону на два піддіапазони: нижній під діапазон і верхній під діапазон. До переваг роботи в новому діапазоні можна віднести:

- відсутність плати за використання частотного ресурсу;
- малий розмір антен (через високі частоти), а отже можливість виконання передавача і антенної системи на одній підкладинці;
- очікувана низька вартість обладнання (фільтри можливо виконувати на підкладинці разом із антеною);

- низька випромінювана потужність, що позитивно відбивається на кількості користувачів.

Тому виникає потреба в антенах, що здатних перекрити весь цей діапазон частот та має невеликі розміри і просту конструкцію.

Роботи в області ультраширокосмугових систем розпочались у 50х роках у зв'язку з розвитком радіолокаційної техніки як у США, так і в СРСР. У США в ті часи декілька наукових центрів займалися дослідженням відгуку мікрохвильових систем на імпульси тривалістю наносекунда і менше, Такі роботи в рамках створення радарів на фазованих антенних решітках велись і в дослідному центрі Sperry (пізніше - Sperry Rand Corporation). В 1965 році співробітник цього центру Джеральд Росс очолив групу дослідників «електромагнітних явищ у часовій області». В результаті були опублікована низка робіт. В 1972-1973 роках Д. Росс та інший співробітник Sperry Rand Corporation, Кеннет Роббінс, отримали основні патенти в області ультраширокосмугових систем - «Передавальна і детектуюча система для генерації та прийому імпульсних сигналів без спотворень для короткоімпульсної комунікаційної системи» та «Короткоімпульсний приймач». Роботи Росса та Роббінса поклали основу короткоімпульсного зв'язку та локації в США. Достатньо сказати, що Росс є автором (самостійно та в співавторстві) більше 40 патентів США в даній області. Загалом до 1989 року співробітники Sperry Rand Corporation отримали приблизно 50 патентів США області ультраширокосмугових систем та областей їх застосування.

Важливою тенденцією розвитку сучасних радіосистем є повторне використання частот за рахунок поляризаційного і просторового рознесення, а також забезпечення можливості роботи декількох систем, діапазони робочих частот яких перекриваються.

Слід підкреслити, що в принципі ультраширокосмугові технології сумісні з вузькосмуговими. Це пояснюється зосередженням енергії ультраширокосмугових сигналів у дуже широкій смузі частот, за рахунок чого зменшується спектральна густина сигналу (потужність частотних складових) у спільних з вузькосмуговими

системами діапазонах. Тому ультраширокосмугові сигнали сприймаються вузькосмуговими системами як білий шум, незначно погіршуючи співвідношення сигнал/шум.

На перший погляд тенденції розвитку вузько- та ультраширокосмугових систем не мають нічого спільного. Проте, насправді, як вузькосмугові, так і ультраширокосмугові системи розвиваються в напрямку наближення частоти носійної до символної швидкості передачі цифрової інформації, що дозволяє збільшити пропускну здатність каналу зв'язку. Проблеми максимальної відстані зв'язку, як правило, вирішуються збільшенням потужності передавача та/або коефіцієнта підсилення антени та/або підвищенням чутливості приймача для забезпечення необхідного співвідношення сигнал/шум.

Ця магістерська робота присвячена дослідженню можливостей покращення характеристик узгодження та випромінювання «bow-tie» антени для діапазону частот 0.4 – 1.4 ГГц шляхом модифікації її форми.

Розділ 1. Сучасний стан досліджень антен типу «bow-tie» і методи розв’язку електродинамічних задач

1.1 Огляд літератури по сучасному стану досліджень і застосування антен типу «bow-tie»

1.1.1 Вибір ультраширокосмугової антени

У наш час ультраширокосмугові антени стають популярнішими завдяки різним чудовим властивостям. Їх можна спроектувати для використання коротких імпульсів при побудові системи з покращеною роздільною здатністю, які концентрують енергію у визначеному напрямку. Цим забезпечується можливість точного визначення координат та слідкування за рухомими об'єктами. Крім того, ультраширокосмугові системи, що використовують ультракороткі імпульси, мають перевагу перед вузькосмуговими системами при багатопроменевому поширенні сигналу, бо короткі імпульси дозволяють відрізнити сигнали, відбиті від перешкод, за часом їх приходу до приймача.

Серед ультраширокосмугових антен на особливу увагу заслуговують антени типу bow-tie, які є планарними та відрізняються високою технологічністю виготовлення.

1.1.2 Антена типу bow-tie та її види

В роботі [3] антена типу bow-tie розглядається як ультраширокопосмугова, яка має характеристику зміни фази випроміненої хвилі, що близька до лінійної. Цей аспект є дуже важливим для передавання, приймання та детектування ультраширокопосмугових сигналів.

Антена типу bow-tie складається з двох металевих пластин трикутної форми, повернутих вершинами одна до одної та рознесених на певну відстань (рис 1.1). Відстань S має прямий зв'язок із вхідним опором антени, тобто, узгодження можна досягти зміною відстані S та ширини металу. У літературі позначається, що відношення довжини трикутної пластини до ширини пластини для такої смуги частот має бути від 0.6 до 0.875.

$$\frac{h}{w} = 0.6 \div 0.875$$

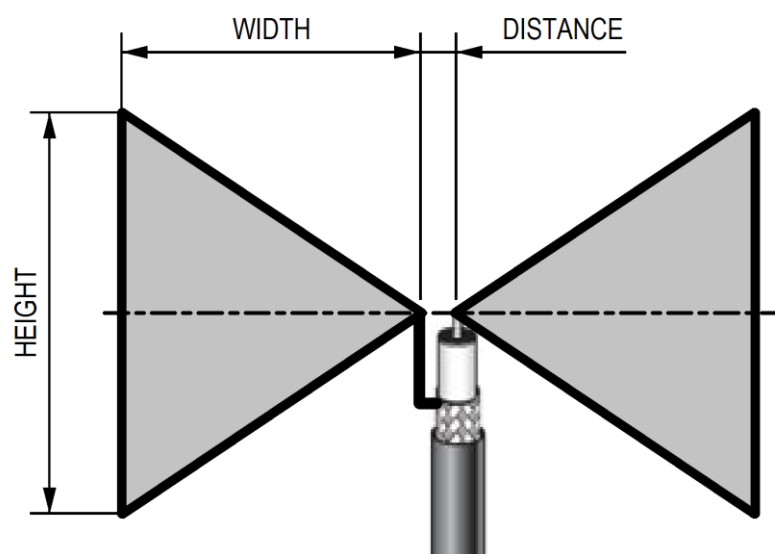


Рисунок 1.1. Антена типу bow-tie.

У антена типу bow-tie є 3 види.

Перший - це справжня антена «Метелик» (рис 1.2). Справжня, тому що така конструкція під ім'ям «Butterfly dipole» була запатентована в далекому 1938 році. Інші назви антени «Batwing» і «BowTie» - «крила кажана» або «краватка-метелик». Це звичайний електричний диполь з розширенням до краю, що значно розширює

його смугу пропускання. Відмітимо, що для хвиль з вертикальною поляризацією, диполь потрібно розгорнути вертикально. В цьому випадку антена забезпечує колову діаграму спрямованості в азимутальній площині.



Рисунок 1.2. Перший вид антени типу bow-tie.

Другий вид (рис 1.3) - це два магнітних диполя-рамки, з'єднаних паралельно. У середовищі телевізійників ця антена відома під назвою - "Подвійна трикутна антена". Іншими словами - це антена Харченко або «Зигзаг». Рамки збуджуються синфазно. Зигзаг у положенні (рис 1.3) приймає вертикально поляризовану хвилю.

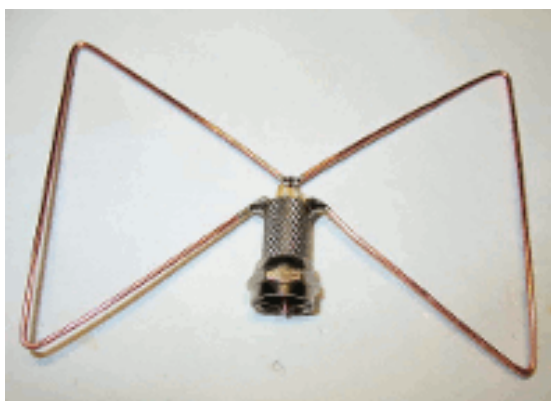


Рисунок 1.3. Другий вид антени типу bow-tie.

Третій вид (рис 1.4) еквівалентний другому виду тільки з перекрученої уздовж горизонтальної осі однієї з рамок. Щоб відрізнити від інших варіантів, часто називають антена «Вісімка», хоча це ім'я, так само як і «Зигзаг» або «Подвійна

трикутна», застосовують до обох варіантів. Незважаючи на зовнішню схожість з антеною Харченко, така вісімка відрізняється від неї протифазним живленням рамок і іншими властивостями, хоча і незначно. Найбільш важливим є те, що пелюстки діаграми спрямованості у цих антен сплюснені в різних площинах.



Рисунок 1.4. Третій вид антени типу bow-tie.

1.2 Огляд літератури по методу розв'язку електродинамічних задач

Традиційним при розробці антен з використанням аналітичних методів аналізу і оптимізації їх характеристик було виготовлення дослідного макету, проведення його всебічного дослідження та виготовлення новою або модернізація вже існуючого макету з виправленням помічених при дослідженні недоліків. Таким чином процес розробки антени виготовлення декількох макетів.

При переході до більш високих частот, через необхідність враховувати всі елементи конструкції, обчислення характеристик антени за допомогою аналітичних методів значно ускладнюється або стає неможливим. Тому значну увагу в галузі прикладної електродинаміки приділяють числовим методам розрахунку електродинамічних задач. Розвиток числових методів проходив від методів, орієнтованих на розв'язання конкретних задач, до універсальних методів, здатних проводити електродинамічний аналіз об'єктів із довільною геометрією.

Найбільш потужними і популярними методами є: метод скінченних елементів (FEM), метод скінченних різниць у часовій області (FDTD), метод моментів (MOM) та метод лінії передач (TLM).

Розглянемо коротко ці методи та межі їх застосування.

1.2.1 Метод моментів

При дослідженні структур за допомогою методу моментів загальний підхід до задач поширення та випромінювання електромагнітних хвиль полягає у зведенні досліджуваного інтегрального рівняння до системи лінійних алгебраїчних рівнянь з M невідомими, які представляють собою коефіцієнти деякого розкладення для струму або поля.

В загальному випадку за допомогою методу моментів розв'язують інтегральні рівняння для знаходження електричного чи магнітного поля при відомому розподілі струму виду:

$$\vec{E} = f_e(\vec{J}),$$

$$\vec{H} = f_m(\vec{J})$$

Де f_e, f_m - інтегральні оператори, що діють на струм. Форма інтегрального рівняння визначається типом досліджуваної проблеми, форма інтегралу для дослідження тонкого провідника відрізняється від такого, необхідного для дослідження металевої поверхні, що вказує на необхідність певних попередніх теоретичних відомостей про досліджувану структуру, може бути віднесено до недоліків методу, оскільки певним чином обмежує число можливих досліджуваних структур.

В залежності від використаного інтегрального рівняння метод моментів можна застосовувати для аналізу середовищ, що включають або лише провідники, або тільки однорідний діелектрик, або мають же специфічне поєднання діелектрику і провідників. Метод не ефективний при аналізі складних структур та таких, що включають неоднорідний діелектрик. Метод має певні проблеми при аналізі середовища, що обмежене провідними межами, наразі метод добре обраховує відкриті структури.

До переваг метода можна віднести можливість вибору відповідних базових функцій, що дає змогу зменшити кількість членів в ряді при апроксимації, а отже і необхідний для розрахунку час. Проте в той же час це позбавляє метод

універсальності. При аналізі антен дискретизації піддаються лише провідники, що також позитивно відображається на тривалості розрахунку.

Метод дає надійні результати при аналізі провідникових КХ і УКХ антен із можливістю врахування впливу землі. На базі методу розроблена велика кількість програм, серед яких на увагу заслуговує NEC[11] та його модифікації.

1.2.2 Метод скінченних елементів

Скінчені трикутні елементи першого порядку вперше були застосовані до розв'язку простих хвильових задач у 1968 р. Потім ці елементи стали використовуватися для розрахунків у багатьох областях електротехніки, де необхідно визначати двомірні скалярні потенціали або хвильові функції. Згодом елементи першого порядку через їх відносно малу точність поступилися місцем елементам вищих порядків.

Методи, у яких використовуються трикутні елементи першого порядку, можна розглядати як двомірне узагальнення методів лінійної апроксимації, широко застосованих у всіх областях електротехніки. Ці методи базуються на загальнодоступному математичному апараті і при нескладному рівні програмування дозволяють одержати за допомогою ЕОМ багато корисних результатів.

Суть методу продемонструємо на двовимірному варіанті, який може бути використаний для розв'язку двовимірного рівняння Лапласа при дослідженні ТЕМ хвиль.

Фактично всі методи скінченних елементів використовують другий підхід або його варіанти.

Однією із головною переваг методу є достатньо гнучка техніка розбиття області дослідження на комірки. Завдяки використанню трикутних елементів для двовимірних задач і тетраедрів для трьохвимірних невеликі за розміром елементи використовуються лише в місцях із складною геометрією, дозволяючи моделювати відкритий простір із допомогою достатньо великих елементів. Це дозволяє достатньо точно і без застосування апроксимації (як це робиться в FDTD) моделювати об'єкти довільної форми, при цьому кількість елементів є не дуже великою. Однак на відміну від методу моментів дискретизації піддається весь простір, що досліджується.

До певних недоліків методу можна віднести той факт, що обчислення проводиться однієї на частоті при необхідності дослідження широкосмугових структур необхідно розрахунки проводити із на багатьох частотах.

1.2.3 Метод скінченних різниць у часовій області – FDTD

Метод **FDTD** є одним із популярних методів для розв'язання різноманітних задач електродинаміки. Метод вперше був запропонований Yee [13] у 1966 році, але справжнє визнання отримав в останнє десятиліття, коли кількість публікацій по його використанню й розвитку стала експоненціально зростати. На сьогоднішній день існують тисячі робіт, що відносяться до різноманітних аспектів методу FDTD, йому присвячені детальні огляди та створені спеціалізовані бібліографічні бази даних, вийшли монографії. Хоча в методі FDTD може бути проведена дискретизація як інтегральних, так і диференціальних рівнянь Максвелла, однак у класичному варіанті дискретизації піддавалися саме диференціальні рівняння Максвелла:

$$-\mu \cdot \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = \nabla \times \vec{E} \quad (1.10)$$

$$\varepsilon \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \nabla \times \vec{H} \quad (1.11)$$

При використанні ортогональної сітки розбиття два векторних рівняння можна представити у вигляді шести скалярних рівнянь:

$$\frac{\partial H_x}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \left[\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} \right] \quad (1.12)$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \left[\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} \right] \quad (1.13)$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \left[\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} \right] \quad (1.14)$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial t} = -\frac{1}{\varepsilon} \left[\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} \right] \quad (1.15)$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial t} = -\frac{1}{\varepsilon} \left[\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \right] \quad (1.16)$$

$$\frac{\partial E_z}{\partial t} = -\frac{1}{\varepsilon} \left[\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \right] \quad (1.17)$$

Після дискретизації функція неперервних аргументів $f(x,y,z,t)$ замінюється функцією дискретного в часі і просторі $f(i\Delta x, j\Delta y, k\Delta z, n\Delta t)$, яку для спрощення

запису в подальшому будемо записувати як функцію аргументів і зображати $f^n(i, j, k)$.

Часткова похідна апроксимується за допомогою центральної різниці із точністю другого порядку:

$$f'(x_0) \approx \frac{f(x_0 + \frac{\Delta x}{2}) - f(x_0 - \frac{\Delta x}{2})}{\Delta x} - \frac{(\Delta x)^2}{24} f'''(x_0) \quad (1.18)$$

У цьому методі немає потреби в розв'язання системи лінійних рівнянь, дія кожного часового моменту дає всю необхідну інформацію для визначення нового значення відповідної компоненти електричного чи магнітного поля.

Стійкість розв'язання системи рівнянь для вузлових точок об'ємної сітки визначається співвідношенням елементів об'ємної і часової дискретизації, яке для однорідного середовища має вигляд:

$$\Delta t \leq \frac{1}{c \sqrt{\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} + \frac{1}{\Delta z^2}}} \quad (1.27)$$

Крім того для мінімізації фазових похибок розмір елементу розбиття не повинен перевищувати десятку частину максимальної довжини хвилі у досліджуваній структурі, тобто $\Delta x, \Delta y, \Delta z \leq \frac{\lambda_{MAX}}{10}$.

При наявності в об'ємі, призначеному для розрахунку, областей з ідеальною провідністю межа поділу провідник-вільний простір має пролягати по основній решітці. В цьому випадку провідник легко моделюється шляхом встановлення тангенціальної складової електричного поля рівною нулю.

Оперуючи вже відомими значеннями електричного і магнітного поля можна легко розрахувати так звані вторинні параметри: потужність випромінювання, поверхневий струм, вхідний опір.

Певним недоліком класичного методу FDTD була неможливість проводити розрахунки відкритих областей (наприклад, антених систем). Вирішення даної проблеми полягає у оточенні досліджуваної структури шаром поглинаючого матеріалу із необхідною умовою забезпечення незначного відбиття від даного шару. У перших роботах, присвячених цій темі, відбиття і вдавалося мінімізувати лише

для випадку нормального падіння хвилі, що змушувало розташовувати поглинаючий шар на значній відстані від досліджуваної структури, збільшуючи таким чином кількість елементів розбиття, а отже необхідну оперативну пам'ять комп'ютера і час розрахунку. У 1994 році Berenger [15] запропонував використання так званих ідеально узгоджених шарів (PML), що теоретично гарантувало узгодження опору поглинаючого шару із опором вільного простору для будь-якої частоти і будь-якого кута падіння. Це досягається шляхом застосування анізотропних матеріалів та штучним введенням магнітної провідності. При числову моделюванні можливе досягнення значень коефіцієнта відбиття до -80 дБ.

