

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 64 с., 52 рис., 3 табл., 1 додаток, 16 джерел

Об'єкт дослідження: випромінюючий пристрій для бездротових мереж.

Мета кваліфікаційної роботи ступеню бакалавр: розробка випромінюючого елемента для широкосмугових систем зв'язку.

При вирішенні поставлених завдань у кваліфікаційній роботі використані: системний підхід, методи порівняння, математичне моделювання.

В першому розділі проведено огляд технічних характеристик випромінюючих пристроїв, конструкції широкосмугових антен. Детально розглянути принципи побудови найбільш поширених типів широкосмугових антен.

В спеціальній частині проведена розробка випромінюючого пристрою для широкосмугових систем зв'язку. Розраховано випромінюючий пристрій, що працює в смузі частот 0.5 – 3 ГГц.

В економічній частині проведено розрахунок витрат на розробку оптимізованої широкосмугового випромінювача та аналіз існуючих аналогів.

Практична цінність кваліфікаційної роботи полягає у отриманні нових результатів зі ступеню узгодження антени с фідером живлення в смузі робочих частот 0.5 – 3 ГГц залежно від геометричних розмірів складових широкосмугового випромінювача. Розраховано діаграми спрямованості для цих випадків. Результати роботи можуть бути використані при створенні широкосмугових випромінюючих пристроїв.

ШИРОКОСМУГОВИЙ ВИПРОМІНЮВАЧ. КОЕФІЦІЄНТ ВІДБИТТЯ. ДІАГРАММА СПРЯМОВАНОСТІ. КОЕФІЦІЄНТ ПІДСИЛЕННЯ. ФІДЕР.

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 61 с., 52 рис., 3 табл., 1 приложение, 16 источников

Объект исследования: излучающий устройство для беспроводных сетей.

Цель квалификационной работы степени бакалавр: разработка излучающего элемента для широкополосных систем связи.

При решении поставленных задач в квалификационной работе использованы: системный подход, методы сравнения, математическое моделирование.

В первой главе проведен обзор технических характеристик излучающих устройств, конструкции широкополосных антенн. Подробно рассмотрены принципы построения наиболее распространенных типов широкополосных антенн.

В специальной части проведена разработка излучающего устройства для широкополосных систем связи. Разработано излучающее устройство, которое может работать в полосе частот 0.5 – 3 ГГц.

В экономической части произведен расчет затрат на разработку оптимизированной широкополосного излучателя и анализ существующих аналогов.

Практическая ценность квалификационной работы заключается в получении новых результатов по степени согласования антенны с фидером питания в полосе рабочих частот 0.5 – 3 ГГц в зависимости от геометрических размеров составляющих широкополосного излучателя. Рассчитаны диаграммы направленности для этих случаев. Результаты работы могут быть использованы при создании широкополосных излучающих устройств.

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ. КОЭФФИЦИЕНТ ОТРАЖЕНИЯ. ДИАГРАММА НАПРАВЛЕННОСТИ. КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ. ФИДЕР.

ABSTRACT

Executive: 61 p., 52 fig., 3 tab., 1 annex, 16 sources

Research object: radiating device for wireless networks.

The purpose of the qualification work of a bachelor's degree: the development of a radiating element for broadband communication systems.

When solving the tasks in the qualification work was used: a systematic approach, methods of comparison, mathematical modeling.

The first chapter provides an overview of the technical characteristics of the radiating devices, the design of broadband antennas. Consider in detail the principles of constructing the most common types of broadband antennas.

In a special part of the development of the radiating device for broadband communication systems are considered. A radiating device has been developed that can operate in the 0.5 – 3 GHz frequency band.

In the economic part, the calculation of the cost of developing an optimized broadband emitter and analyzing existing analogues was made.

The practical value of qualifying work is to obtain new results on the degree of matching the antenna with the power feeder in the operating frequency range of 0.5–3 GHz, depending on the geometric dimensions of the components of the broadband radiator. Radiation patterns for these cases are calculated. The results of the work can be used to create broadband radiating devices.

BROADBAND RADIATOR. REFLECTION COEFFICIENT. RADIATION PATTERN. GAIN. FEEDER.

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ДС – діаграма спрямованості;

КП – коефіцієнт підсилення;

КСХ – коефіцієнт стоячої хвилі;

НВЧ – надвисокі частоти;

ФАР – фазовані антенні решітки;

VSWR – the voltage standing wave ratio.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	10
1. Загальні характеристики антен	10
1.2 Класифікація антен НВЧ.....	13
1.2.1 Рупорні антени	15
1.2.2 Дзеркальна антена.....	18
1.2.3 Лінзова антена.....	21
1.2.4 Широкозмугова антена у вигляді плаского симетричного вібратора....	23
1.2.5 Антена TSA	26
1.3 Висновок до першого розділу.....	27
1.4 Постановка задачі для другого розділу.....	28
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	29
2.1 Побудова антенного елемента	29
2.2 Оптимізація антенного елемента	36
2.3 Висновок до другого розділу.....	51
3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	52
3.1 Визначення трудомісткості розробки складної широкозмугової випромінюючої структури	52
3.2 Витрати на створення складної широкозмугової випромінюючої структури	55
3.3 Капітальні витрати	57
3.4 Залежність ціни удосконаленого широкозмугового пристрою від попиту	
3.5 Визначення економічної переваги розробленого випромінюючого пристрою.....	57
3.5 Існуючі аналоги.....	58
3.6 Висновок до третього розділу	59
ВИСНОВКИ.....	59
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	60

ДОДАТОК А.

ДОДАТОК Б.

ДОДАТОК В.

ДОДАТОК Г.

ВСТУП

В останні роки в області телекомунікацій, приділяється велика увага збільшенню кількості локальних мереж. Як показує статистика в усьому світі, найшвидше розвиваються сучасних широкосмугові стандарти зв'язку. Такі системи потребують створення ефективних широкосмугових випромінюючих пристроїв, які забезпечать необхідну швидкості передачі даних. Відомо, що одним з головних параметрів такого пристрою є коефіцієнт підсилення. З іншого боку існує потреба в якісних і недорогих антенах.

Другим важливим чинником, для широкосмугових антен є робочий діапазон частот, в якому будуть забезпечені всі основні параметри приймальної антени, такі як КСХ, діаграма спрямованості, коефіцієнт підсилення антени, тощо.

Метою кваліфікаційній роботі ступеню бакалавра є розробка широкосмугового антенного елемента який забезпечує сталий прийом в широкій смузі частот (0,5 ГГц – 3 ГГц). В даному діапазоні працюють такі бездротові системи як Wi-Fi , стільника мережа, DVB-T, тощо.

Антенний елемент, який досліджується в кваліфікаційній роботі, складається зі щілинної антени, монополя і випромінювача магнітного типу. Досліджувана антена може бути виготовлена за друкованою технологією, що дозволяє знизити габаритні розміри та вартість антени.

1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Загальні характеристики антен

Проектування і розробка антенно-фідерних пристроїв будь-якої радіотехнічної системи ведуться на підставі технічних вимог, в яких визначені основні характеристики створюваного пристрою. Основні характеристики антенно-фідерних пристроїв [1 – 16]:

1. Спрямованість є основною характеристикою антен, яка буде визначати неоднаковість випромінювання (або прийому) антен в різних напрямках. Так само для оцінки спрямованості різних типів антен, є поняття абсолютно ненаправленої антени – ізотропного випромінювача, який може випромінювати електромагнітну енергію рівномірно на всі боки. Неодмінно, всі існуючі антени володіють тією або іншою спрямованою дією. Напруженість електричного поля E , яка створюється випромінюючою антеною в деякій точці простору $M(r, \theta, \varphi)$, буде залежати від координат точки r, θ, φ і потужності, що підводиться P (або точка I), тобто $E_m = E_m(I, r, \theta, \varphi)$. При $r = \text{const}$, $I = \text{const}$ (тобто $P = \text{const}$) $E_m = E_{m \max}(I, r, \theta, \varphi)$, звідки $E_m / E_{m \max} = F(\theta, \varphi)$, де $F(\theta, \varphi)$ – характеристика спрямованості. Характеристика спрямованості – це залежність поля випромінювання від напрямку при незмінній відстані від точки спостереження до антени і незмінною потужності, що підводиться.