Оскільки базовим елементом розбиття в декартовій системі є куб, то при моделюванні кривих застосовується ступінчата апроксимація, що в деяких випадках для отримання достовірних результатів вимагає дуже малого періоду сітки. Це в свою чергу у відповідності із рівнянням (1.27) призводить до збільшення часу на проведення числового дослідження. Для покращення результатів можливим є декілька шляхів. Одним з них є перехід до не ортогональних решіток, що однак призводить до певних ускладнень при розробці програм автоматичного розбиття досліджуваного об'єму та збільшує час на розрахунок, особливо при поєднанні із ортогональною сіткою. Тому здебільшого працювати продовжують декартовою системою координат, вводячи туди насупні зміни:

- перехід до нееквідистантної решітки (в даному випадку, при наявності невеликої за розміром комірки в середині об'єму маленький розмір елемента розбиття поширюється на всі комірки у трьох перпендикулярних напрямках, що при наявності значної кількості проблемних областей не приносить значного виграшу часі розрахунку);

- застосування так званих субсіток, які дозволяють покращувати розбиття в будь-якій частині простору (ключовою проблемою в даному випадку є узгодження полів на межі двох сіток);

- введення методу, який дозволяє модулювання тонких проводів і щілин, не зменшуючи розмір сітки до ширини елемента;

- застосування техніки РВА (Perfect Boundary Approximation), при цьому крива межа об'єкту дослідження не повинна бути конформною до сітки.

Метод призводить до незначних затрат часу при ітераціях (коефіцієнт близький до одиниці) і лише незначними чином ускладнює процес підготовки до розрахунків, проте навіть при еквідистантній сітці дає тоні результати.

Як випливає з наведеного вище опису, метод FDTD є гнучким, легким для розуміння і програмування, що пояснює факт існування великої кількості програм, призначених як для специфічних задач, так і для моделювання різноманітних НВЧ пристроїв. Прикладом останньої може бути Microwave Studio 2017 від німецької фірми CST Computer Simulation Technology [15]. Запропоновані західними фірмами комерційні програмні продукти коштують десятки тисяч доларів. Тому актуальним є розробка вітчизняних продуктів такого класу, у яких можна було б використовувати багатий досвід електродинамічного моделювання і нові ідеї, які б знизили вимогу до обчислювальних ресурсів.

Оскільки дослідження проводиться у часовій області, то шляхом застосування різноманітних імпульсів можна проводити дослідження пристроїв із різною робочою смугою частот, Частотнозалежні результати отримуються шляхом застосування дискретного перетворення Фур'є до часового відгуку системи. Крім того, можна проаналізувати проходження через складну систему сигналів, які в подальшому плапуються використовувати під час роботи пристрою. До переваг методу можна віднести також можливість вести розрахунки на паралельних комп'ютерах, що значно може скоротити час розрахунку.

1.2.4 Метод лінії передач

Метод лінії передач базується на аналогії між поширенням електромагнітних хвиль і розповсюдженням електричних імпульсів в лініях передачі і дуже схожий за можливостями до методу скінченних різниць у часовій області. В ньому так само аналіз ведеться в часовій області, а область дослідження поділена на комірки. Однак замість електричної та магнітної решітки використовується лише одна, вузли якої поєднані між собою уявною лінією передачі. При аналізі хвиля попадає до сусідніх комірок в кожний наступний момент часу.

Елементом розбиття для трьохвимірних задач виступає так званий симетрично стиснутий вузол. Кожний вузол поєднаний із сусіднім за допомогою пари ортогонально поляризованих ліній передачі. Діелектрик в цьому випадку модулюється за допомогою реактивних шлейфів, які мають довжину в половину кроку сітки і характеристичний опір відповідає бажаному діелектричній проникності матеріалу. Так само за допомогою шлейфів із втратами модулюється матеріали із втратами, а отже метод дозволяє використовувати межі із поглинанням хвиля.

Метод поділяє всі переваги і недоліки методу FDTD, зокрема легко моделює різноманітні структури із нелінійними та анізотропними матеріалами. В той же час метод TLM у порівнянні із FDTD потребує вдвічі більше оперативної пам'яті, бо під час розрахунку необхідно обчислювати вдвічі більше змінних у кожному вузлі. Цим пояснюється той факт, що хоча метод розроблений достатньо давно, він практично не використовувався для моделювання поширення електромагнітних хвиль. Однак треба наголосити, що при розрахунках задач, де має місце складна геометрія, метод дає кращі результати, оскільки значення електричного і магнітного поля обчислюються в кожному вузлі.

Завдяки використанню аналогії із лініями передачі метод є легко зрозумілим і легким для програмування. Виходячи з того, розроблено модернізований метод TLM, це дає змогу очікувати появу програмного забезпечення, придатного для розв'язку різних задач.

1.3 Висновки

Розглянуто три види класичних «bow-tie» антен, які широко використовуються на практиці для прийому радіосигналів у дециметровому, метровому та сантиметровому діапазонах довжин хвиль. Для заданого ТЗ діапазону частот доцільно є використання «bow-tie» антени першого виду, тобто планарної друкованої «bow-tie» або її модифікації. Для дослідження характеристик цих антен можна використати різні методи розв'язку електродинамічних задач. Однак, виходячи з того, що дослідженню підлягає широкосмугова антена, перевагу слід надати методу скінченних різниць у часовій області. Згадана вище програма Microwave Studio 2017 від німецької фірми CST Computer Simulation Technology, яка використовує даний метод, дозволяє проводити всесобічний аналіз антени:

- На початковому етапі дослідження, коли ще неможливо визначити необхідний варіант живлення. використовувати так зване дискретне джерело живлення, яка дає змогу зосередитися на аналізі саме антенної системи;
- Дозволяє отримати діаграми випромінювання антени в різних системах координат;
- Обчислює залежності активної і реактивної складових вхідного опору антени та коефіцієнту відбиття;
- Дозволяє в наглядній формі представити розподіл струму, електричного та магнітного полів;
- Завдяки універсальності програми дозволяє в подальшому точно змоделювати систему живлення антени.

Розділ 2. Чисельне дослідження антен типу «bow-tie»

2.1 Антена типу «bow-tie»

Антенa складається із двох металевих пластин трикутної форми, повернутих вершинами (гострими кутами) одна до одної. Конструкція (рис. 2.1) визначається такими розмірами: S – відстань між пластинами; L – довжина антени; h – висота антени. «Bow-tie» антенa є, по суті, планарним аналогом ультраширокопосмугової біконічної антени, тому дозволяє кардинально розширити смугу частот порівняно з класичним диполем. Для заданого в ТЗ діапазону частот 0.4 – 1.4 ГГц вибрані, згідно з відомими рекомендаціями, такі розміри bow-tie антени: $S=8$ мм; $L=214$ мм; $h=185$ мм. Нижче наведені результати розрахунку характеристик такої антени.

Частотна залежність модулів коефіцієнта відбиття «bow-tie» антени для різних значень опорів джерела живлення наведена на рис. 2.2. Видно, що найменший коефіцієнт відбиття забезпечується при значенні опору джерела живлення 160 Ом.

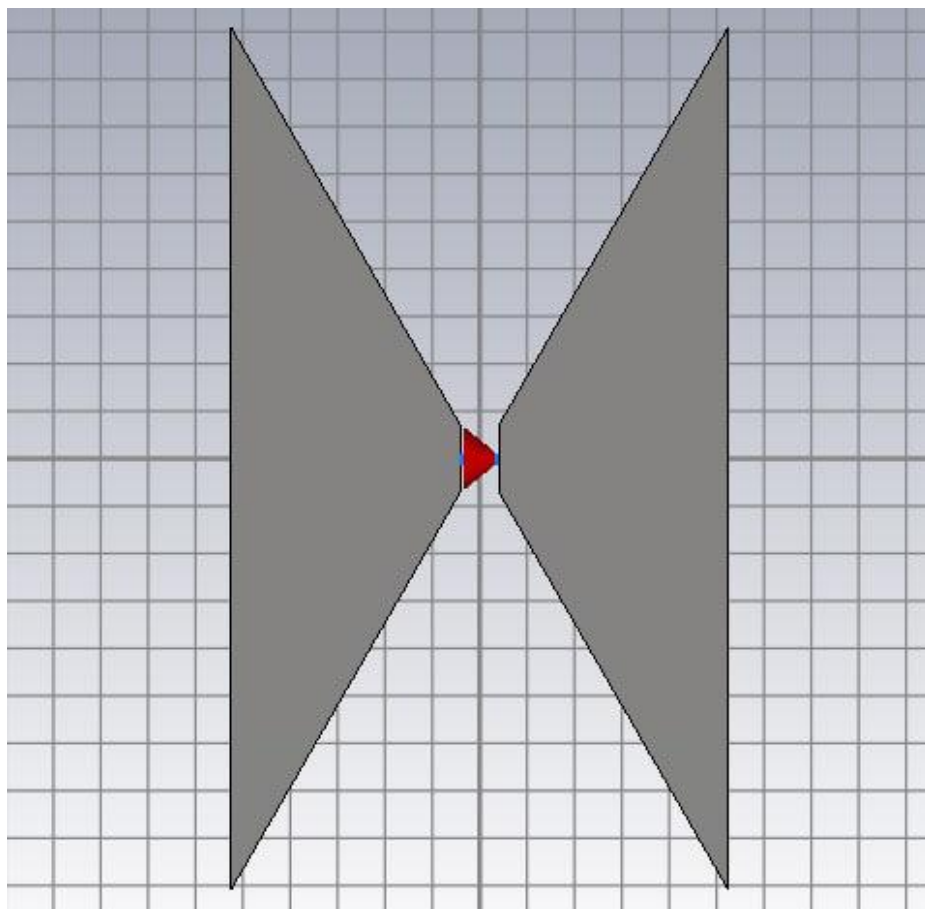


Рисунок 2.1. Конструкція антени «bow-tie»

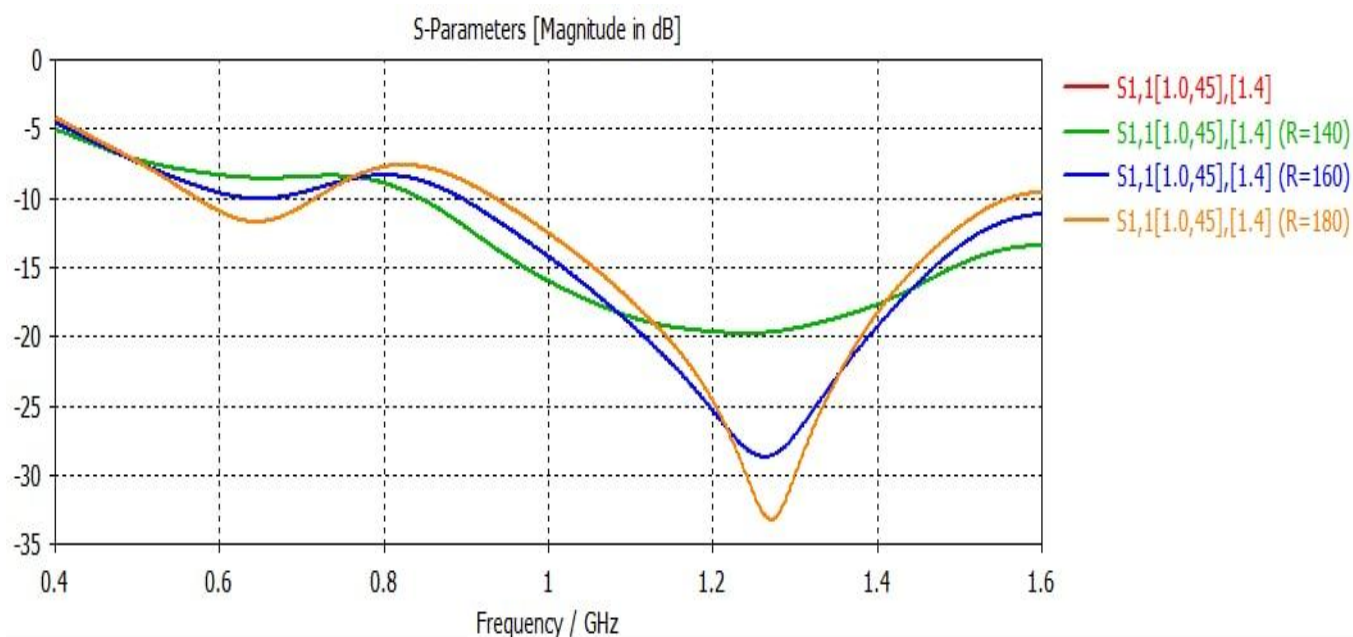
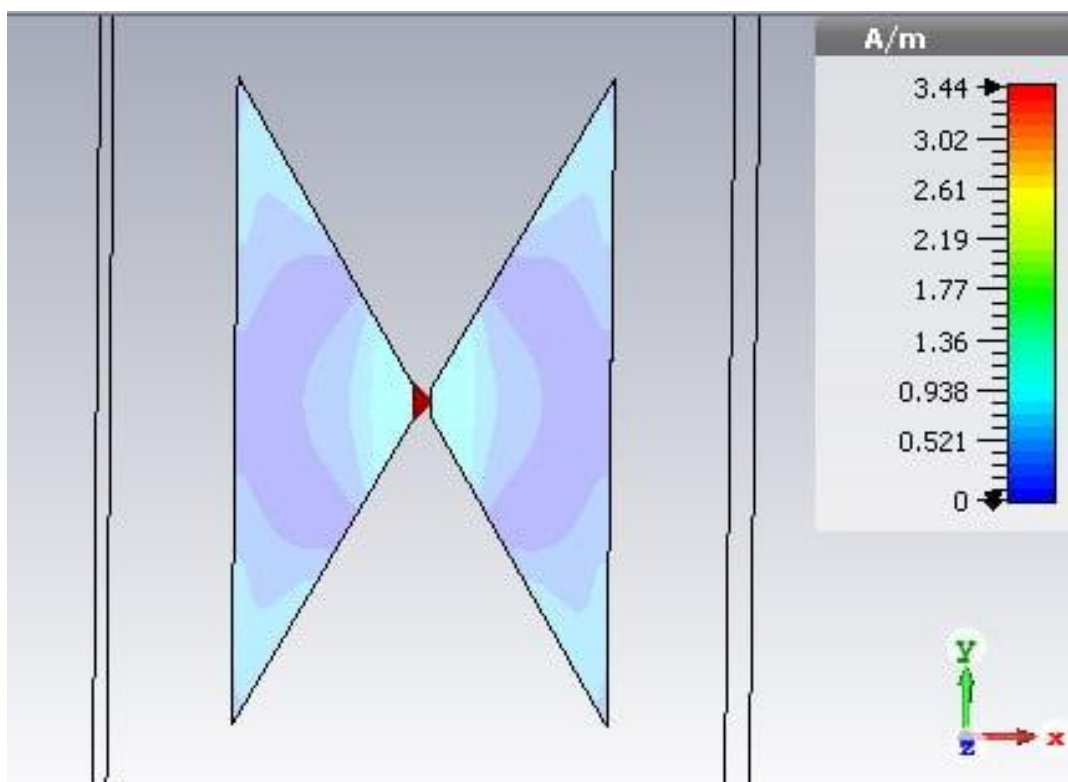
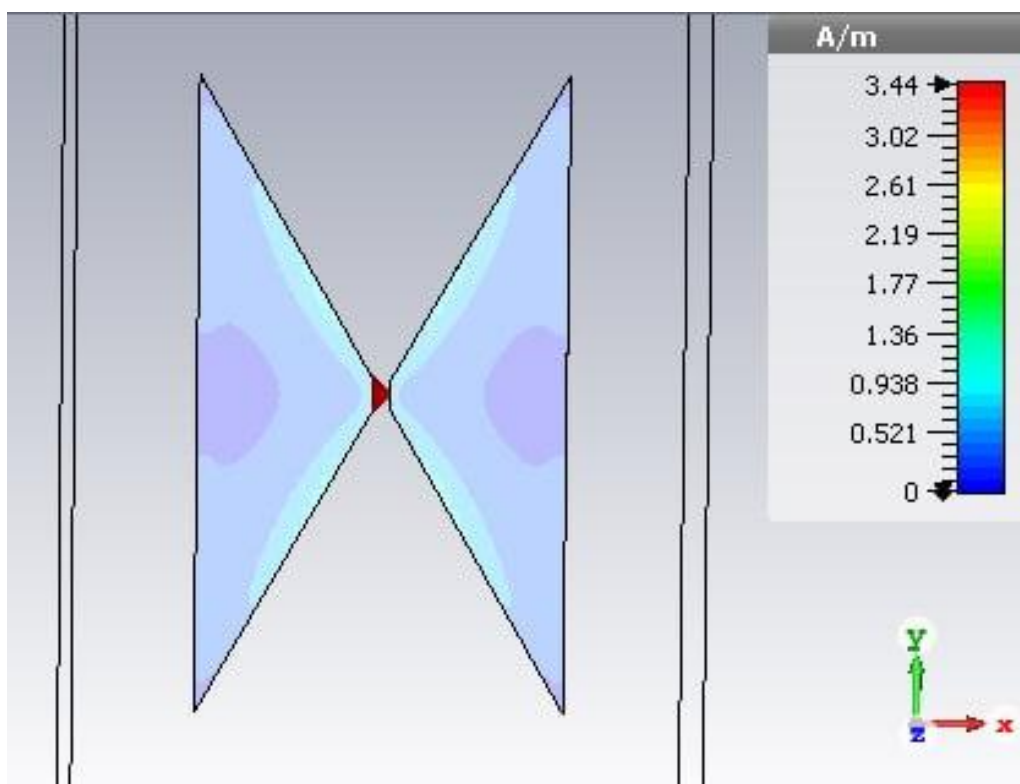


Рисунок 2.2. Частотна залежність модуля коефіцієнта відбиття «bow-tie» антени.

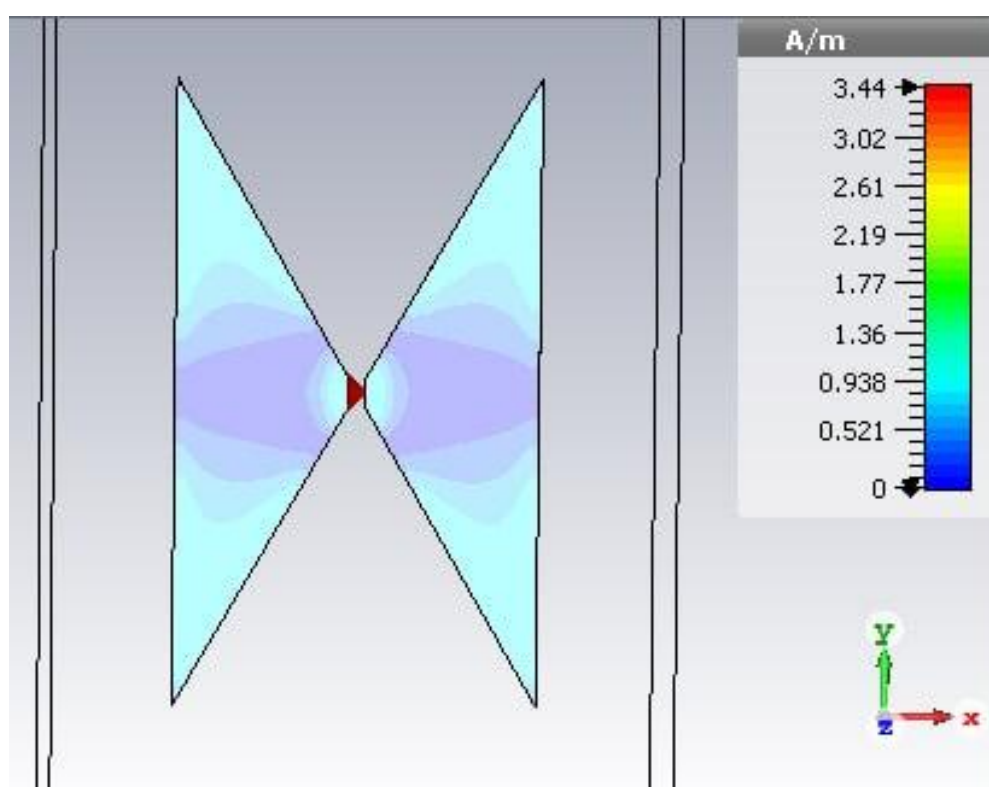
Розподіл поверхневих струмів на bow-tie антені показано на рис. 2.3. Можна помітити, що на основах трикутних пластин такої антени струми менші, ніж на їх вершинах.



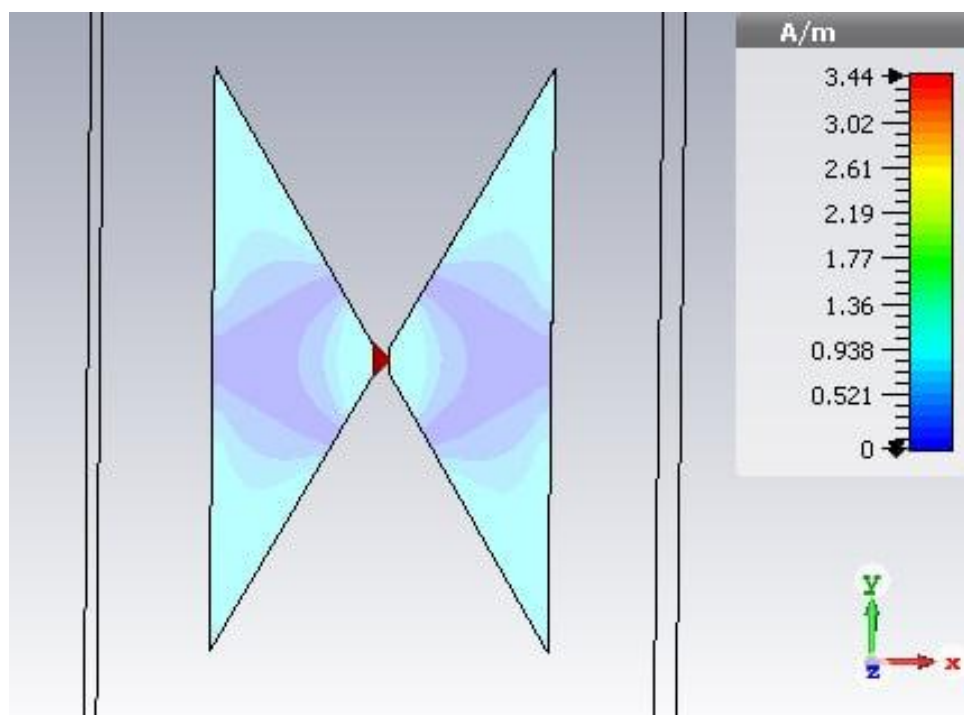
a)



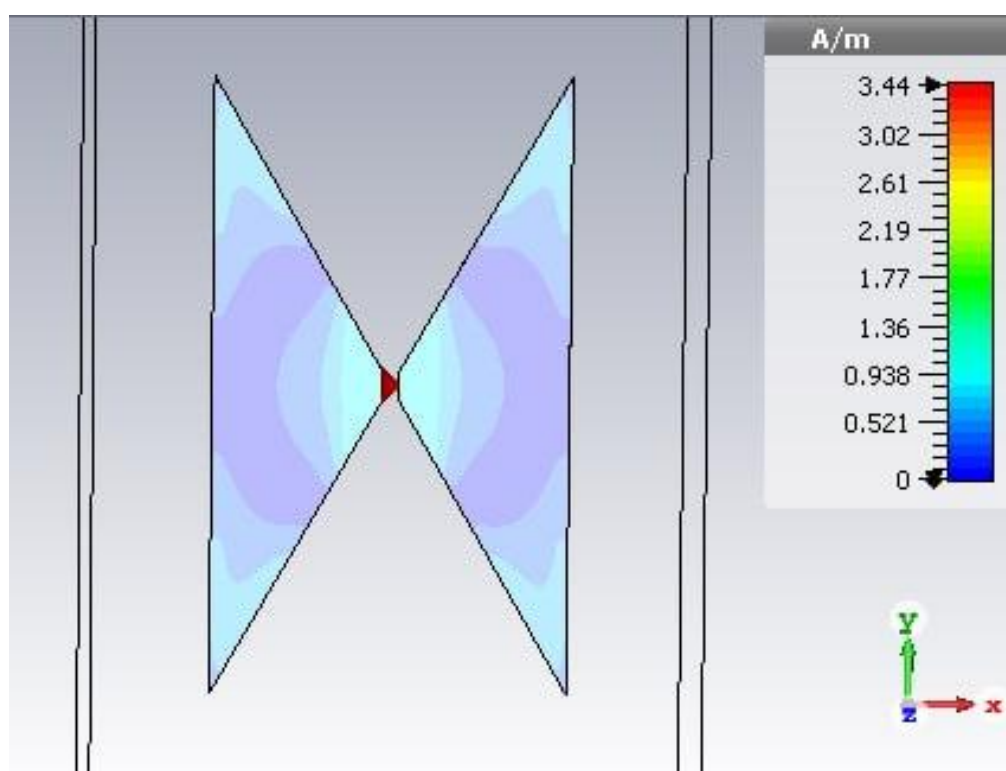
6)



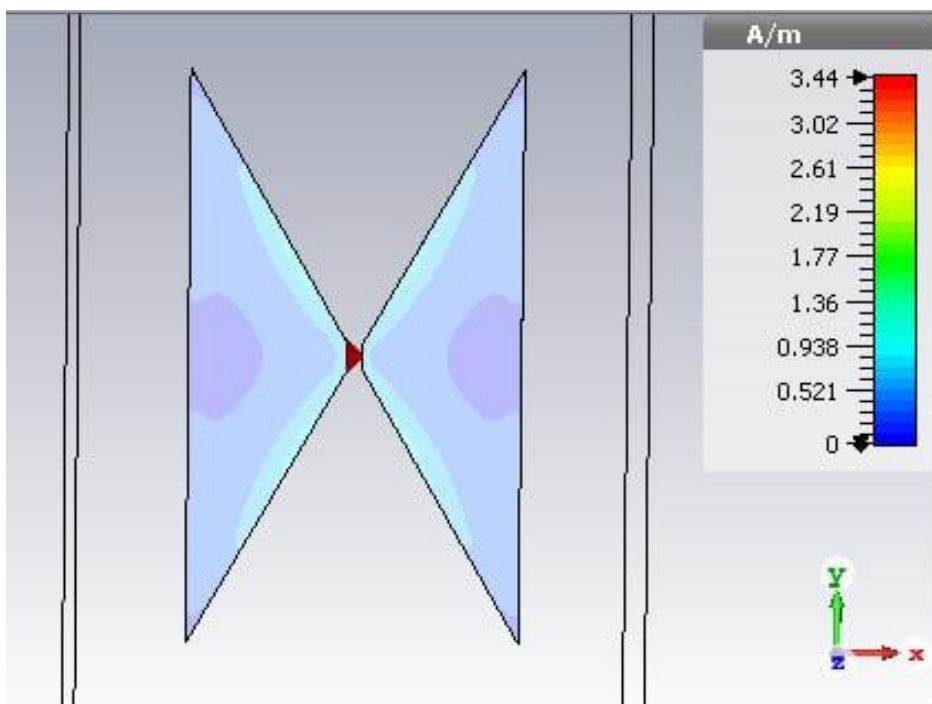
B)



г)



д)

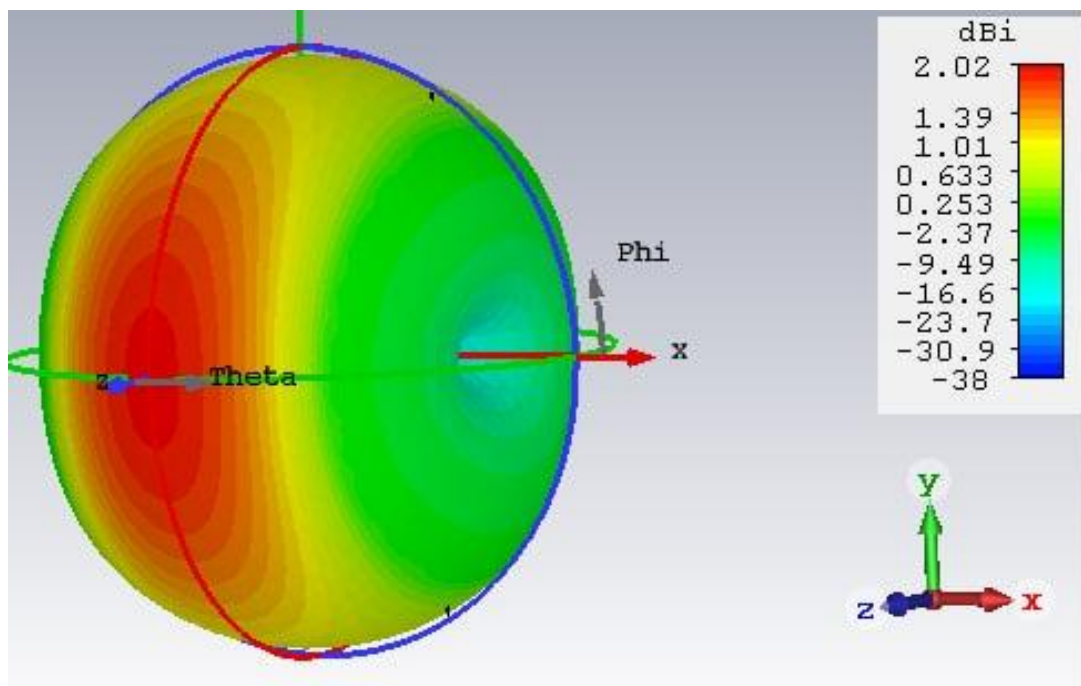


е)

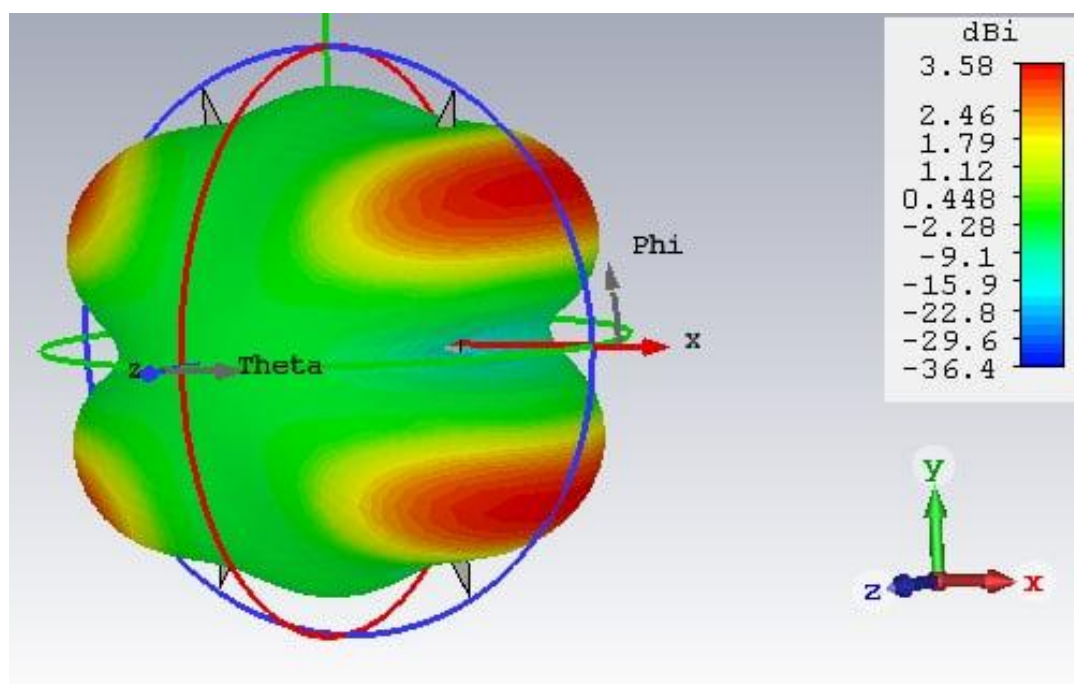
Рисунок 2.3. Абсолютне значення поверхневих струмів на частоті 0.8 ГГц в залежності від фази вхідного струму (bow-tie)

а) 0° , б) 45° , в) 90° , г) 135° , д) 180° , е) 225°

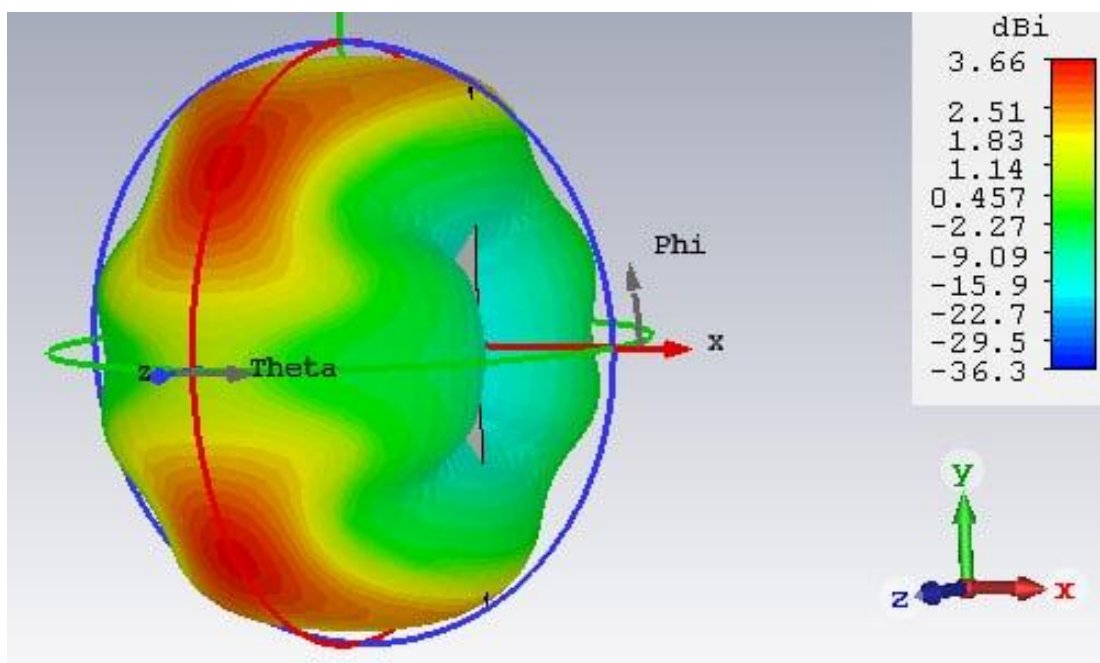
Діграми спрямованості «bow-tie» антени на частотах 0.4(а), 0.8(б), 1.4(в) ГГц показано на рис. 2.4.



a)



b)



в)

Рисунок 2.4. Діаграма спрямованості класичної антени типу «bow-tie» на частотах 0.4(а), 0.8(б), 1.4(в) ГГц.

Як видно на рис 2.4, має місце спотворення діаграм спрямованості такої антени на частотах 0.8 ГГц і вище.

Було зроблене припущення, що покращити діаграми спрямованості «bow-tie» антени та збільшити робочу смугу частот можна шляхом закруглення гострих кутів антени та загальної зміни (модифікації) форми антени.

Було досліджено декілька форм диполів і запропоновано взяти замість трикутників пластин колові.

Після підбору різних форм найкращою виявилось форма, показана на рис. 2.5. Для заданого в ТЗ діапазону частот і запропонованої форми модифікованої «bow-tie» антени взято такі розміри: $S=8$ мм; $L=214$ мм; $h=107$ мм. Результати числових досліджень цієї наведені нижче.

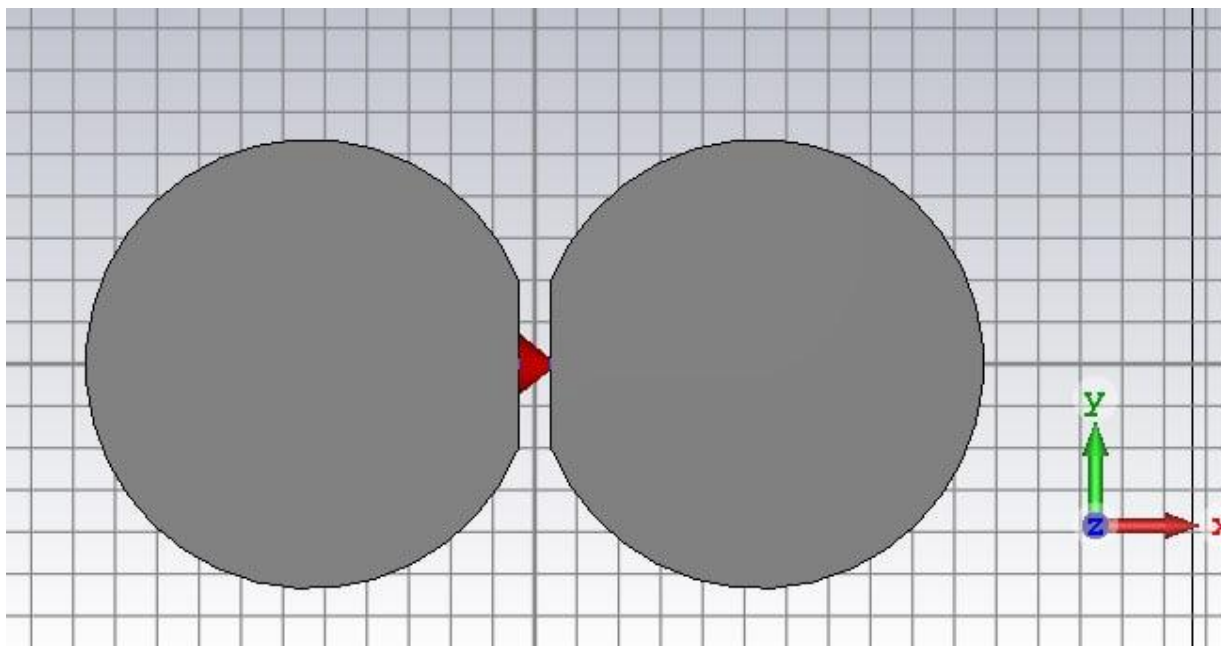


Рисунок 2.5. Форма модифікованої антени «bow-tie».