2. Діаграма спрямованості (ДС) – це графічне зображення характеристики спрямованості. Існує просторова діаграма спрямованості, яка може бути зображена у вигляді деякої поверхні. Радіус-вектор, проведений від центру до деякої точки поверхні, пропорційний полю випромінювання в даному напрямку. Перетину просторової діаграми спрямованості площинами, що проходять через центр, називають діаграмами спрямованості у відповідній площині. Говорячи про антени, можна зробити висновок, що більшість антен є гостроспрямованими, тобто концентрують випромінювання в невеликому

тілесному куті і мають голчасті ДС (або «олівцевого» типу), рис.1.1, віяного типу, (рис.1.2). В інших випадках можна називати антену ненапрямленою, якщо вона має в горизонтальній площині кругову (рівномірну) ДС.

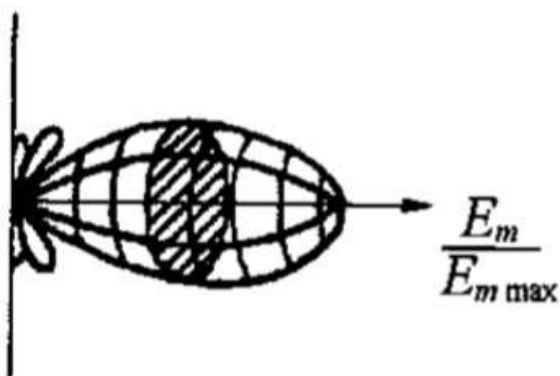


Рисунок 1.1 – Діаграма спрямованості голчастого типу

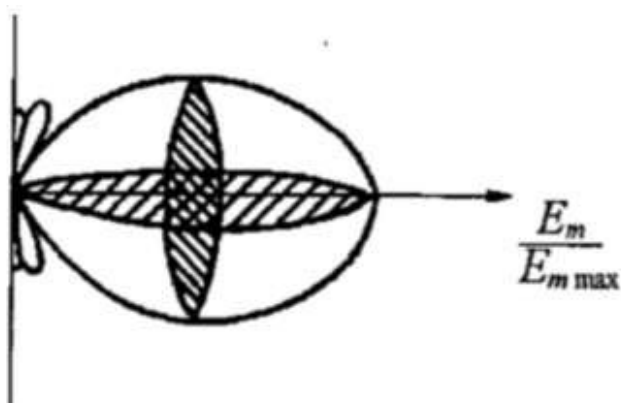


Рисунок 1.2 – Діаграма спрямованості віяного типу

3. При розгляді спрямованої дії необхідно звернути увагу на поляризаційну характеристику антени, яка визначає поляризацію випромінюваних і прийнятих нею хвиль. Антена може випромінювати поле з вертикальною, горизонтальною, круговою або еліптичною поляризацією. Це відбувається в залежності від напрямку обертання. Поля хвилі можуть бути як правонапрямленими, так і лівонапрямленими. Для порівняння спрямованості дії різних антен і розрахунку їх характеристик, зазвичай вводять ряд параметрів, які визначаються виходячи з форми ДС.

4. Також важливою характеристикою, є енергетична характеристика. Вона визначає максимально допустиму потужність випромінювання, за допомогою якої забезпечуються електрична міцність і допустимий тепловий

режим, потужність НВЧ-втрат в антенно-фідерному тракті, потужність шумів, що розвивається на вході приймача, потужність, необхідна для управління положення променя в просторі, тощо. Величини цих потужностей характеризуються ККД, шумовою температурою, вхідним опором антени, хвильовим опором фідера, узгодженням в живильному фідері та іншими параметрами.

5. Частотні характеристики визначають зміну основних параметрів антен при зміні частоти. Зміна частоти призводить до зміни спрямованості дії антени та енергетичних характеристик. Коли розглядаються частотні характеристики антенно-фідерних пристроїв, необхідно розрізнити вимоги, які пред'являються до робочого діапазону і смуги частот. Смуга частот, яка необхідна, буде визначатися спектром, переданого антеною сигналу, тобто умовою одночасного випромінювання або прийому антеною заданого спектру частот. Діапазон частот визначається умовою роботи антени послідовно в часі на різних ділянках цього діапазону хвиль, тобто в принципі при зміні робочої частоти радіосистеми допускається синхронне зміна деяких параметрів антени.

6. Характеристики управління антенно-фідерних пристроїв показують зміну спрямованих та інших властивостей антен в процесі роботи.

7. Антенно-фідерний пристрій, також має ряд загально технічних і економічних характеристик, тобто це складність або простота пристрою, маса і габарити, надійність роботи, механічна міцність, вартість, простота, зручність в експлуатації, контроль і ремонт та інші. Всі ці вимоги загального характеру при розробці антенного пристрою є не менш важливим, ніж всі вимоги до електричних характеристик. Виконання їх досягається не тільки відповідними конструктивними рішеннями, технологією виготовлення, застосуванням спеціальних матеріалів, а й вибором схеми побудови пристрою, режиму роботи, тощо. Всі ці основні вимоги до характеристик розроблюваного антенного пристрою в кожному окремому випадку досить різні, а також залежать від призначення. Зі збільшенням обсягу оброблюваної

інформації радіосистеми (з ростом дальності дії, роздільної здатності, точності визначення координат, швидкодії, тощо) зростають, відповідно, вимоги до характеристик антенних пристроїв. Розрахунок і конструювання сучасних антен значно ускладнилося, це сталося через збільшення числа характеристик, які піддаються визначенню, а також прагненню оптимізувати і більш точно розрахувати характеристики антен, вдаючись до знаходження оптимального варіанту антенної системи за заданими вимогами, тим самим збільшується обсяг всіх розрахунків. При розрахунку і проектуванні антенних систем рішення загальної задачі доводиться штучно розділяти на ряд окремих часткових завдань. Відповідно рішення цих задач дає можливість розраховувати характеристики складних антенних систем і шукати варіант антени, який найбільше відповідає поставленим вимогам.

1.2 Класифікація антен НВЧ

В відповідності до прийнятої класифікації антенами надвисоких частот (НВЧ) називають антени, які працюють в діапазоні дециметрових, сантиметрових і міліметрових хвиль (300 МГц – 300 ГГц) [1]. Антени НВЧ за своїми особливостями поділяються на такі типи:

- випромінювачі у вигляді відкритих кінців хвилеводів, а також рупорні антени;
- дзеркальні антени;
- лінзові антени;
- щілинні антени;
- діелектричні стрижневі антени;
- антени поверхневих хвиль;
- антени витікаючої хвилі;
- спіральні антени;
- антенні решітки, в яких випромінювачі можуть бути будь-які з вище перерахованих типів антен.

Також всі типи антен НВЧ у відповідності з принципом дії можна розділяти на:

- апертурні антени;
- антени біжучої хвилі;
- фазовані антенні решітки (ФАР).

Отже, розглянемо антени НВЧ більш докладно. Почнемо з апертурних антен. Апертурні антени – це антени у яких можна виділити плоский фронт, який випромінює хвилі. Він називається апертурою. До апертурних антен відносять хвилеводні та рупорні випромінювачі, дзеркальні і лінзові антени (рис. 1.3).

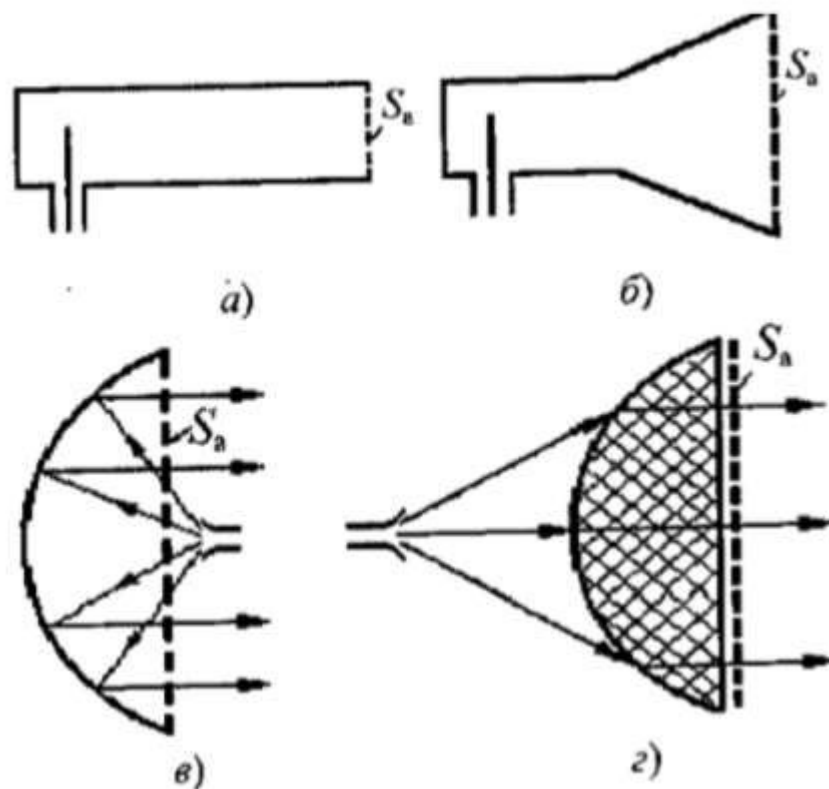


Рисунок 1.3 – Приклади апертурних антен:

а – відкритий кінець хвилеводу; б – рупорна антена; в – дзеркальна антена;

г – лінзова антена

До антен біжучої хвилі відносять безперервні структури, у яких випромінювання електромагнітних хвиль відбувається в процесі поширення уздовж них біжучої хвилі електромагнітного поля або струму. До антен

біжучої хвилі відносяться діелектричні стрижневі антени, антени поверхневих хвиль, циліндричні і конічні спіральні антени, антени витікаючої хвилі.

Розглянемо один з видів антен – фазовані антенні решітки, які складаються з системи одиночних випромінювачів, що об'єднані загальним живленням (системою живлення). В кожному окремому випромінювачі присутній керований фазообертач, який розташований в тракці живлення. Отже, фазовий розподіл струму в випромінювачах решітки і напрямок основної пелюстки діаграми спрямованості може змінюватися за допомогою фазообертача при нерухомій решітці. А в якості окремих випромінювачів в ФАР найбільш часто використовуються щілинні, хвилеводні і рупорні випромінювачі, а також випромінювачі у вигляді діелектричних і спіральних антен [6].

1.2.1 Рупорні антени

Розглянемо, широкосмугові антени докладніше.

До них відноситься, рупорна антена, яка утворюється за допомогою прямокутного або круглого хвилеводу, який розширюється. В результаті розширення прямокутного хвилеводу, в одній площині сформується Н- або Е-секторіальний рупор. Тобто існують Н та Е площині секторіального рупора, це залежить від того в якій площині відбудеться розширення. Якщо ж відбувається розширення хвилеводу в Н та Е площинах одночасно отримаємо пірамідальний рупор. Типи рупорних антен наведені на рис.1.4.

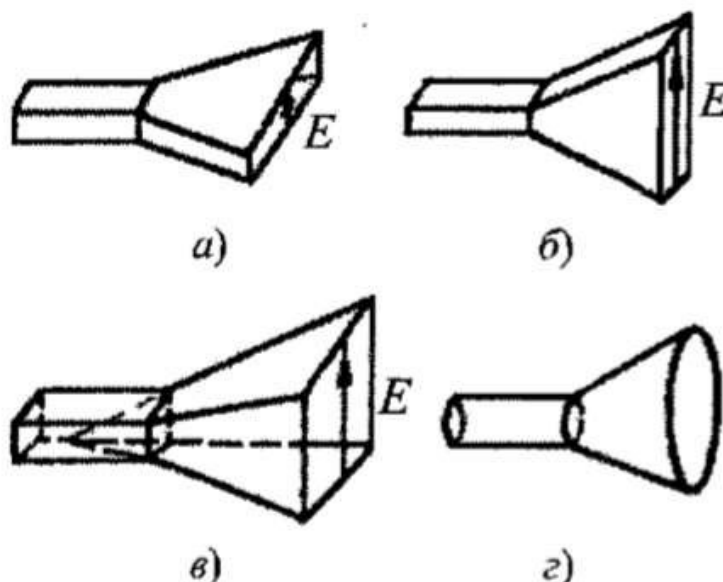


Рисунок 1.4 – Типи рупорних антен:

а – Н-секторіальний; б – Е-секторіальний; в – пірамідальний; г – конічний

На практиці найбільш часто використовуються пірамідальні та секторіальні рупори. Конічні рупори через нестійкість площини поляризації і наявності кросполяризаційних втрат застосовуються рідше. На рис.1.5 зображено поздовжній перетин прямокутного рупора площиною Н. Величина R_H довжина рупора в площині Н, точка O - вершиною рупора в площині Н, 2α - кут розкриття в площині Н, розмір a_p - шириною розкриття рупора в площині Н. Аналогічні параметри вводяться і при перетині рупора площиною Е, причому в загальному випадку $R_E \neq R_H$.

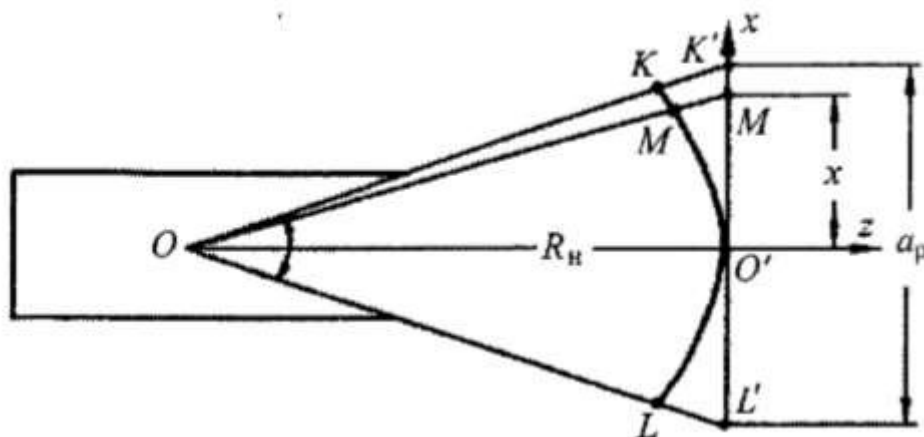


Рисунок 1.5 – Поздовжній перетин прямокутного рупора

Коли вибираємо довжину рупора, яка дорівнює оптимальній, відбувається деяке розширення діаграми спрямованості в порівнянні з діаграмою синфазного розкриття. Ширину діаграми спрямованості рупора з оптимальною довжиною можна визначити за даними таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри рупорної антени

Тип рупора	Ширина діаграми спрямованості в площині Н	Ширина діаграми спрямованості в площині Е
Е-секторіальний	$2\Theta_{0.7}=68^{\circ}\lambda/a_p$	$2\Theta_{0.7}=53^{\circ}\lambda/b_p$
Н-секторіальний	$2\Theta_{0.7}=80^{\circ}\lambda/a_p$	$2\Theta_{0.7}=51^{\circ}\lambda/b_p$
Пірамідальний	$2\Theta_{0.7}=80^{\circ}\lambda/a_p$	$2\Theta_{0.7}=53^{\circ}\lambda/b_p$
Конічний	$2\Theta_{0.7}=60^{\circ}\lambda/a_p$	$2\Theta_{0.7}=70^{\circ}\lambda/b_p$

Отже, рупорні антени можуть використовуватися на практиці, як самостійні спрямовані антени, і в якості опромінювачів дзеркальних і лінзових антен, а також в якості випромінювачів ФАР. Перевагою рупорних антен є простота конструкції і хороші діапазонні властивості. Практично робоча смуга частот рупорних антен обмежується смугою його хвилеводу і становить близько 100%. Вибір досить великої довжини рупора, щоб отримати гостроспрямоване випромінювання, є недоліком рупорних антен, тому що певна довжина рупора буде пропорційна квадрату розмірів розкриття, а ширина діаграми спрямованості обернено пропорційна розмірам розкриття в першого ступеня. Тому для звуження діаграми спрямованості рупорної антени в n раз розмір її апертури повинен бути збільшений в n раз, а довжина рупора – в n^2 раз. У якості прикладу можна навести вигляд сучасної рупорної антени, рис.1.6 [9].