Частотна залежність модулів коефіцієнта відбиття модифікованої «bow-tie» антени для різних значень опорів джерела живлення наведена на рис. 2.6. Видно, що найменший коефіцієнт відбиття забезпечується при значенні опору джерела живлення 75 Ом. Це є дуже важливим для практики, оскільки для живлення такої антени можна застосувати стандартний кабель 75 Ом (на відміну від класичної «bow-tie» антени, де потрібна лінія живлення 160 Ом).

Вхідний (червоний) та відбитий (зелений) сигнали у відносних одиницях на частоті 0.8 ГГц. Показано на рис. 2.7.

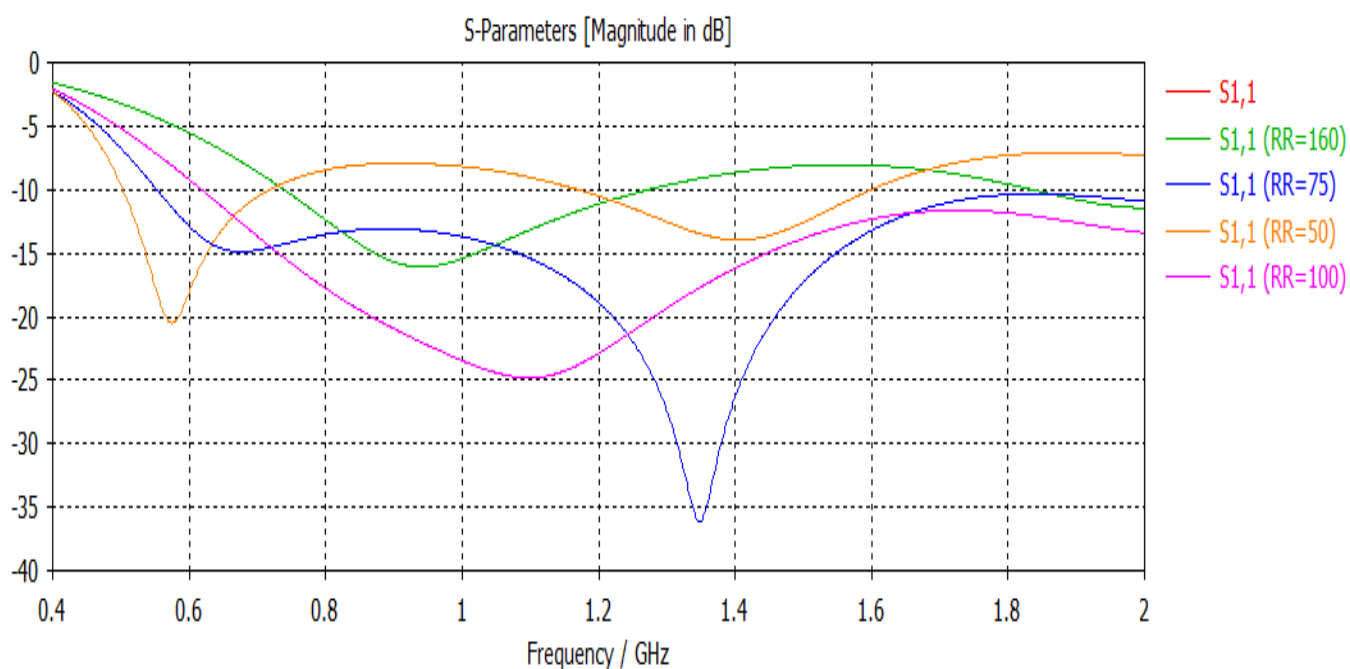


Рисунок 2.6. Частотна залежність модуля коефіцієнта відбиття модифікованої «bow-tie» антени.

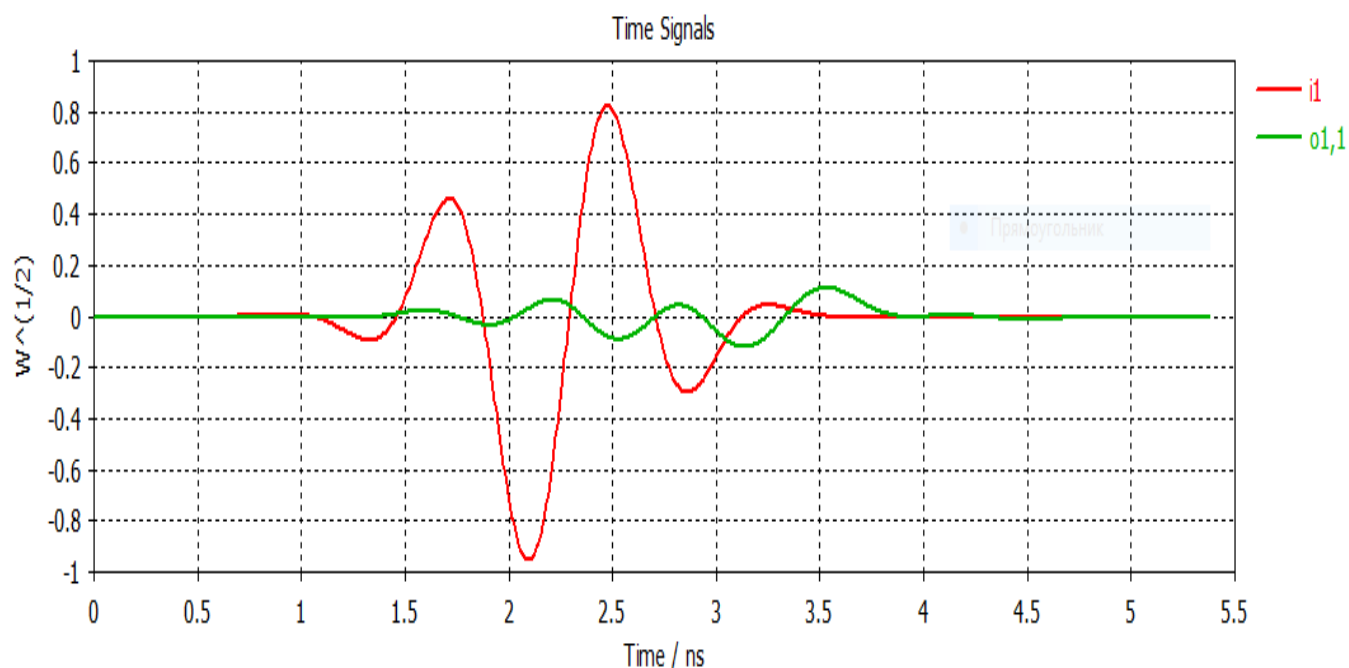
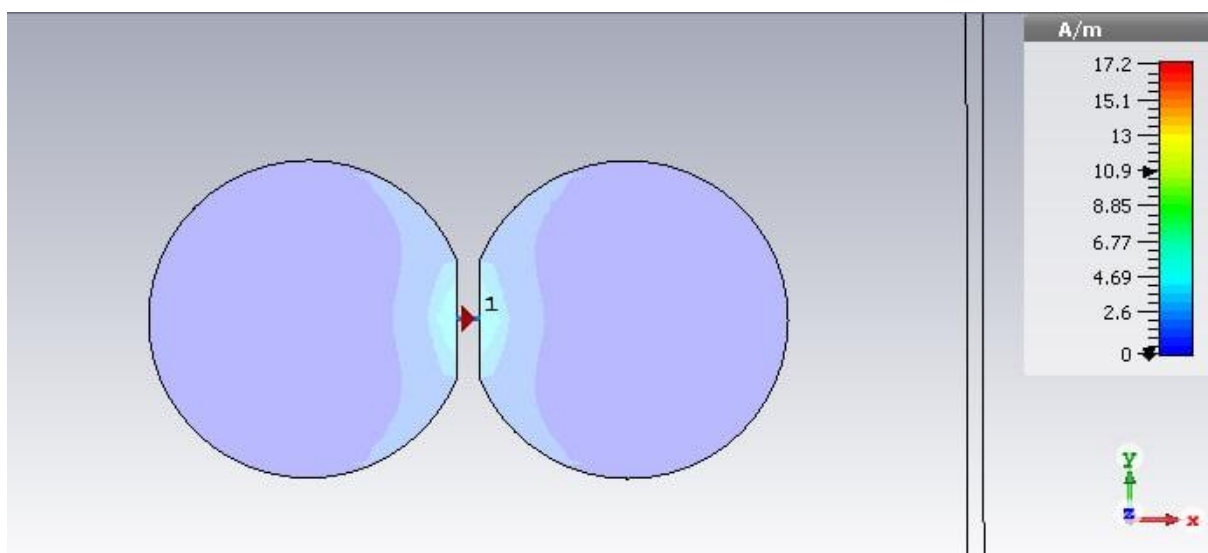
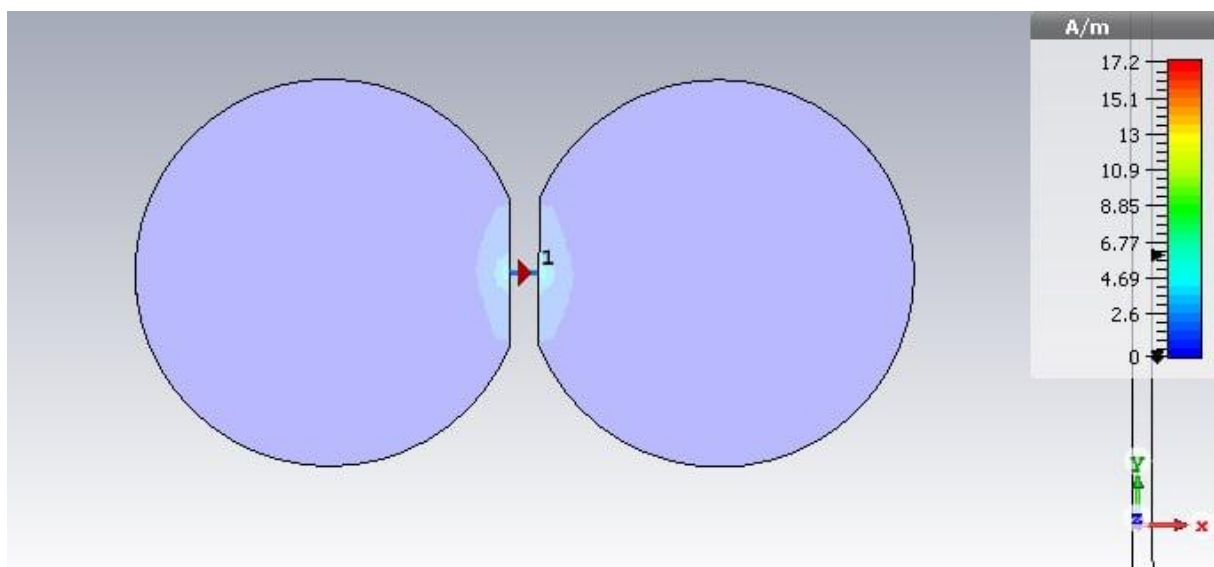


Рисунок 2.7. Вхідний (червоний) та відбитий (зелений) сигнали у відносних одиницях на частоті 0.8 ГГц.

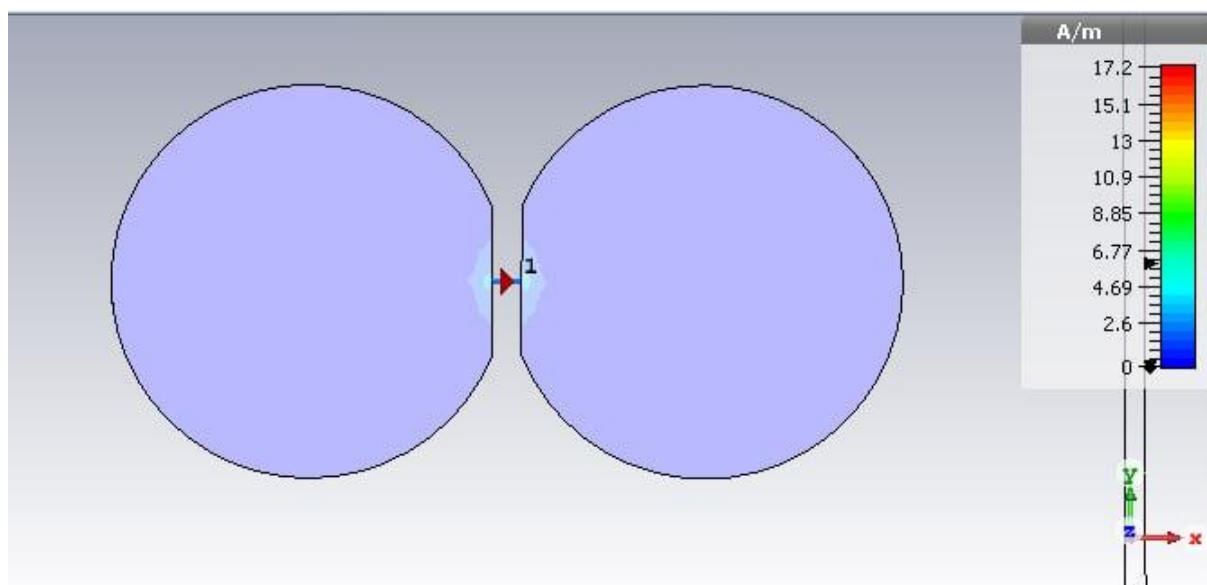
У такої модифікації антени «bow-tie» основна частина поверхневих струмів протікає по контуру антени, чого і намагались досягти (рис. 2.8 – 2.10). Але на частоті 1.4 ГГц має місце складний розподіл поверхневого струму, що призводить до погіршення діаграм спрямованості антени.



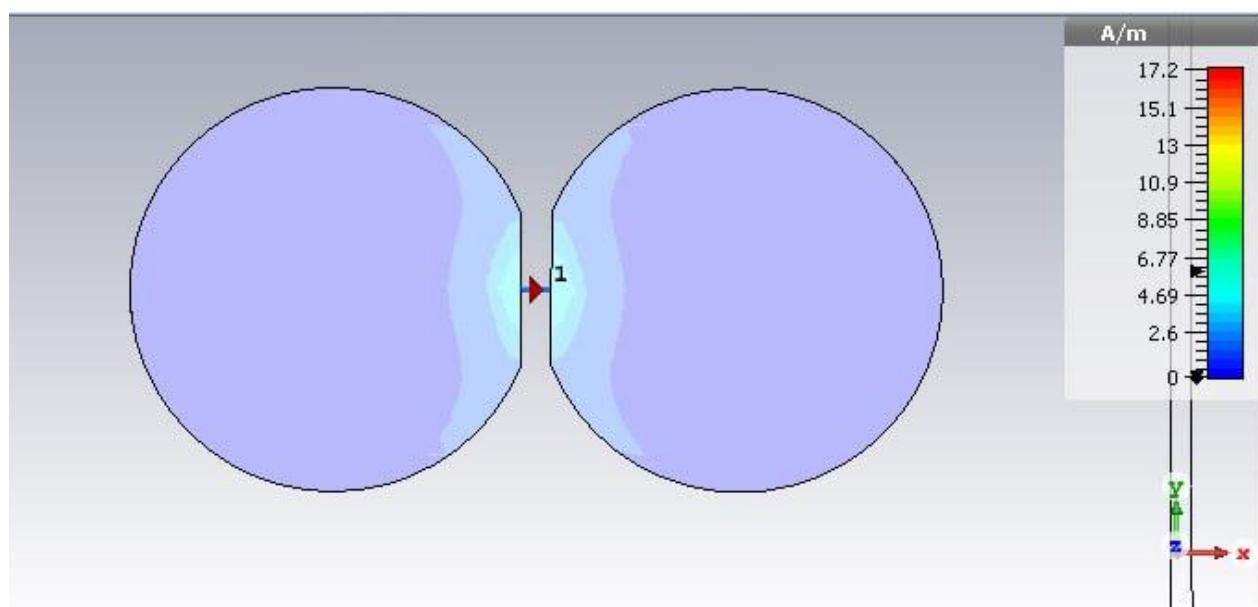
a)



б)

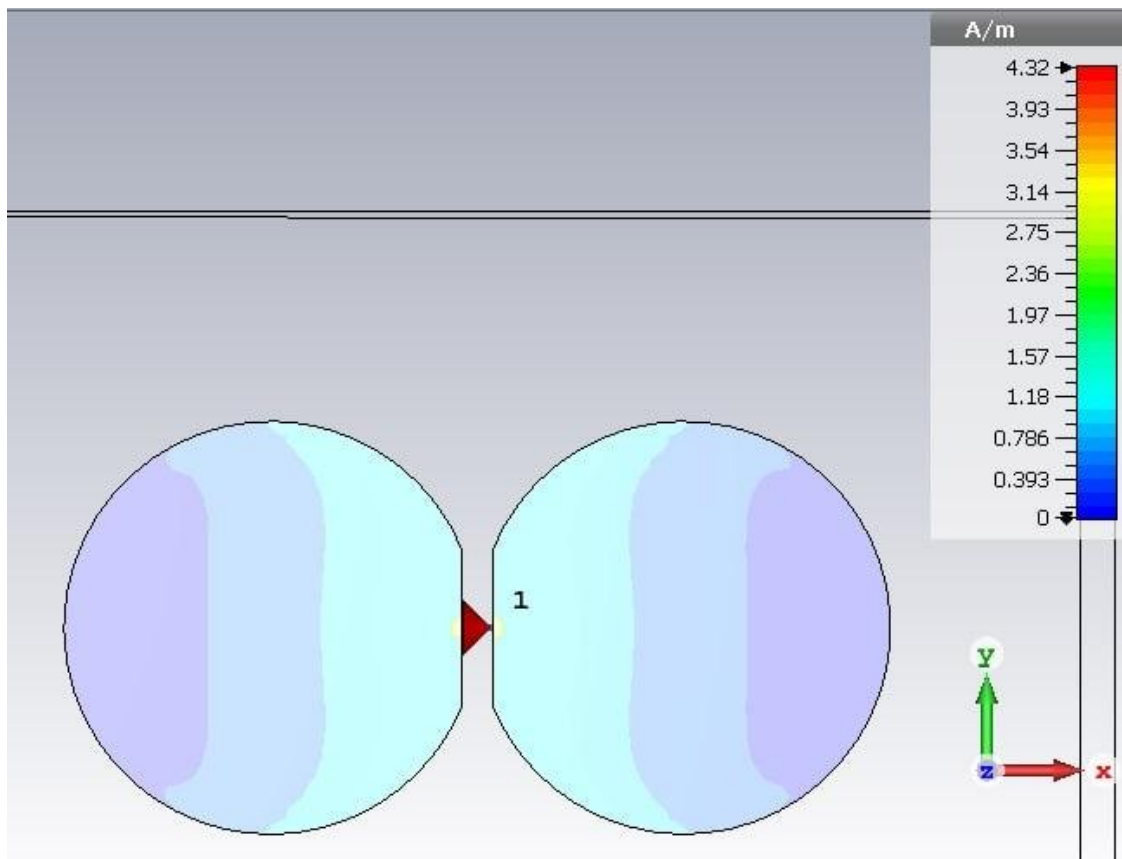


в)