1.2.2 Дзеркальна антена

Дзеркальна антена (рис.1.7) – це сукупність слабонапрямлений опромінювача 1 та металевого відбивача (дзеркала) 2. Форму поверхні дзеркала вибирають так, щоб сферичний фронт хвилі 3, що падає від опромінювача на дзеркало, після відбиття перетворився в плоский фронт хвилі 4. Отже, будуть утворюватися паралельні пучки, які формують гостроспрямовану діаграму спрямованості, якщо розглядати з точки зору геометричній оптики промені, які розходяться від опромінювача, після того, як відбиваються від дзеркала. Існують певні форми дзеркала, а саме форма параболоїда обертання, форма параболічного циліндра, а також антени зі спеціальним профілем дзеркала.



Рисунок 1.6 – Сучасна рупорна антена

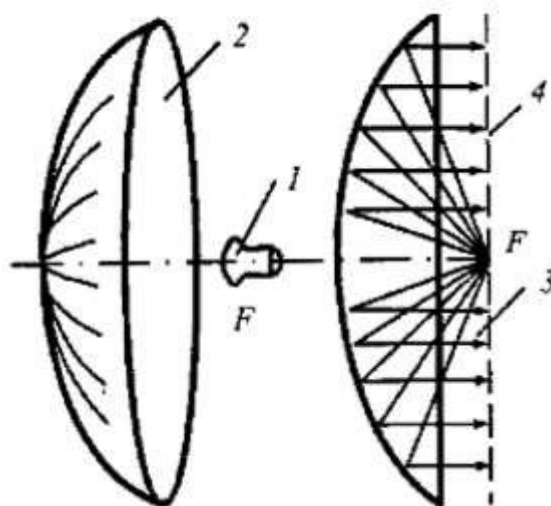


Рисунок 1.7 – Дзеркальна антена у вигляді параболоїда обертання

Отже, в параболоїда обертання опромінювач повинен бути точковим, а в циліндричній параболоїда – лінійним. Необхідно для перетворення сферичного фронту хвилі в плоску поверхню відбивача, щоб поверхня повинна бути частиною поверхні параболоїда обертання. За допомогою осьової симетрії можна це провести для довільної площини, яка проходить через вісь симетрії параболоїда обертання. На рис.1.8 зображена парабола S , яка є геометричним місцем точок, які рівновіддалені від фокусу F і прямої лінії l , яка називається директрисою (тобто для довільної точки M $FM = MN$). Точка O називається вершиною параболи, відрізок OF – фокусною відстанню f .

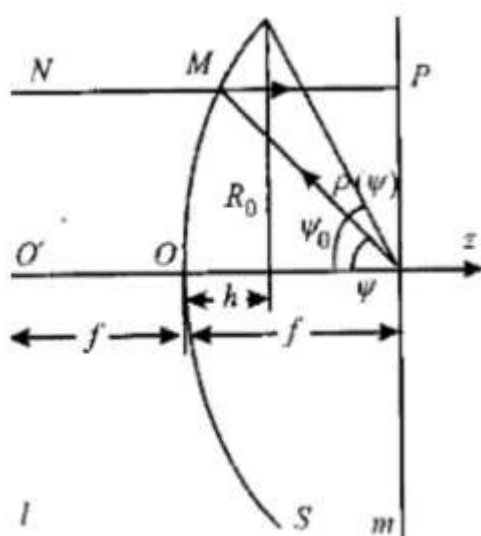


Рисунок 1.8 – Розгляд рівняння профілю дзеркала

Можна провести лінію m , яка буде перпендикулярна OF . Для довільної точки P , що лежить на m , довжина ламаної FMP складе:

$$FM + MP = MN + MP = NP = OF = 2f \quad (1.1)$$

Таким чином, відстань $FMP = 2f$ не залежить від положення точки M на параболі. Отже, сферична хвиля, яка поширюється з точки F , після відбиття від параболоїда обертаня S перетворюється в плоску хвилю, поверхня фази якої збігається з площиною m , перпендикулярній осі параболоїда OF . Можна позначити FM через ρ , співвідношення (1.1) можна записати у вигляді:

$$\rho + \rho \cos \psi = 2f,$$

звідки виходить наступне рівняння для утворюючої параболоїда обертаня в полярній системі координат:

$$\rho(\psi) = 2f / (1 + \cos \psi) \quad (1.2)$$

З рівняння (1.2) випливає, що профіль дзеркальної антени не залежить від частоти. Тому параболічні дзеркальні антени є надзвичайно широкопasmовими пристроями, робоча частота яких в основному визначається смугою частот опромінювача. Сучасна дзеркальна антена зображена на рис.1.9 [9].



Рисунок 1.9 – Сучасна дзеркальна антена

1.2.3 Лінзова антена

Лінзова антена – це сукупність електромагнітної лінзи і опромінювача, рис.1.10.

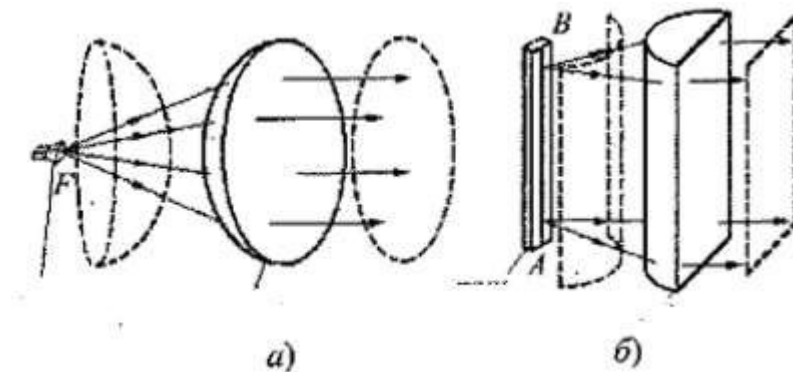


Рисунок 1.10 – Принцип дії лінзових антен:

а – з осесиметричної лінзою; б – з циліндричною лінзою

У гостронаправлених лінзових антенах лінза служить для перетворення сферичного (або циліндричного) фронту хвилі, що падає від слабонаправлених опромінювачів, в плоский фронт після лінзи. Хвидкість хвилі визначається середовищем, в якій фазова швидкість поширення електромагнітних хвиль (U_{ϕ}) відрізняється від швидкості світла c . Якщо $U_{\phi} < c$, то лінза називається уповільнюючою. При $U_{\phi} > c$ лінза називається прискорюючою. Співвідношення швидкості світла до фазової швидкості хвилі в лінзі називається коефіцієнтом заломлення лінзи і позначається $n = c / U_{\phi}$. Збільшення фокусної відстані пов'язано зі збільшенням поздовжнього розміру антени, а більш різка відмінність коефіцієнта заломлення від 1 призводить до зростання відбиття енергії від поверхні лінзи. Отже, на практиці враховується взаємозв'язок між параметрами. Коефіцієнт заломлення вибирається в інтервалі $n = 1,3 \dots 1,6$ для уповільнюючих і в інтервалі $n = 0,5 \dots 0,7$ для прискорюючих лінз, а фокусна відстань вибирається приблизно рівною ширині розкриття лінзи ($f \approx dP$). При цьому товщина лінзи становить кілька десятків відсотків від ширини розкриття, причому прискорюючі лінзи мають досить велику товщину, ніж уповільнюючі. Для зменшення товщини лінз застосовуються спеціальний

спосіб, який називається зонуванням лінз. Сутність його полягає в тому, що освітлену частину лінзи роблять ступінчастою (рис.1.11).

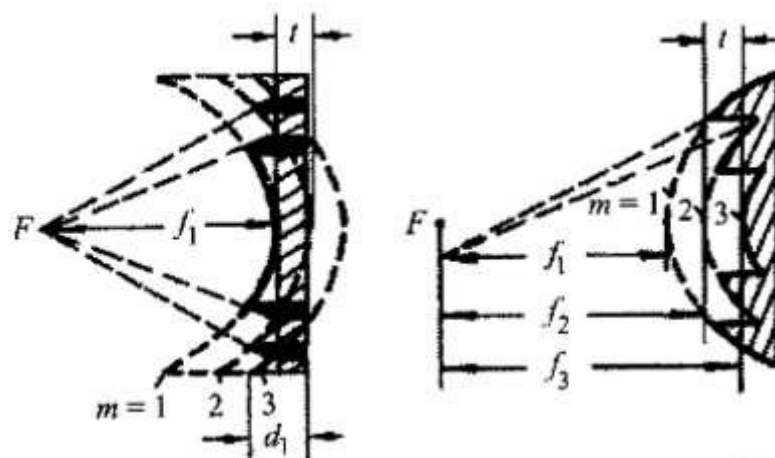


Рисунок 1.11 – Зоновані прискорююча і сповільнююча лінзи

Поверхня лінзи між сусідніми сходишками називають зоною. Глибину сходинок t зазвичай вибирають такою, щоб електричні довжини шляху від фокуса лінзи до двох довільних точок в розкриві лінзи, що характеризуються тим, що промені потрапляють в них, проходячи через сусідні зони, відрізнялися на 2π радіан. При цьому синфазність поля в розкриві лінзи не порушується. Загальний вигляд сучасної лінзової антени наведено на рис.1.12 [15].



Рисунок 1.12 – Сучасна лінзова антена

1.2.4 Широкопсмугова антена у вигляді плаского симетричного вібратора

На сьогодні існує проблема випромінювання та прийому надширокопсмугових сигналів, спектр яких має смугу частот в двох октавах і більше. Для того, щоб випромінювати і приймати широкопсмугові сигнали з мінімальними спотвореннями антенні системи повинні мати смугу пропускання, яка порівнянна з смугою частот, що займає спектр сигналу. Смуга пропускання антени – це інтервал частот, в якому характеристики антени, що визначають її працездатність, залишаються незмінними або змінюються в допустимих межах: напрямки максимумів і форми діаграм спрямованості, наявність і стабільність фазового центру, поляризаційна характеристика, вхідний імпеданс або ступінь узгодження з фідером. Одним з необхідних умов є невеликі розміри антен, для того, щоб можливо було її використовувати в якості антенних елементів широкопсмугових скануючих антенних решіток, які повинні виключати виникнення вторинних інтерференційних максимумів діаграм спрямованості, тим самим відстані між елементами решітки не повинні перевищувати половину довжини хвилі на верхній частоті робочого діапазону. Отже, діапазон робочих частот скануючої антеної решітки буде визначатися мінімально допустимим відстанню між усіма елементами, яке завжди приймається рівним розміру антенного елемента.

Існує необхідність зменшити електричні розміри антени і розширити смугу пропускання в бік нижніх частот, але без погіршення ефективності антени. Найпростіший спосіб зменшити реактивну енергію в ближній зоні короткого випромінювача полягає в тому, щоб збільшити його поперечні розміри, тобто виключити з ближньої зони деякий об'єм, де щільність реактивної енергії максимальна. Це дозволить суттєво зменшити частотну залежність вхідного імпедансу випромінювача, але все ж повністю виключити її таким чином не вийде. Отже, розглянемо широкопсмугову антену, яка складається з плаского несиметричного вібратора, що має вигляд

металевої прямокутної пластини, встановленої перпендикулярно провідній поверхні та утворюючій протывагу; засобів для підключення коаксіального. Істотними недоліками даного типу антени будуть відсутність спрямованості в Н-площині і недостатньо широка смуга частот, де буде зберігатися форма діаграми спрямованості та великі габарити антени, через те що розміри протываги повинні бути не менше $1/2$ максимальної робочої довжини хвилі. Пластина вібратора виконана у вигляді квадратної форми і обрано розмір пластини протываги, який перевищує розмір сторони квадрата приблизно в три рази. Такий вибір забезпечує оптимальне співвідношення електричного і магнітного моментів конструктивних складових антени в смузі частот не менше двох октав. На рис.1.13 зображена розглянута широкопasmова антена.

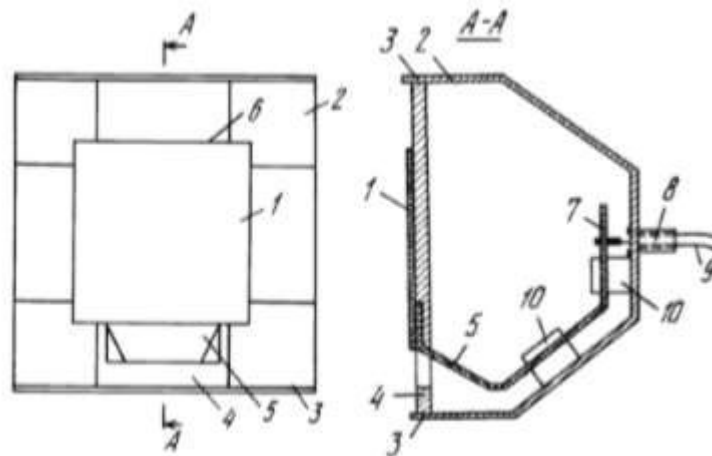


Рисунок 1.13 – Широкопasmова антена

Дана широкопasmова антена складається з несиметричного вібратора 1, який виконаний у вигляді пластини квадратної форми, протываги 2, яка виконана у вигляді прямокутної пластини, вигнутої в площині, яка ортогональна пластині вібратора, своєю довгою (першою) стороною по напрямлюючій у вигляді половини правильного восьмикутника. Пластина вібратора 1 розташована в площині, що проходить через кромки 3 другої сторони пластини протываги 2. Саме таке розташування пластини вібратора 1 забезпечується тримачем 4, який виконаний, як пластина з діелектрика, та розташований в області кромки 3 пластини протываги 2. Пластина вібратора

1, прикріплена до поверхні пластини-тримача 4 за допомогою клею або гвинтів. Пластина-тримач 4 своїми протилежними кромками таким же чином скріплена з пластиною противаги 2 в області її кромки 3. Антена також має 5 смужок, з'єднаних з одною з кромки 6 пластини вібратора 1, яка розташована над поверхнею пластини противаги 2 і зігнутої поздовжньо цієї поверхні. Смужка 5 і частина пластини противаги 2 в якості підкладки утворюють несиметричну полоскову лінію, яка завершується полосково-коаксіальним переходом 7 і роз'ємом 8 для підключення коаксіального кабелю 9. Висота і положення смужки 5 над підкладкою фіксується діелектричними прокладками 10 прикріпленими до поверхні пластини противаги 2 клеєм або гвинтами і до смужки 5 за допомогою паза (не показано). Отже, полоскова лінія, яка вказана, утворює місце для підключення вібратора і противаги до лінії передачі. У такому конструктивному виконанні широкопasmової антени, довжина сторони пластини вібратора 1 становить $1/10$ заданої максимальної робочої довжини хвилі. Ширина і довжина цієї прямокутної пластини противаги 2 становитимуть три і два розміри пластини вібратора. Ці розміри пластини вібратора 1 складають приблизно три довжини пластини вібратора для виключення резонансних явищ в смuzі пропускання (не менш двох октав). Всі вимірювання генеруються в смuzі частот не менше двох октав, одночасно на нижній частоті розмір вібратора не перевищує $0,1$ довжини хвилі. Якщо використовувати цю широкопasmовий антену у вигляді випромінювача надширокопasmових сигналів можна зробити висновок, що при подачі на її вхід біполярного імпульсу тривалістю 2 нс більше 90% енергії буде зосереджено в смuzі частот $200 - 1200$ МГц. Тоді випромінюється не менше 80% енергії імпульсу і тривалість його збільшується не більше, ніж на 30%.