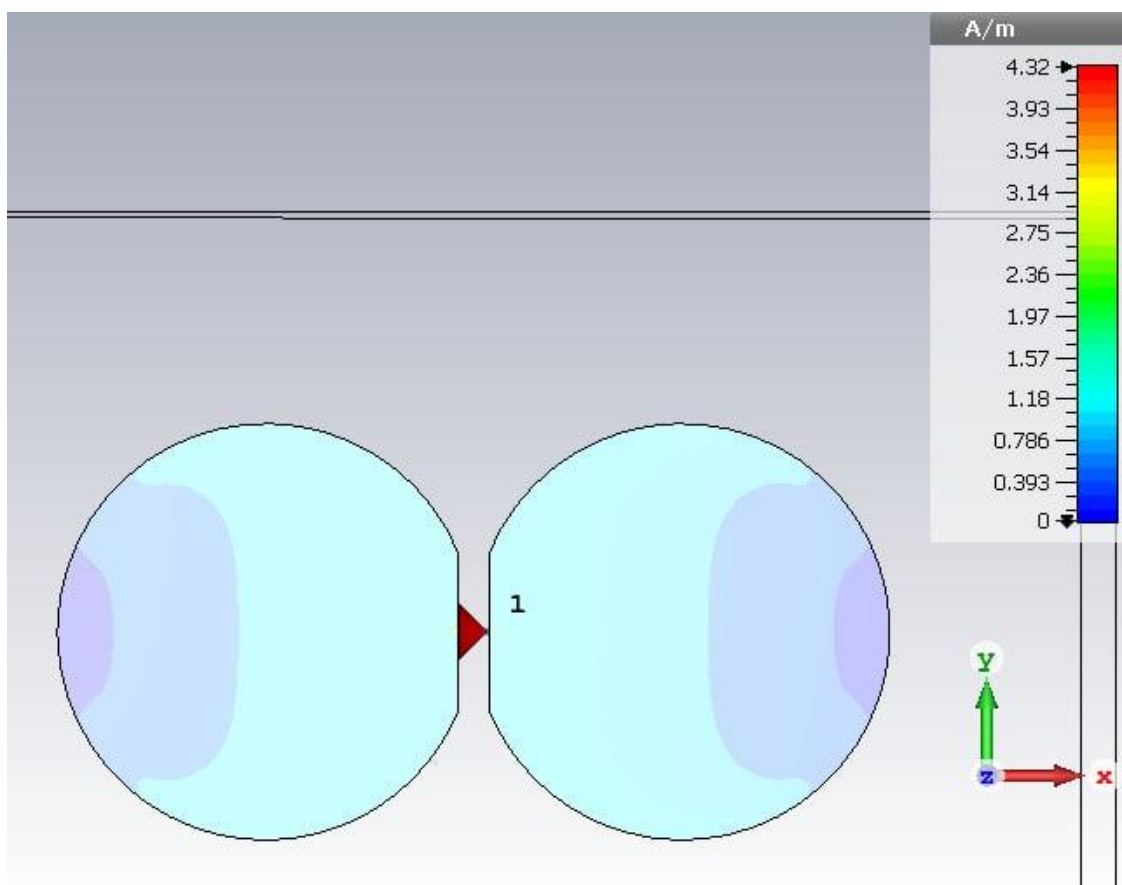


г)

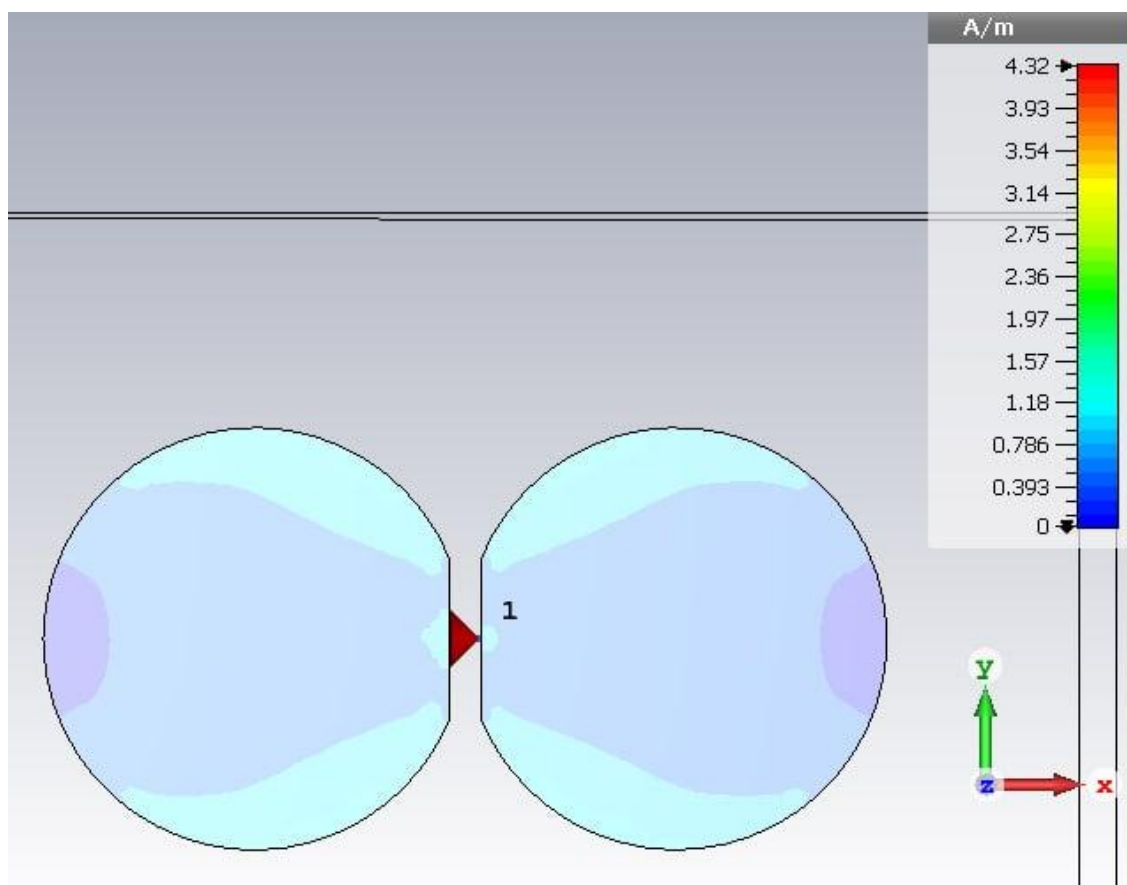
Рисунок 2.8. Поверхневі струми на частоті 0.4 ТГц. Фаза 0° (а), 45° (б), 90° (в) та 135° (г).



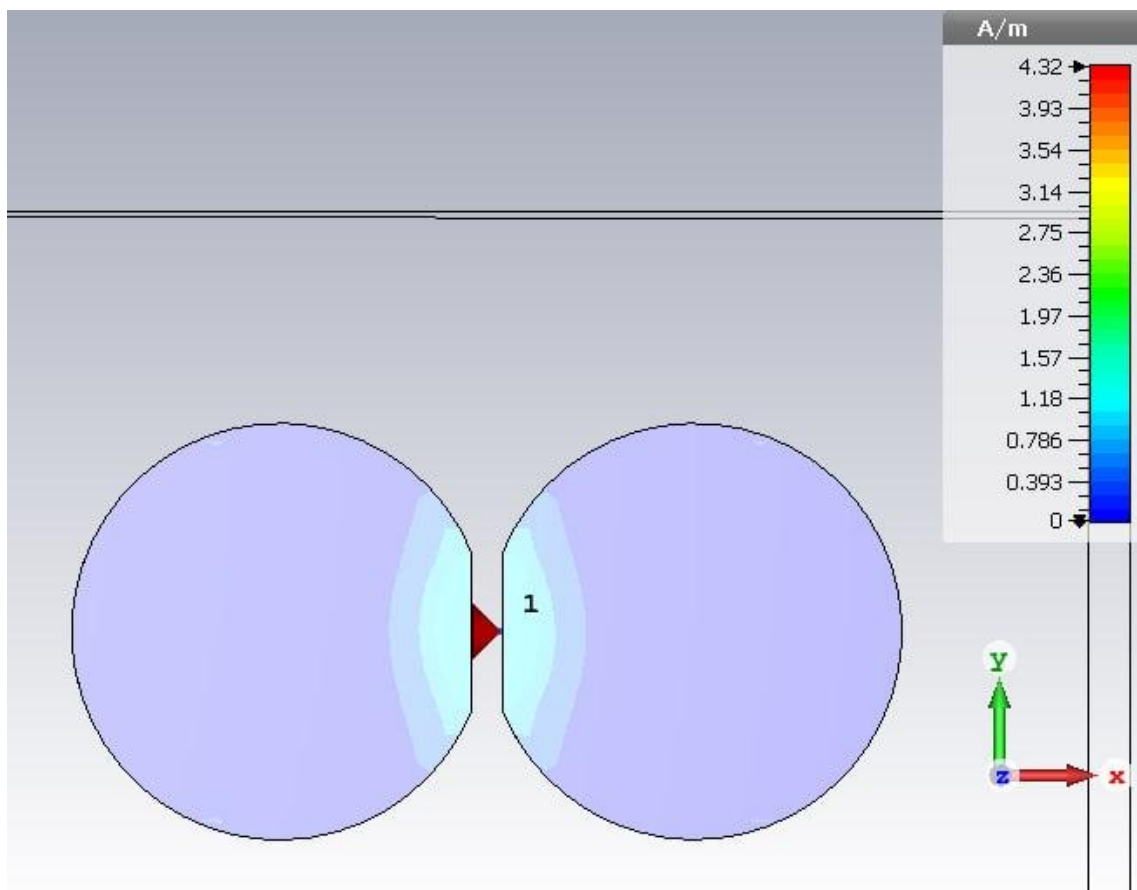
a)



6)

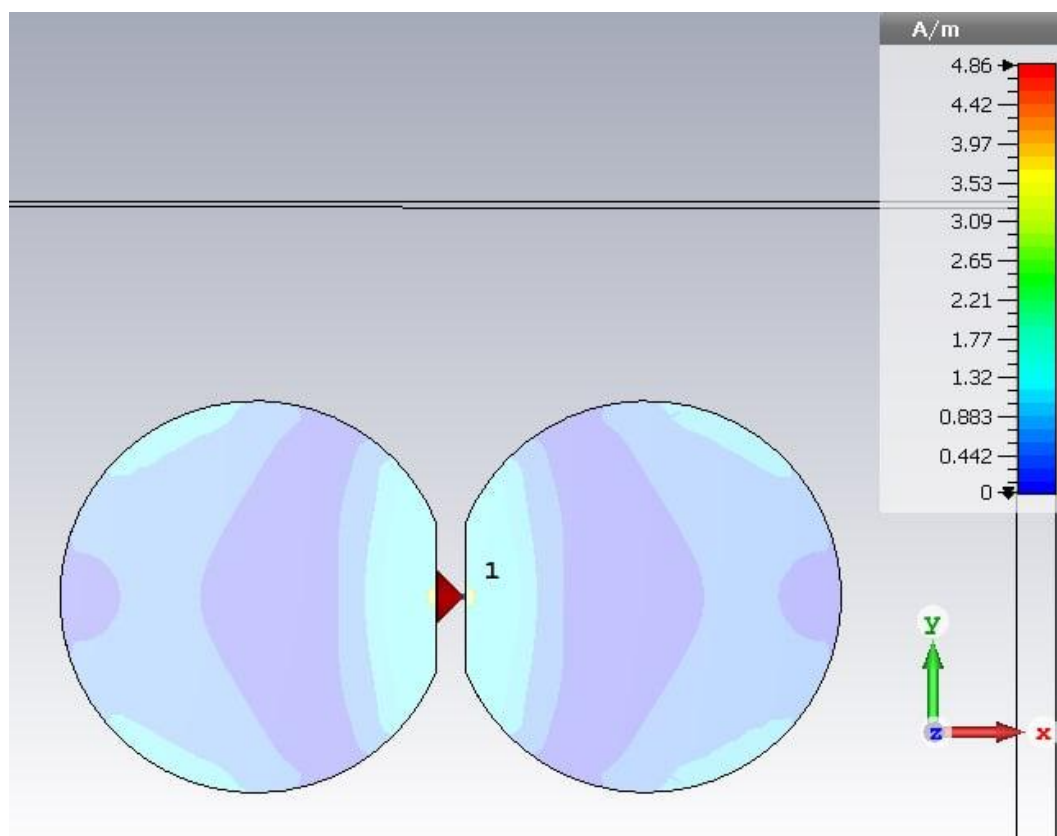


B)

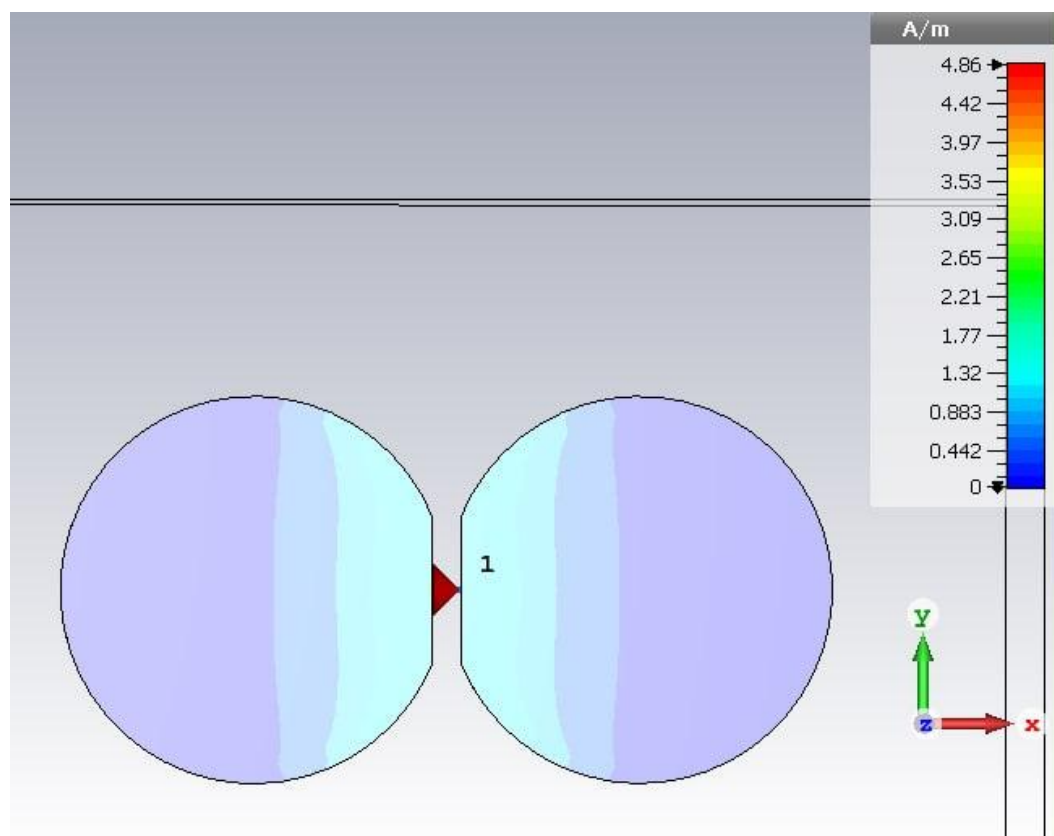


г)

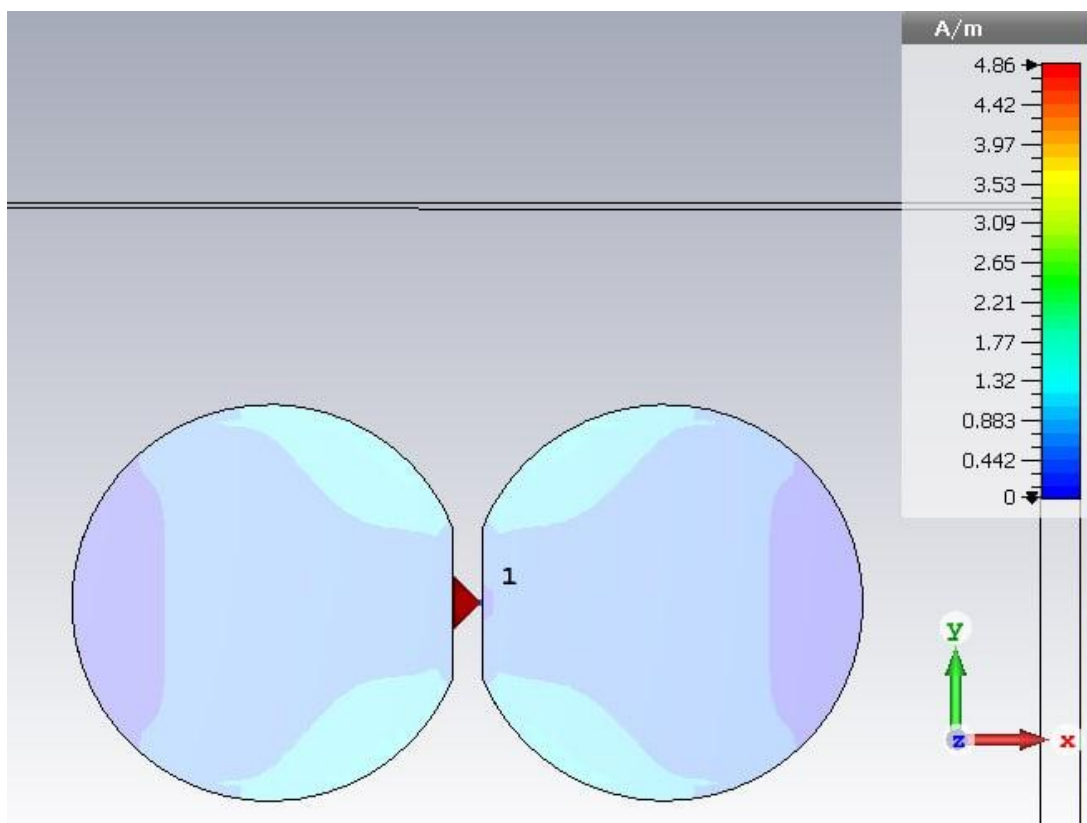
Рисунок 2.9. Поверхневі струми на частоті 0.8 ГГц. Фаза 0° (а), 45° (б), 90° (в) та 135° (г).



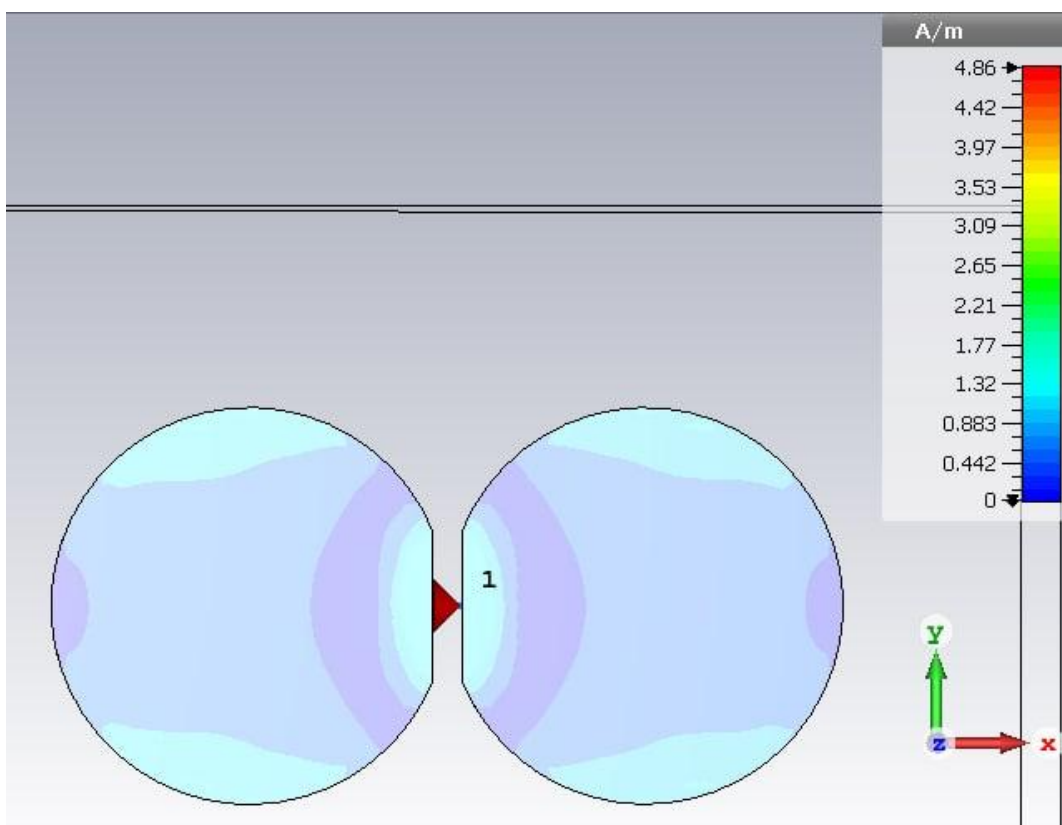
a)



6)



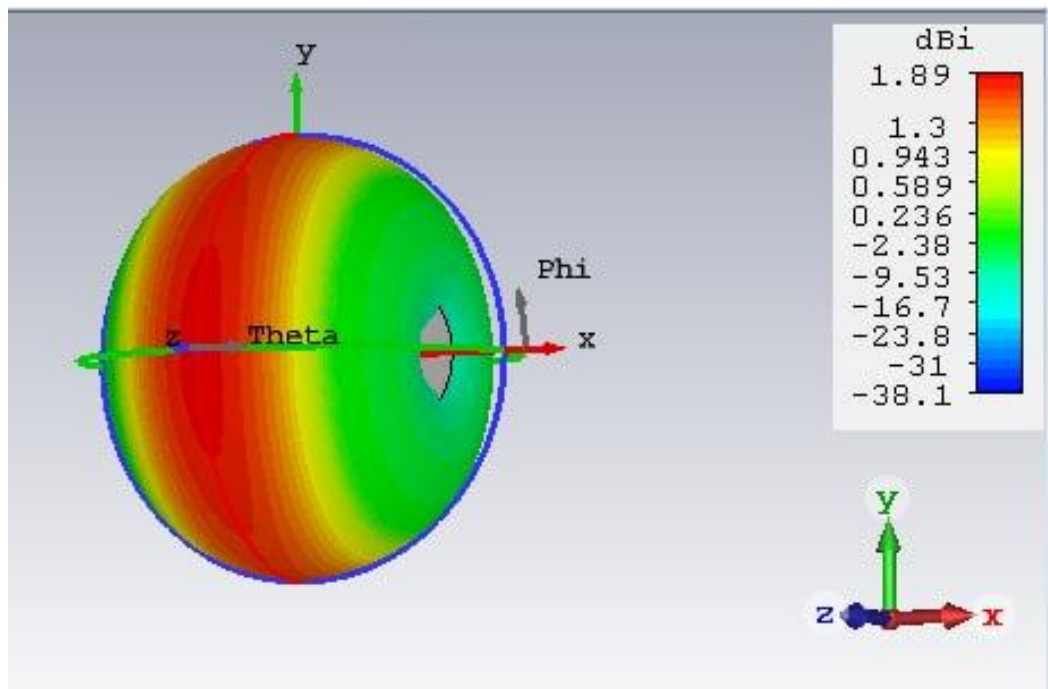
B)



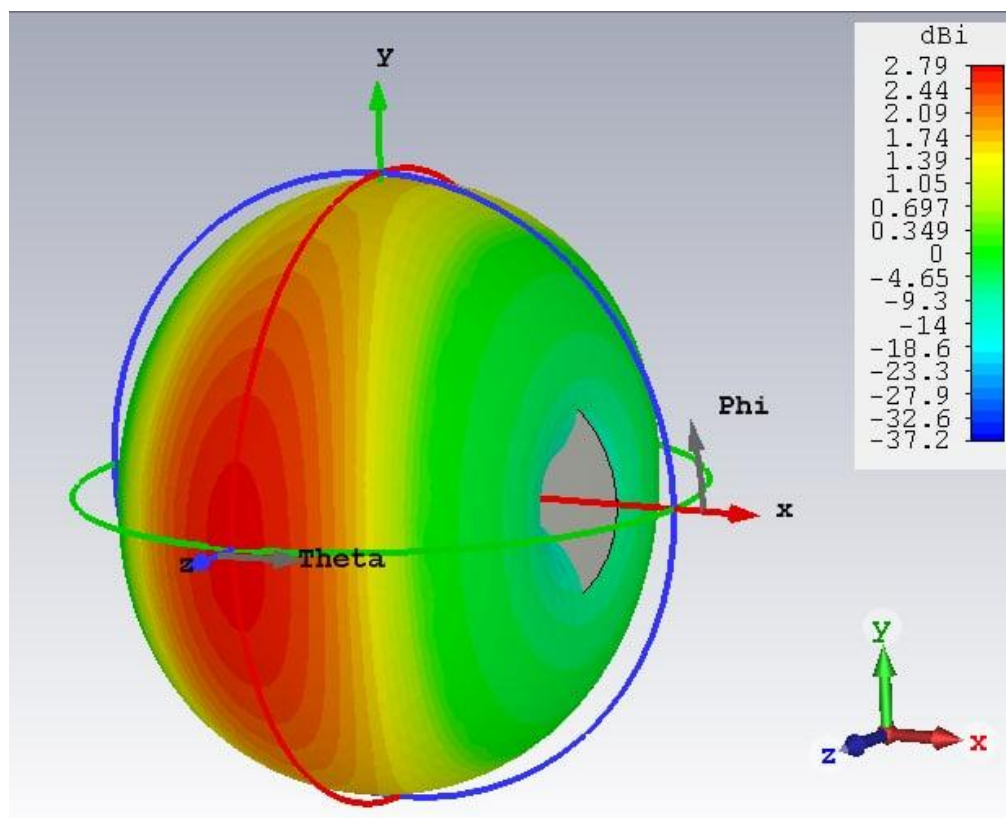
г)

Риунок 2.10. Поверхневі струми на частоті 1.4 ГГц. Фаза 0° (а), 45° (б), 90° (в) та 135° (г).

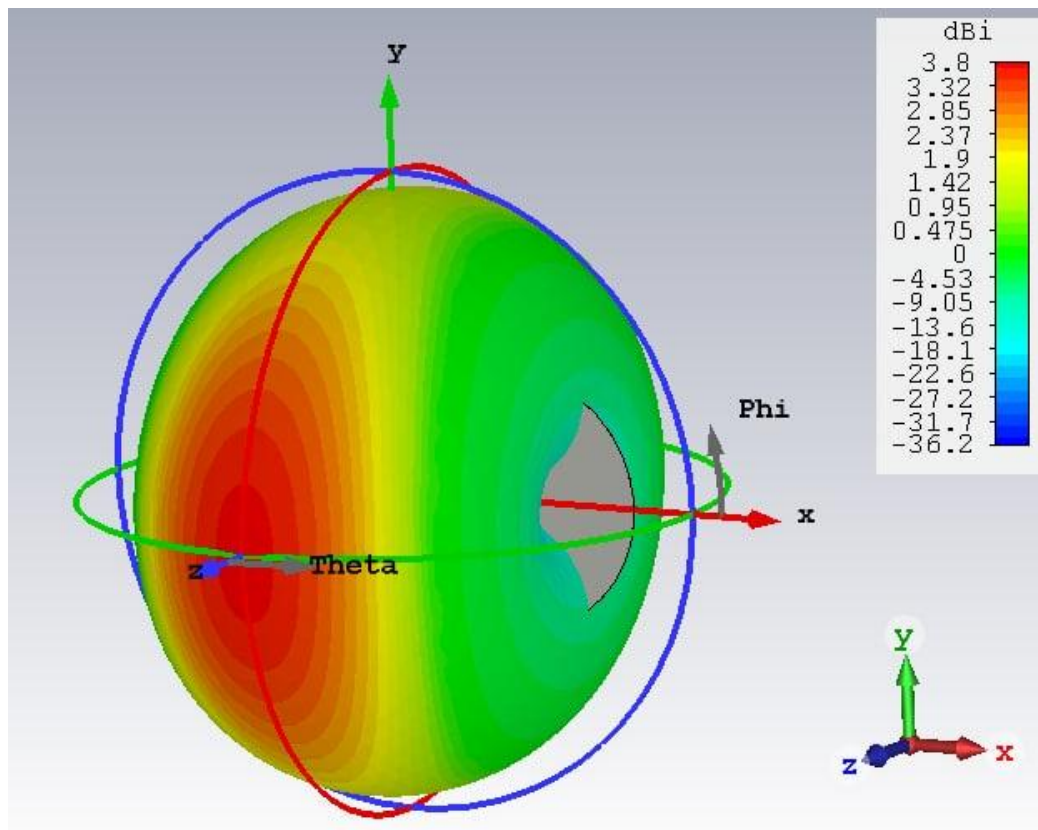
3Д-діаграми спрямованості запропонованої модифікованої антени «bow-tie» на частотах 0.4(а), 0.8(б), 1.1(в), 1.4(г) ГГц показані на рис. 2.11. Видно, що запропонована модифікована антена «bow-tie» забезпечує неспотворені діаграми спрямованості в усьому діапазоні частот (на відміну від класичної «bow-tie» антени, розглянутої вище).



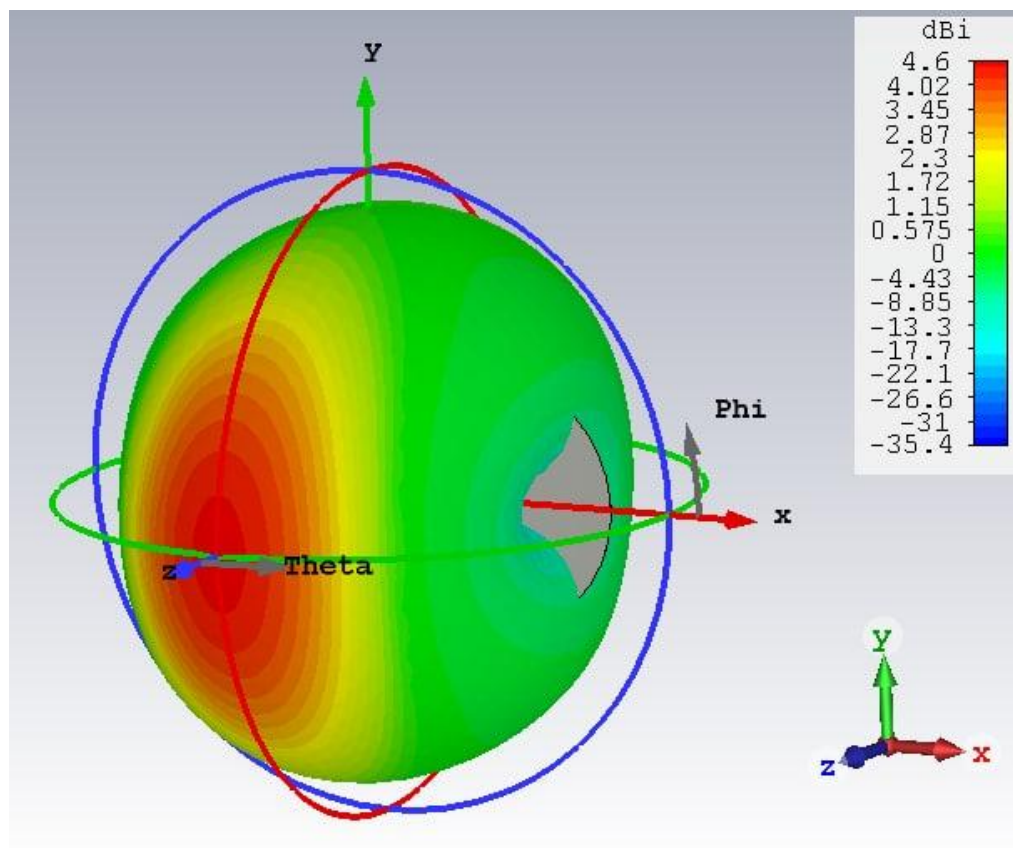
a)



b)



B)



r)

Рисунок 2.11. Діаграма спрямованості модифікованої антени типу «bow-tie» на частоті 0.4(а), 0.8(б), 1.1(в), 1.4(г) ГГц.

Для отримання односпрямованої діаграми спрямованості та підвищення коефіцієнта підсилення запропонованої модифікованої «bow-tie» антени був введений екран (металева пластина), розташований на відстані 93 мм ($\frac{\lambda}{4}$ на частоті 0.8 ГГц) від надрукованій на діелектричній підкладинці (рис. 2.12) з епсілоном 2.2 і товщиною 1.7 мм модифікованої «bow-tie» антени.

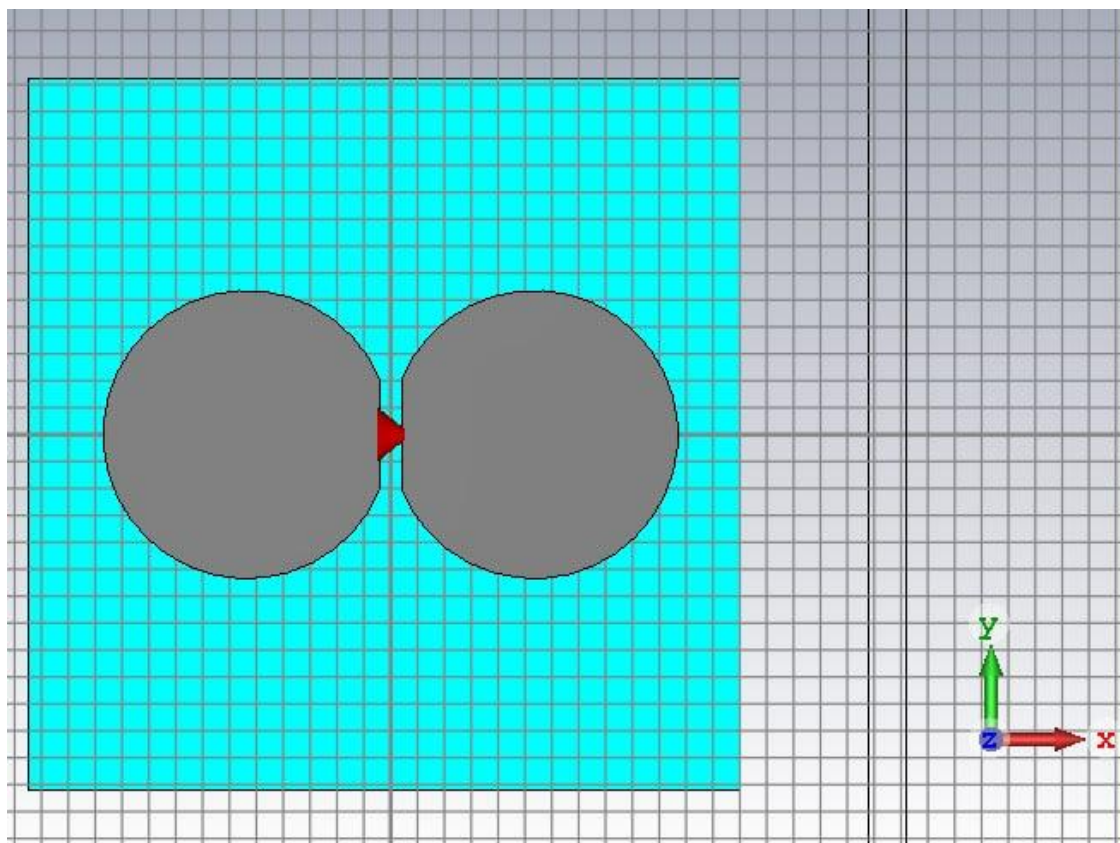


Рисунок 2.12. Загальний вигляд модифікованої антени «bow-tie».

Частотна залежність модуля коефіцієнта відбиття друкованої модифікованої «bow-tie» антени наведена рис. 2.13. Видно, що введення екрану сильно збільшує коефіцієнта відбиття антени в нижній частині діапазона

Залежність вхідного та відбитого сигналів показані на рис. 2.14 на частоті 0.8 ГГц.