Подібна конструкція може використовуватись у якості широкопasmової телевізійної антени, дециметрового діапазону. Тоді її розміри будуть $150 \times 150 \times 80$ мм. Дослідження показують, що в умовах міста антена забезпечує впевнений прийом телевізійних програм 3, 4 і 5 діапазонів ($170 - 790$ МГц).

1.2.5 Антена TSA

Нині в техніці НВЧ широко застосовуються неоднорідні щілинні антени біжучої хвилі (рис.1.14). Перевагою таких антен, які ще називають антенами Вівальді незалежно від форми розкриття, є широкий робочий діапазон частот і можливість інтегрування з активними і пасивними елементами. При розрахунку таких антен важливо мати алгоритм, що дозволяє швидко оцінити імпедансні характеристики випромінювача та методику, яка дозволяє проводити попередню оцінку робочої смуги обраної геометрії розкриття випромінювача. Електродинамічний аналіз виконується в цьому випадку тільки для оптимального варіанту [14]. Виходячи з цього, дуже важливою метою в даний час є створення випромінювачів для надкороткоімпульсних та надширокосмугових решіток. Використання даних антен на основі антени Вівальді, які можна порівняти з даною широкою смугою за погодженням і характеристикам графіка спрямованості. Дослідження модифікованої антени Вівальді в складі антенних решіток показали, що конфігурація таких випромінювачів дала можливість забезпечувати надійне широкосмугове узгодження і постійні показники спрямованості в діапазоні частот 8.5 – 10.2 ГГц [12].

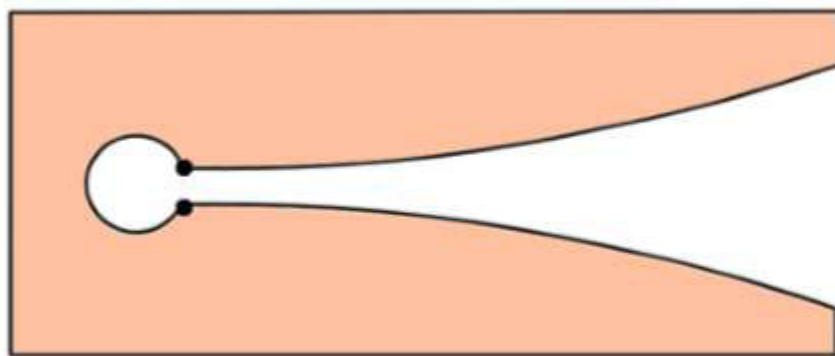


Рисунок 1.14 – Антена Вівальді

Таким чином, модифікована антена Вівальді дозволяє створювати на її базі друковані антенні решітки, забезпечуючи при цьому сумісність елемента

в складі решітки при сильному зменшенні рівня взаємних зв'язків з сусідніми випромінювачами і стабільності ДН.

Розглянемо властивості надширокосмугової планарної антени TSA (англ. Tapered Slot Antenna – антена зі щілиною, яка розширюється), форма якої нагадує камертон або музичний інструмент, тому TSA через цю музичну асоціацію ще називають антеною Вівальді. Вона виконується з плоского металевого листа. Антена Вівальді зображена на рис.1.15. Точками відзначаються місця, куди підключаються джерела [14].

Оптимізація розмірів і форми антени TSA проводиться методами комп'ютерного моделювання, що дозволяє варіювати різноманітністю форм і пропорції, в залежності від конкретного завдання. Можна відмітити закономірності в TSA:

1. Нижню границю робочої частоти визначає ширина щілини;
2. Довжина антени відповідає за підсилення в середині робочої смуги та на верхньому краї робочої смуги;
3. Смугу робочих частот визначає форма (закон за яким змінюється розмір щілини);
4. За підсилення в середині робочої смуги та на верхньому краю робочої смуги відповідає форма розімкнутої щілини;
5. На реактивну складову вхідного опору впливають розміри і форма отвору праворуч від точки живлення.

1.3 Висновок до першого розділу

Огляд реальних конструкцій широкосмугових випромінюючих пристроїв показав, що вони за звичай мають великі геометричні розміри. Другою особливістю таких антен є те, що в них не завжди забезпечується достатнє узгодження з кабелем живлення у всьому робочому діапазоні частот. Тому існує потреба у створенні ефективних компактних широкосмугових випромінюючих пристроїв.

1.4 Постановка задачі до другого розділу

Виходячи з викладеного вище можна сформулювати мету кваліфікаційної роботи ступеню бакалавр.

Метою роботи є розробка випромінюючого пристрою для широкосмугових систем зв'язку.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

1. Побудувати модель широкосмугового випромінювача, що складається з декількох складових елементів.
2. Розрахувати основні характеристик випромінювача в діапазоні частот 0.5 – 3 ГГц.
3. Розробити рекомендації з вибору оптимальних геометричних розмірів складових елементів антени по критерію забезпечення максимального узгодження антени в діапазоні 0.5 – 3 ГГц.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Побудова антенного елемента

Пакет HFSS Ansoft (High Frequency Structural Simulator) призначений для моделювання антен та СВЧ-пристроїв, а також розрахунку їх характеристик, таких як коефіцієнт підсилення, коефіцієнт відбиття, тривимірні діаграми спрямованості, двовимірні діаграми спрямованості, КСХ (коефіцієнт стоячої хвилі), тощо [5]. Перед дослідженням необхідно намалювати модель, встановити частотний діапазон для аналізу (таб.2.1), задати матеріали для всіх складових антенного елемента, задати порт, а також всі граничні умови на поверхнях (таб.2.2).

Таблиця 2.1 – Вихідні дані антенного елемента

показники	чисельні значення
Габарити антенного елемента	Не більше $210 \times 170 \times 2$ мм
Смуга пропускання	0,5 ГГц – 3 ГГц
Коефіцієнт стоячої хвилі	$КСХ \leq 2,5$
Відносна діелектрична проникність підкладки	$\varepsilon = 4,4$
Тангенс кута діелектричних втрат	$\tan \delta = 0,001$

Отже, геометрія антенного елемента наведена на рис.2.1. Антена являє собою пластину фольгованого склотекстоліту, розміри вихідної моделі $200 \times 160 \times 2$ мм, на ній друкованим способом сформований вигнутий монополь (1), що направляє хвилю. Монополь закріплений на мідному куточку (2), а ділянка, яка вільна від металу буде випромінювачем магнітного типу (3). Неоднорідна щільна лінія (4) слугує трансформатором опорів. У пакеті HFSS Ansoft у якості джерела збудження використовується дискретний порт (5) (рис.2.2). Через порт забезпечується введення сигналів збудження і сигнали виводяться з моделі. Необхідно відзначити, що всі значення

антенного елемента в програмі виражені параметрично для зручності оптимізації конструкції в подальшому.