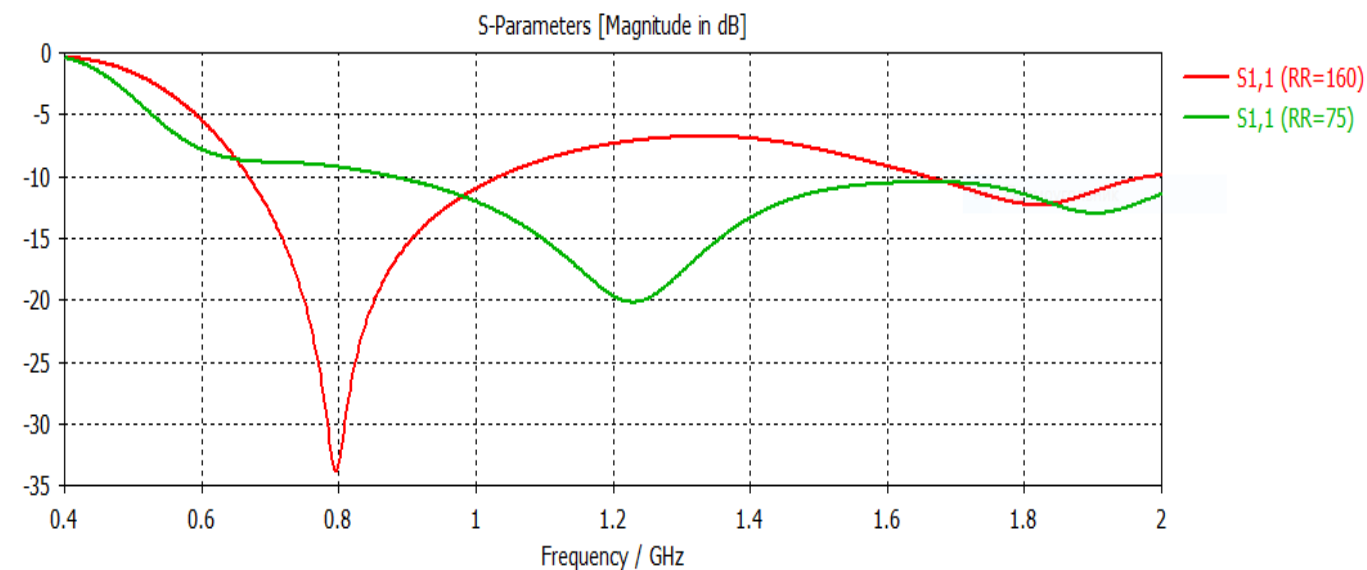


Рисунок 2.13. Частотна залежність модуля коефіцієнта відбиття модифікованої «bow-tie» антени.

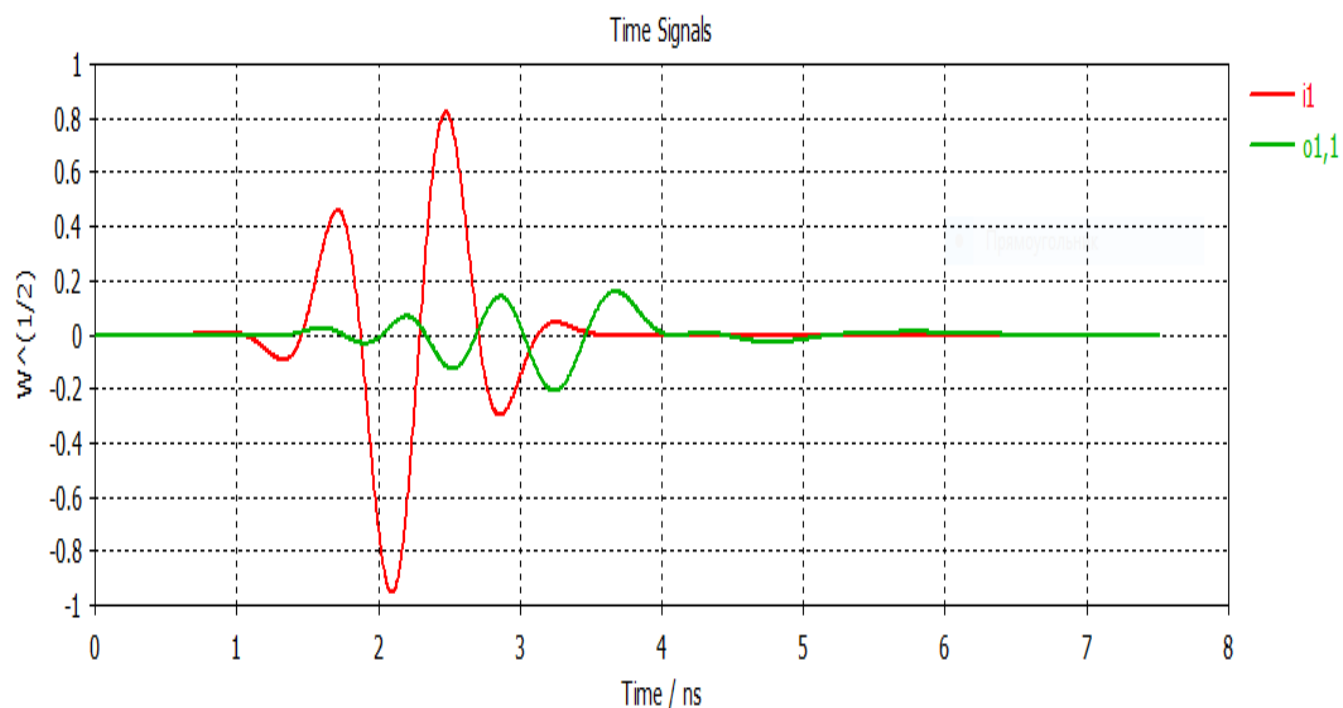
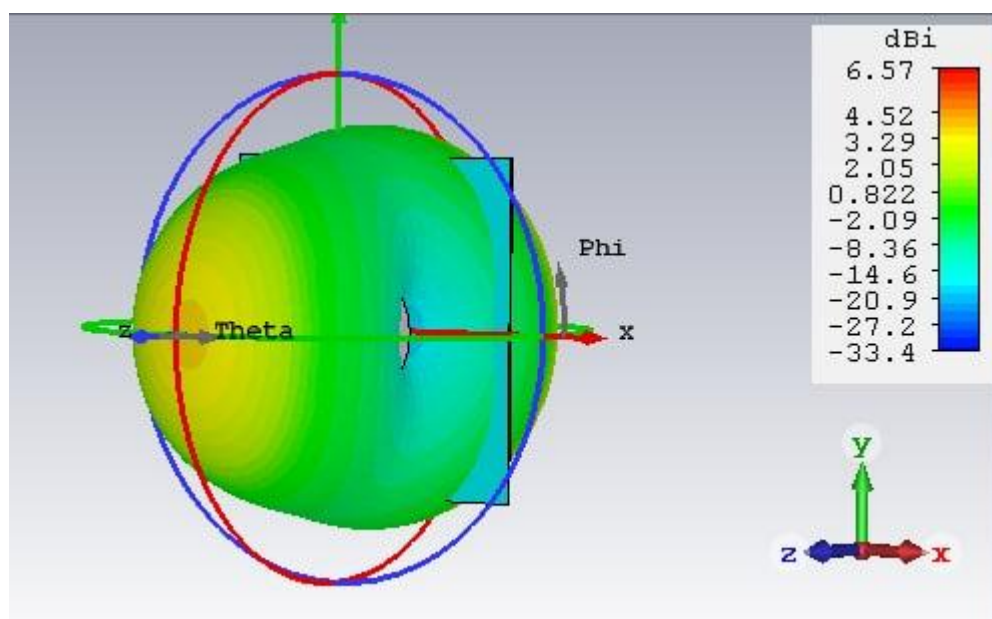
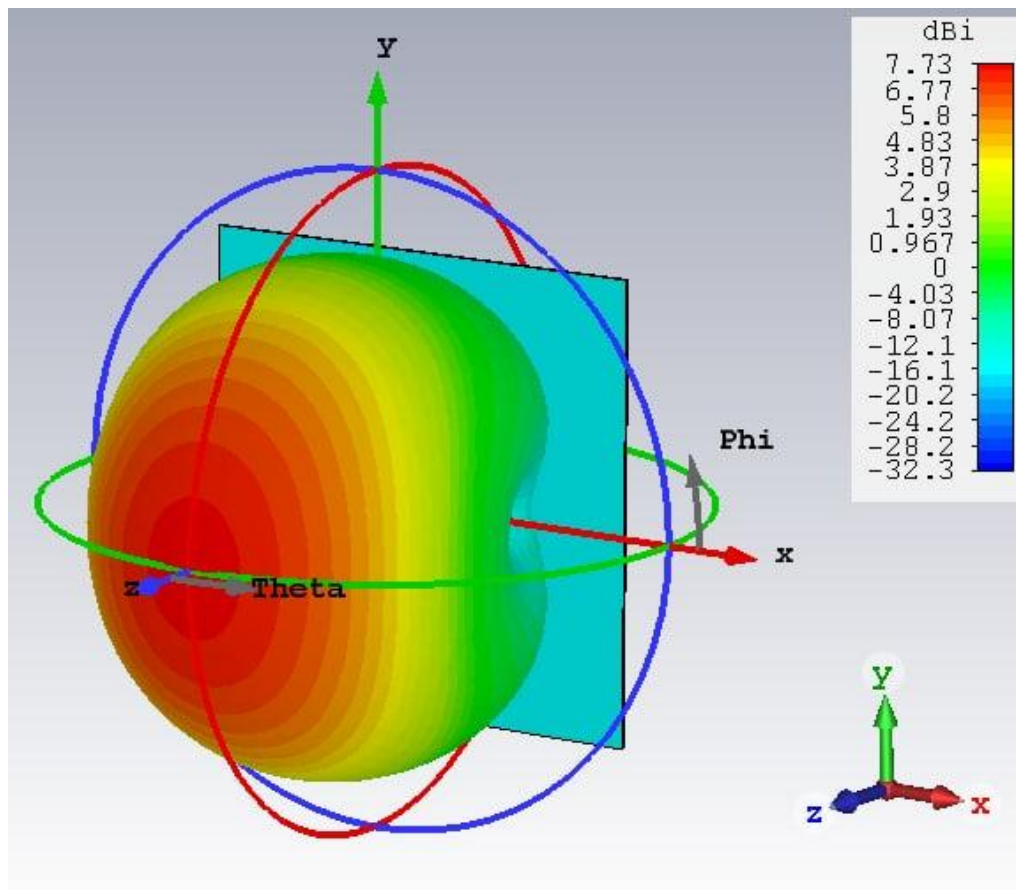


Рисунок 2.14. Часова залежність вхідного (червоний) та відбитого (зелений) сигналів у відносних одиницях на частоті 0.8 ГГц.

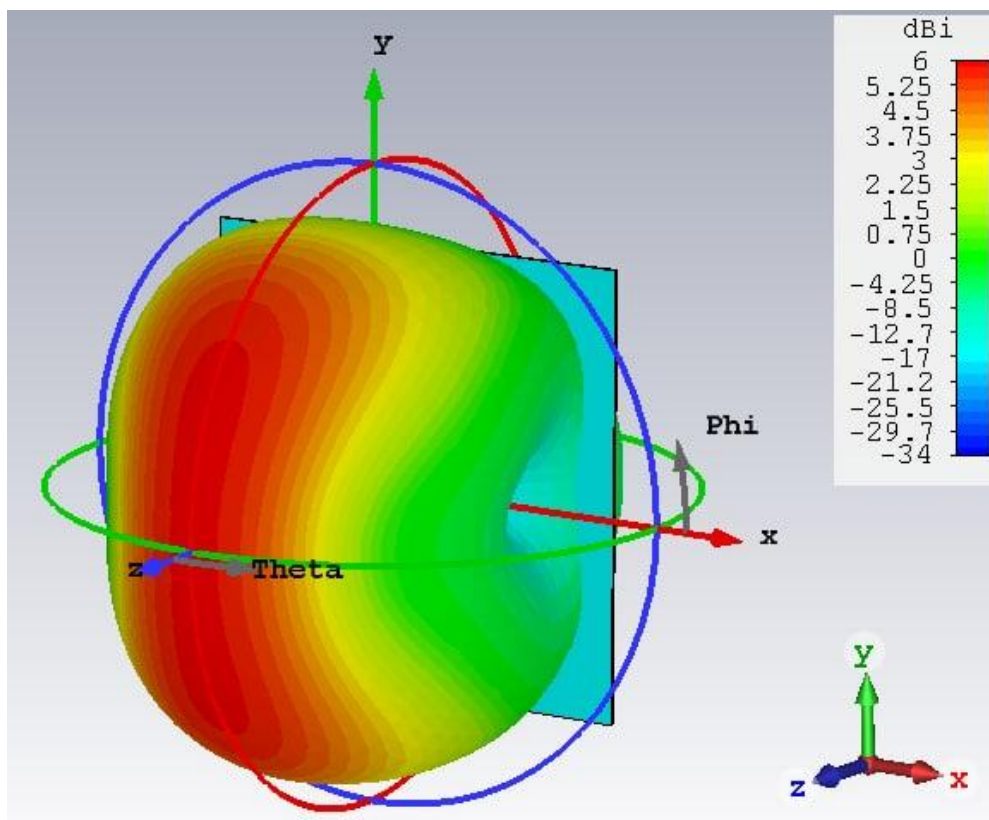
Діаграма спрямованості модифікованої антени типу «bow-tie» над екраном на частотах 0.4(а) 0.8(б), 1.4(в) ГГц проілюстровано на рис 2.15. Звертає на себе увагу низький коефіцієнт підсилення на частоті 0.4 ГГц, обумовлений високим коефіцієнтом відбиття.



a)



6)



в)

Рисунок 2.15. Діаграма спрямованості модифікованої антени типу «bow-tie» над екраном на частотах 0.4(а) 0.8(б), 1.4(в) ГГц.

На рис 2.16 - 2.18 показані діаграми спрямованості антени на частотах 0.4, 0.8 та 1.4 ГГц у площинах ZOX (вверху) та ZOY (внизу).

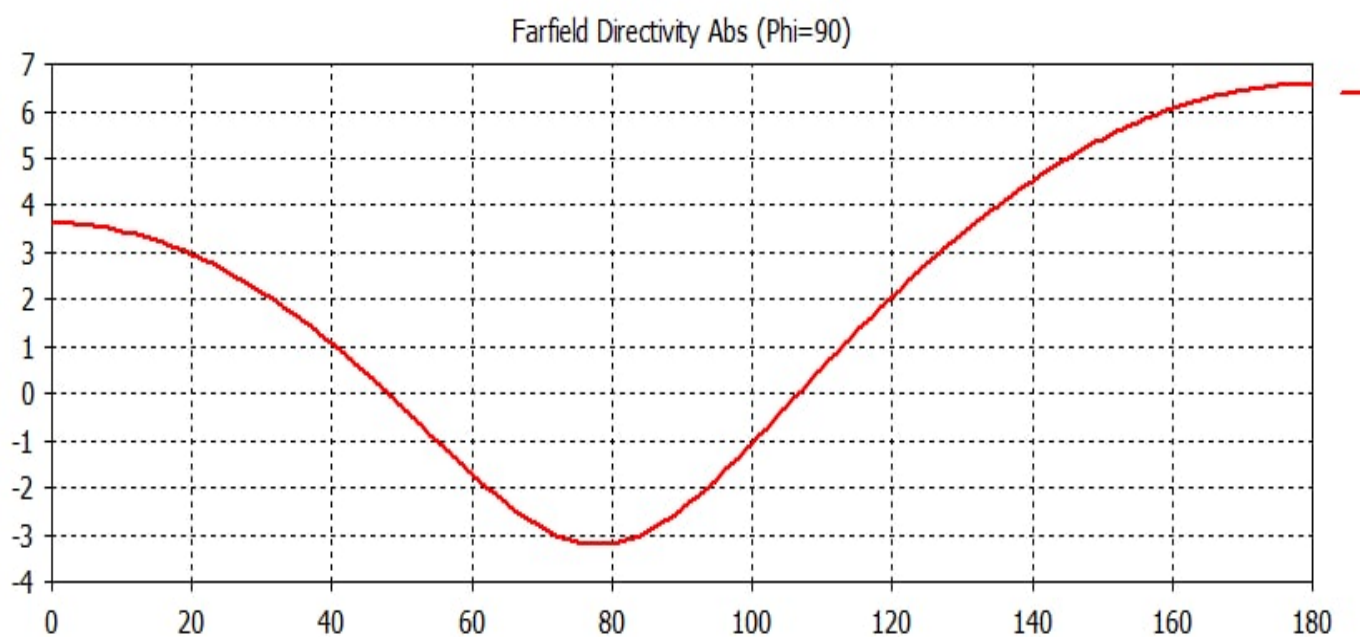
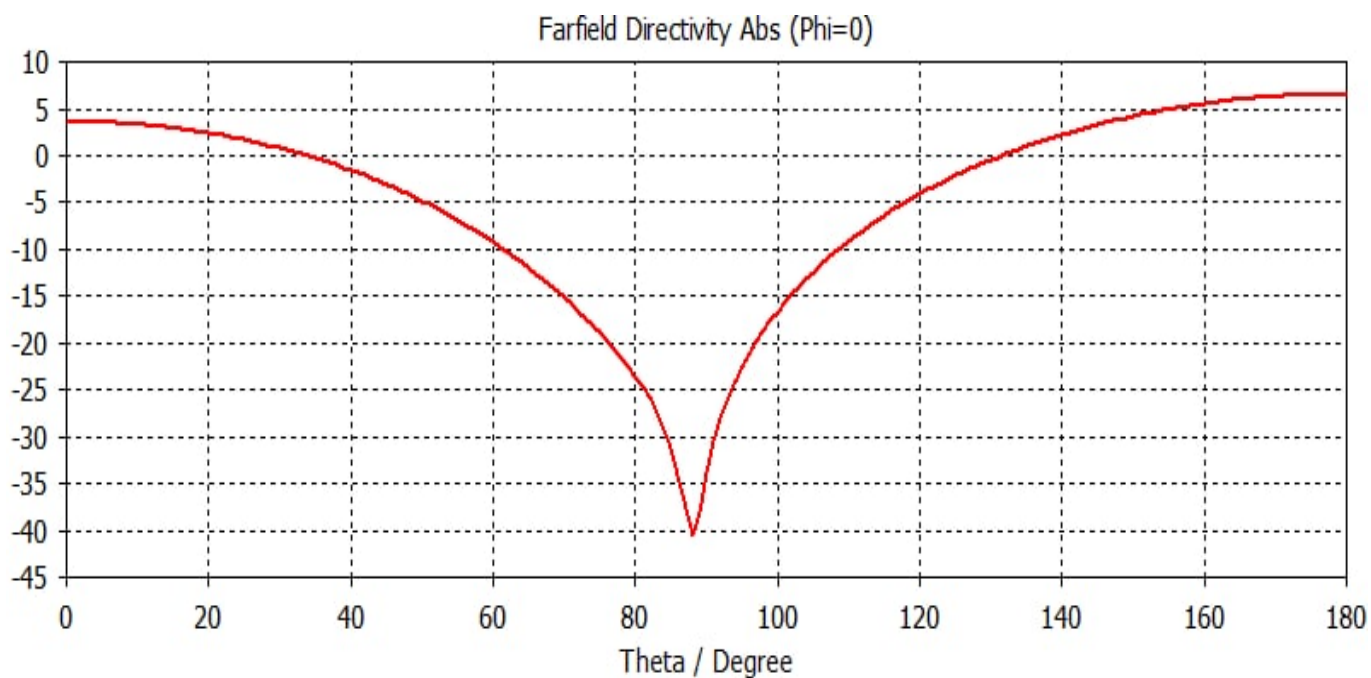


Рисунок 2.16. Діаграми спрямованості антени на частоті 0.4 ГГц у площинах ZOX (вверху) та ZOY (внизу).

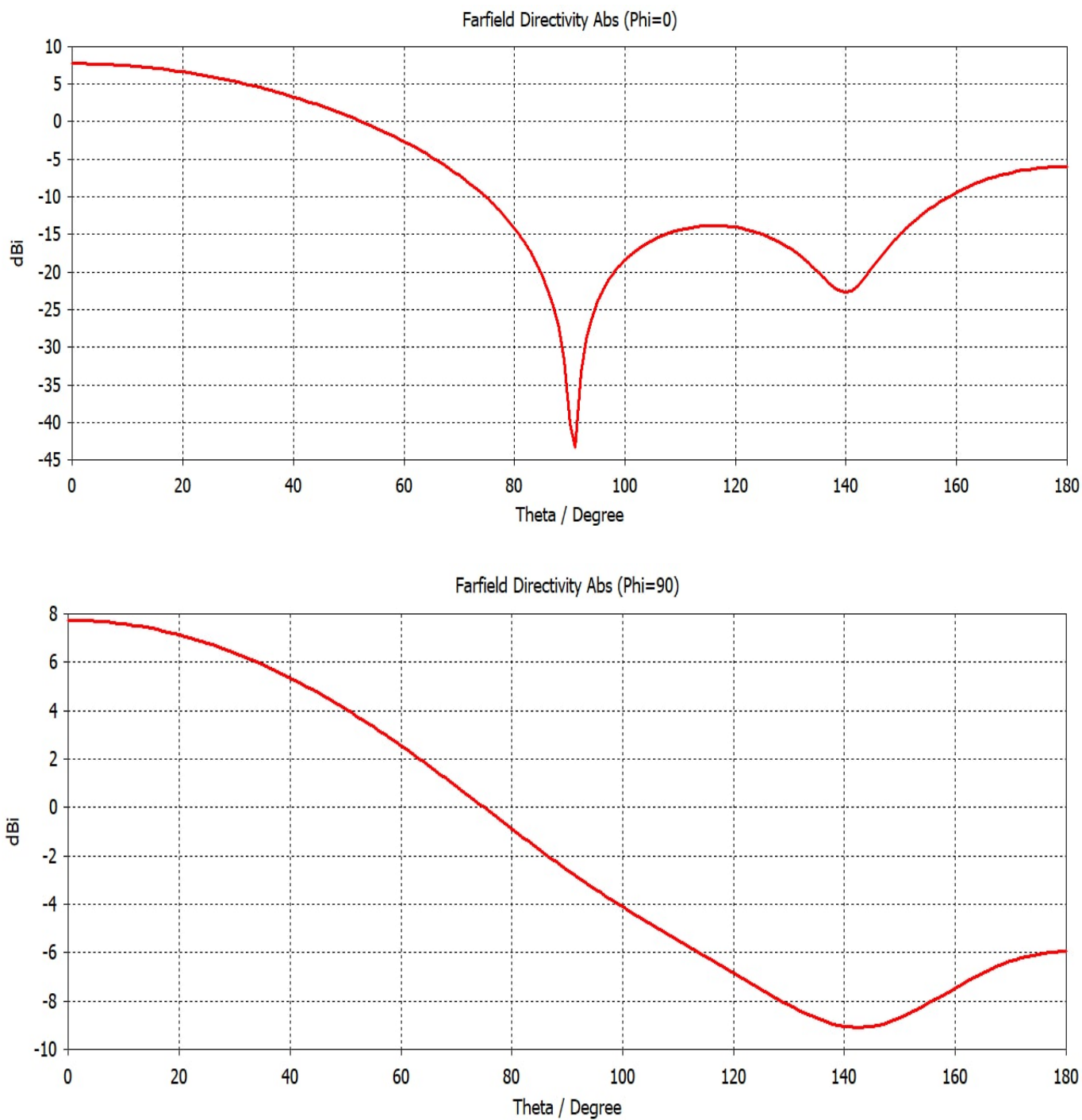


Рисунок 2.17. Діаграми спрямованості антени на частоті 0.8 ГГц у площинах ZOХ (вверху) та ZOУ (внизу).

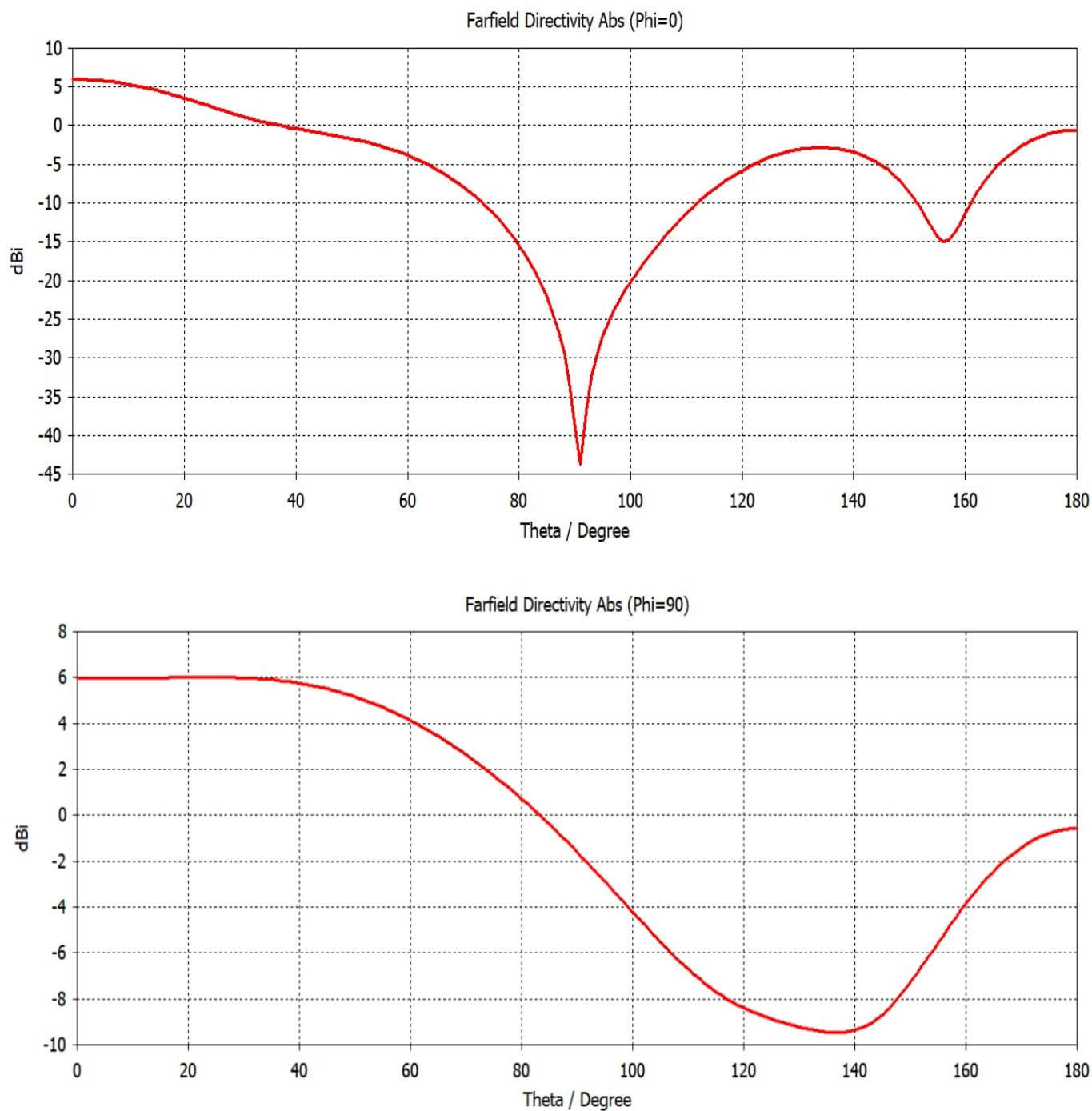


Рисунок 2.18. Діаграми спрямованості антени на частоті 1.4 ГГц у площинах ZOХ (вверху) та ZOУ (внизу).

2.2 Висновки

Запропонована модифікована антена типу «bow-tie» із майже коловою формою пліч диполя має кращі характеристики узгодження та випромінювання, ніж класична «bow-tie» антена. Зокрема, значення КСХН не перевищує 2.5 у заданій смузі частот 0.4 – 1.4ГГц при живленні антени лінією з опором 75 Ом та діаграми спрямованості у цій смузі частот залишаються неспотвореними.

Розділ 3. Розроблення стартап-проекту

Розділ має наметі проведення маркетингового аналізу стартап-проекту задля визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження.

З огляду на схожість проектів, було використано дані з [16].

Етапи маркетингового аналізу стартап-проекту:

3.1 Опис ідеї проекту(товару,послуги,технології)

Таблиця3.1.Опис ідеї стартап-проекту

Зміст	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення модифікованої bow-tie антени	1. Наукові дослідження	Компактні розміри та широкопосмугові
	2. Антени Wi-fi	

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї (чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників) порівняно із пропозиціями конкурентів. Нумерація відповідно до нумерації антен, приведених в аналогах.

Таблиця3.2.Визначення сильних,слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характери- стики ідеї	(потенційні)товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтраль на сторона)	S (сильна сторона)
		Мі й проект	Конку - рент1	Конку - рент2	Конку - рент3			
1.	Компактність	+	-	+	+	-	-	+
2.	Дешевизна	+	-	+	-	-	-	+
3.	Горизонтальний плоскості	+	-	-	-	-	-	+

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

3.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах данного підрозділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару).

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (табл.3.3):

Таблиця 3.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Створення модифікованої bow- tie антени	CST MicrowaveStudio Suite	Так	Так
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: CST Microwave Studio				

3.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Спочатку проводиться аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл.3.4).

Таблиця 3.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од.	0
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	-
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Існує попит
4	Наявність обмежень для входу	Значні інвестиції
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Так
6	Середня нормарентабельності в галузі (або по ринку), %	-

Ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

Надалі визначаються потенційні групи клієнтів, характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 3.5).

Таблиця 3.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних	Вимоги споживачів до товару
1	Створення модифікованої bow-tie антени	Міністерство транспорту та зв'язку	Невідомі	Надійсність, компактність

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: (табл. № 3.6-3.7).

Таблиця 3.6. Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Появлення вигіднішого	Відсутність продаж	Вдосконалення антени, вихід з ринку

Таблиця 3.7. Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Поява нової технології	Простіше виготовляти	Переобладнання виробництва

Надалі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку (табл. 3.8).

Таблиця 3.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Вказати тип конкуренції - монополістична	Домінування одного підприємства в секторі	значний
2. За рівнем конкурентної боротьби - національний	Всесвітня популярність	значний
3. За галузевою ознакою - внутрішньогалузева	Конкуренція в межах одного сектору ринку	помірний
4. Конкуренція за видами товарів: - невідомо		
5. За характером переваг	Висока вартість	значний

6. Заінтенсивністю		
-невідомо		

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз

Таблиця 3.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	AT&T	T-Mobile	Невідомо	Невідомо	Невідомо
Висновки	Вже працює на ринку, високі	Кілька років на розробку	Невідомо	Невідомо	Невідомо

Зарезультатами аналізу таблиці продукт можна випускати на ринок, не зважаючи на існування конкурентів, але необхідно забезпечити запуск виробництва протягом року та з низькою ціною продажу.

На основі аналізу конкуренції, визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлюється за табл. 3.10

Таблиця 3.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Ціна	Затрати на матеріали та виготовлення
2	Простота	Технологія виготовлення
3	Надійсність	Технологія виготовлення

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є виконання SWOT-аналізу (табл. 3.11).

Таблиця 3.11. SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
Ціна, простота, надійність	Характеристики, відсутність капіталу
Можливості:	Загрози:
Нова технологія	Конкуренція

3.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 3.12).

Таблиця 3.12. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів прийняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Міністерство транспорту та інфраструктури	Готові	Постійний	Не значні	Важко
2	Приватні компанії	Готові	Високий	Не значні	помірно
Які цільові групи обрано: Мін. Освіти та приватні компанії					

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку (табл. 3.13).

Таблиця 3.13. Визначення базової стратегії розвитку

№п/п	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції	Базова стратегія розвитку
------	---------------------------	-------------------------------------	---------------------------

1	Диференційований маркетинг	Ціна, простота, надійність	Стратегія спеціалізації
---	----------------------------	----------------------------	-------------------------

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл.3.14).

Таблиця 3.14. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурентів?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні	Спочатку забирати, а потім шукати нових	Ні	Заняття конкурентної ніші

3.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у табл. 3.15 потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 3.15. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Створення модифікованої bow-tie антени	Виграш у ціні та простоті	Простота і ціна

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: (табл.3.16).

Таблиця 3.16. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Створення модифікованої bow-tie антени
II. Товар у реальному виконанні	Властивості
	1. Ціна
	2. Простота
	Якість: тестування макету
	Пакування: відсутнє
III. Товар із підкріпленням	Марка: відсутня
	До продажу: невідомо
	Після продажу: невідомо
Потенційний товар буде захищено від копіювання через патент	

Наступним кроком є визначення цінових меж (табл.3.17). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 3.17. Визначення меж встановлення ціни

№п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів в цільовій групі споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	5-10 тис. ум. од.	До 3 тис. ум. од.	високий	Попитом

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл.3.18):

Таблиця 3.18. Формування системи збуту

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

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл.3.19).

Таблиця 3.19. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, які ими користуються	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Невідома	Інтернет, наукові публікації, прес- служби	Можливості проекту	Розповісти про можливості проекту	Переконання сильними сторонами

3.6 Висновки

Існує можливість ринкової комерціалізації проекту, адже наявний попит на ринку. Є перспективи провадження з огляду на потенційні групи клієнтів, стан конкуренції, конкурентно спроможність проекту. Подальша імплементація проекту можлива, при знаходженні інвесторів.

Висновки

У даній роботі проведено чисельне дослідження характеристик узгодження та випромінювання класичної «bow-tie» антени та запропонованої її модифікації. В результаті виконаних досліджень встановлено, що запропонована модифікована антена типу «bow-tie» із майже коловою формою пліч диполя має кращі характеристики узгодження та випромінювання, ніж класична «bow-tie» антена. Зокрема, значення КСХН не перевищує 2.5 у заданій смузі частот 0.4 – 1.4 ГГц при живленні антени лінією з опором 75 Ом та діаграми спрямованості у цій смузі частот залишаються неспотвореними.

Отже, розроблена антена відповідає вимогам ТЗ і є придатною для передачі та прийому субнаносекундних імпульсів Гауса в ультраширококустових радіосистемах різного призначення.

Перелік посилань

1. Debalina Gosh, Arijit De, Mary C. Taylor, Tapan K. Sarkar, Michael Wicks, Eric L. Mokole, Transmission and Reception by Ultra- Wideband (UWB) Antennas, IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol, 48, No. 5, October 2006
2. Бененсон Л.С., Сверхширокополосные антенны – М. Издательство «Мир», 1964.
3. <https://habr.com/ru/post/328728/>
4. Положення про магістратуру НТУУ «КПІ» / Уклад. В.П. Головенкін. За аг. Ред., Ю.І. Якименка – К.: «Політехніка», 2007. – 36 с.
5. Johnna Powell, "Antenna Design for Ultra Wideband Radio", B.S. Electrical Engineering, New Mexico State University, 2001. pp. 64-67.
6. Young Cho, Dong-Hyuk Choi. Seong-Ook Park.. FDTD Analysis of Bow-Tie
7. Antenna by Incorporating Approximated Static Field Solutions. IEEE. Antennas and Wireless Propagation Letters, 2004. - Vol.3. - p. 176-179.
8. M.J. Arts, A.B. Smolders. A vertically oriented bow-tie array as a demonstrator for the square kilometer array. Proc. IEEE/NERG Conference on Perspectives on radio Astronomy 1999. 99-102.
9. A.G. Yarovoy. L.P. Ligthart, Capacitively-tapered bow-tie antenna. Proceedings, of the AP2000 Conference. Davos. Switzerland, 9-14, April 2000.
10. S. Yee. Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwell's Equations in Isotropic Media. // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 1966. - Vol. 14. No. 8. - p.302-307.

11. Kurt L Shlager, John B. Schiteider. A Suyey of the Finite-Difference Time-pomain Literature. // IEEE A nmennas artd Propagation Magazine. - 1995. - Vol.37.- Ni4.- p. 39-56.
12. J. P. Berenger, J. Comput. Phys. 114. 185 (1994). 1? CST MICROWAVE STUDIO User Manual Release 5, January 2004.
13. Noriaki Kanedla, W.R. Deal, Yonyxi Qian. A broad-band planar quasi-Yagi antenma // IEEF Transactions on Antennas and Propagation.- 2002. Vol.50. - М-р. №4. 158-1160.
14. Нарышкин Т.Н., Бабак В.П., Ельченко М.Е., Кравчук С.А. Микроволновые технологии в телекоммуникационных системах. – К: Техника, 2000. - 304 с
15. A.C.Wilson, H.V.Cotton Radiation Patterms of Finite-Size Corner-Reflector Antennas. IRF Transactions on Antennas and Propagation. 1988. - Vol.8. - Issuc 2-p. 144-157.
16. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.