Таблиця 2.2 – Граничні умови і матеріал елементів

Найменування	Граничні умови	матеріал
підкладка		FR4-ероку (фольгований склотекстоліт)
вигнутий монополь	Finite Conductivity (кінцева провідність)	
порт	Lumped port (зосереджений порт)	
металеві куточки		Copper (мідь)
Навколишній простір антенного елемента	Radiation (випромінювання)	Air (повітря)

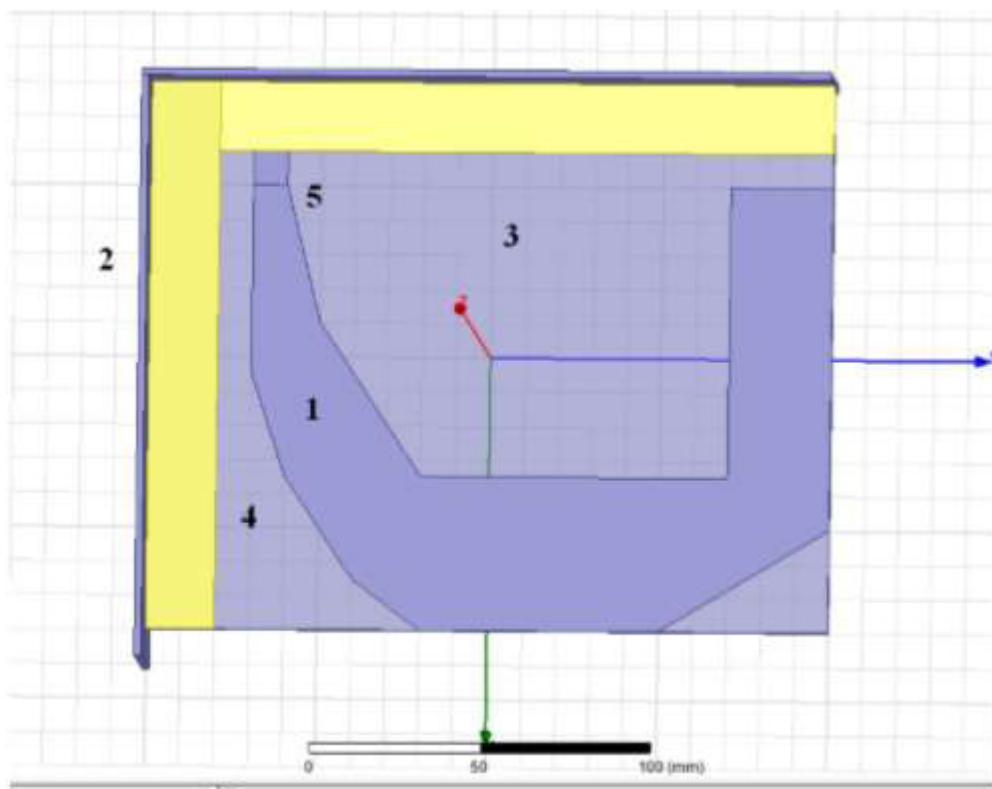


Рисунок 2.1 – Антенний елемент:

- 1 – монополь; 2 – металевий куточок; 3 – випромінювач магнітного типу;
4 – щілинна лінія; 5 – дискретний порт

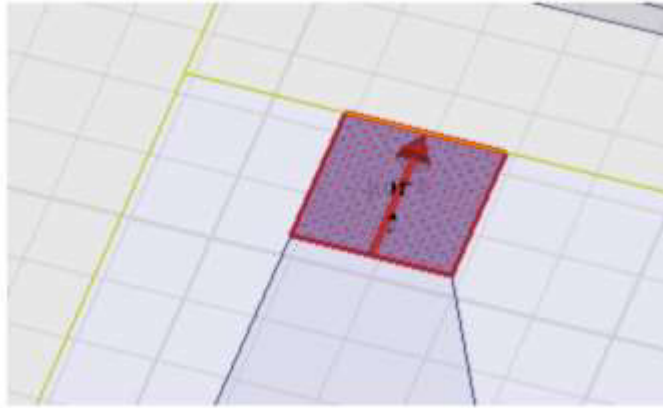


Рисунок 2.2 – Дискретний порт

Також, необхідно врахувати, що різні електродинамічні параметри мають різні швидкості збіжності, отже, потрібно критично ставитися до результатів, що обраховує програма, а також контролювати їх точність, необхідно чітко оцінювати якість розбиття на осередки. У нашому випадку потрібно враховувати складність конструкції та невеликі розміри досліджуваного антенного елемента. Необхідно розрахувати характеристики даного антенного елемента, тому слід його оточити повітряним простором, а також вказати тип його поверхонь на яких буде інтегруватися поле антенного елемента. Оберемо для оточення нашого антенного елемента - повітря (рис.2.3). Через те що аналіз антенного елемента буде виконуватися в діапазоні частот від 0,5 ГГц до 3 ГГц, мінімальна відстань між стінками повітряного простору і випромінюючою апертурою має приблизно дорівнювати $\lambda / 2 - \lambda / 4$ на центральній частоті. (рис.2.4).

Також необхідно розбити навколишній простір антенного елемента на елементарні осередки, а саме тетраєдри. Для точного рішення методом кінцевих елементів, необхідно щоб довжина сторони тетраедра не перевищувала $\lambda / 10$ (рис.2.4 – 2.6).

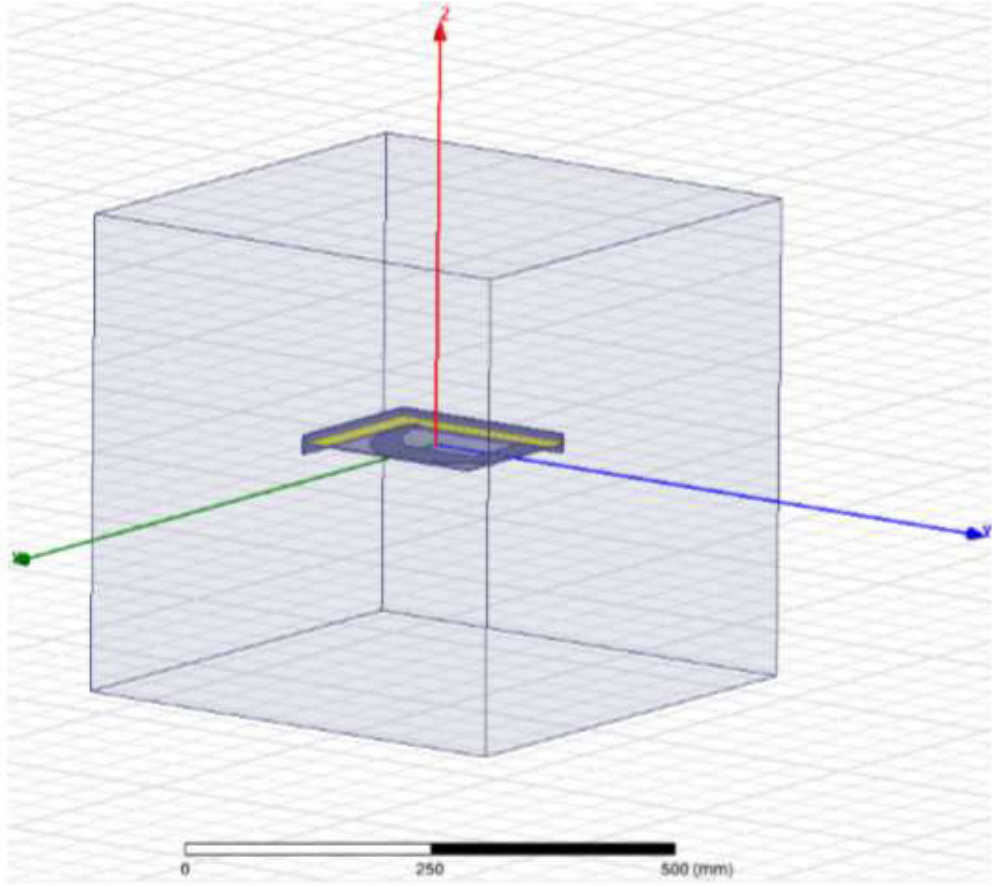


Рисунок 2.3 – Навколишній простір антенного елемента

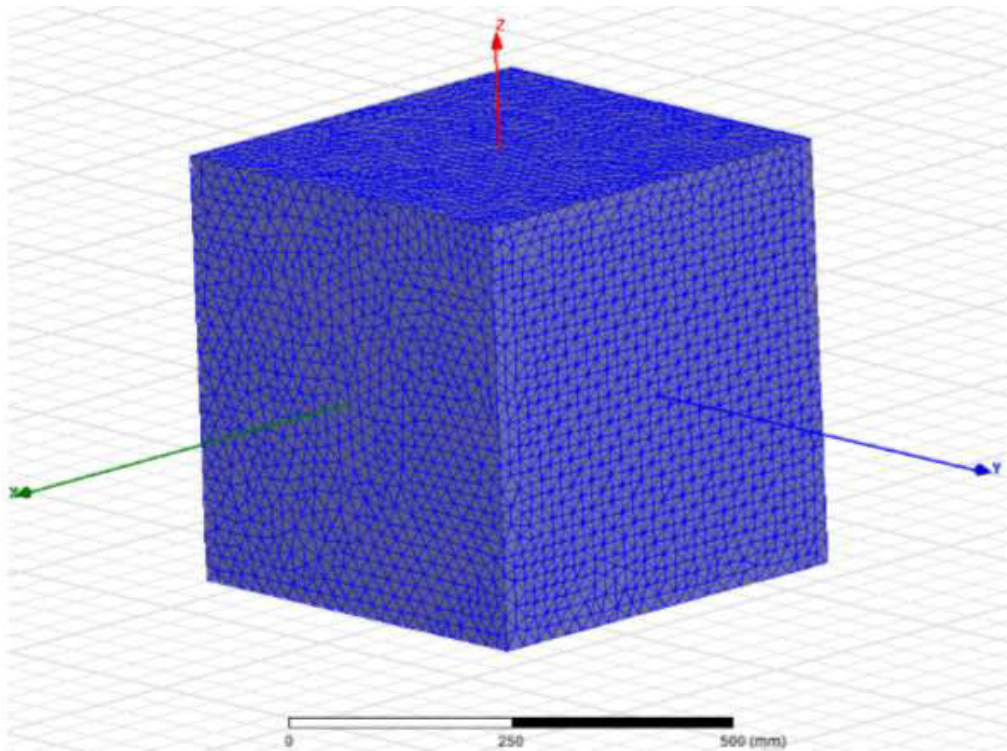


Рисунок 2.4 – Розбиття простору на елементарні осередки (тетраедри)

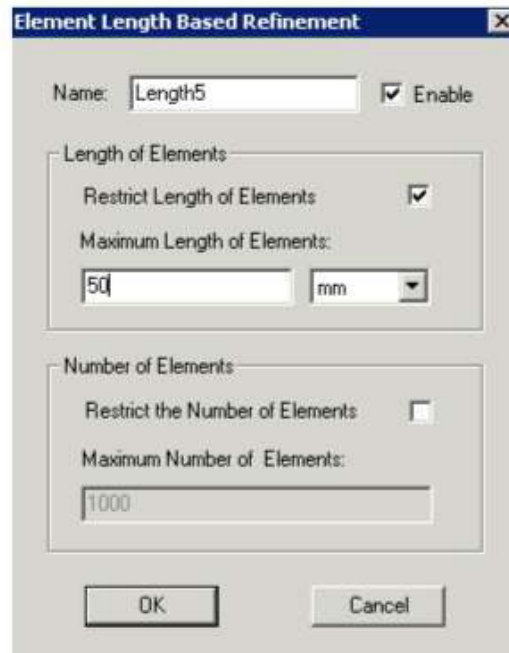


Рисунок 2.5 – Відстань між тетраедрами

На рис.2.6 показана збіжність даного процесу, це підтверджує зелена галочка у верхній частині вікна і CONVERGED (збіжність) внизу вікна.

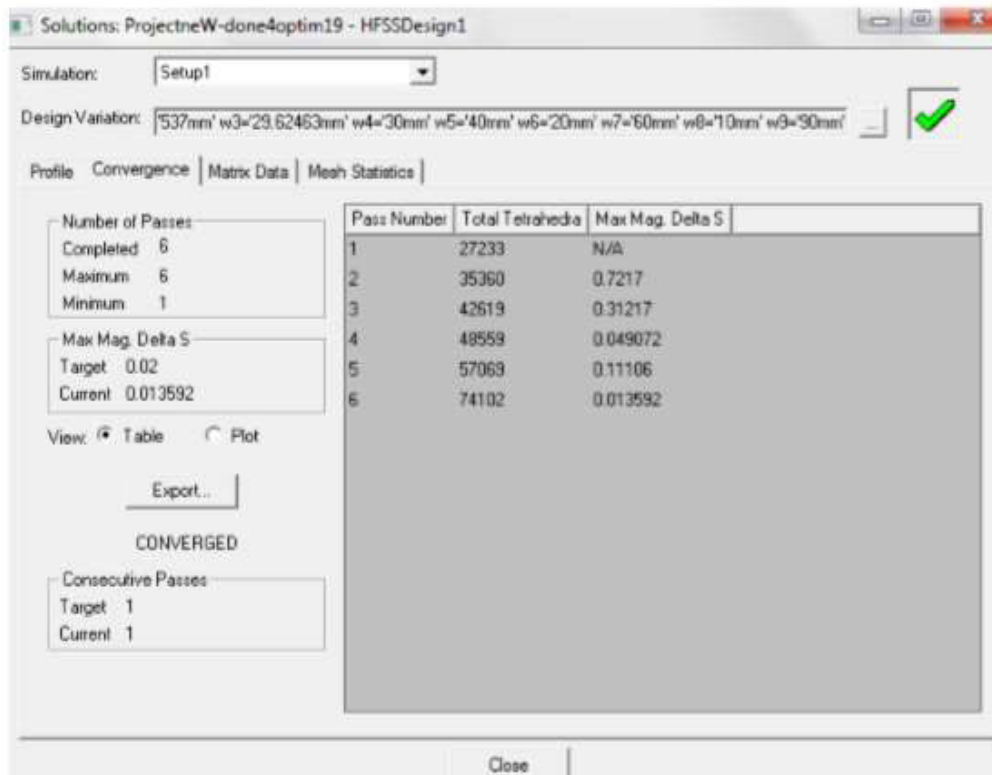


Рисунок 2.6 – Збіжність методу розрахунку

Після того, як була накреслена модель, проводимо перевірку створеного проекту чи наявності помилок, а також коректності завдання граничних умов і визначення порту, правильні установки параметрів для вирішення завдання (рис.2.7).

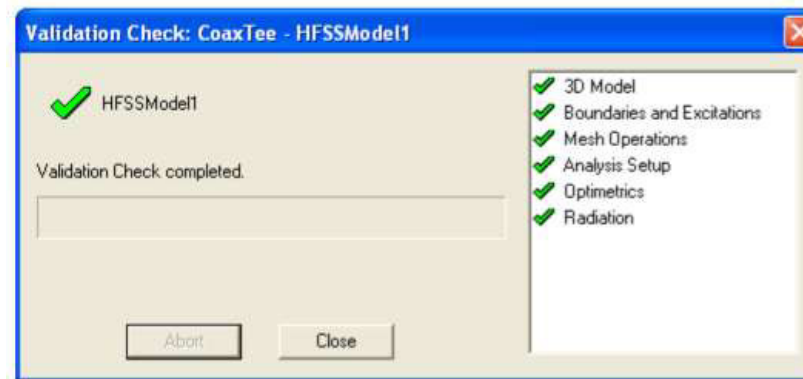


Рисунок 2.7 – Результат перевірки

Отже, видно що помилки відсутні.

Після моделювання отримано графік КСХ, який зображений на рис.2.8. Діаграми спрямованості тривимірні (3D) та двовимірні (Двохвимірні) на частоті 3 ГГц наведено на рис.2.9, 2.10.

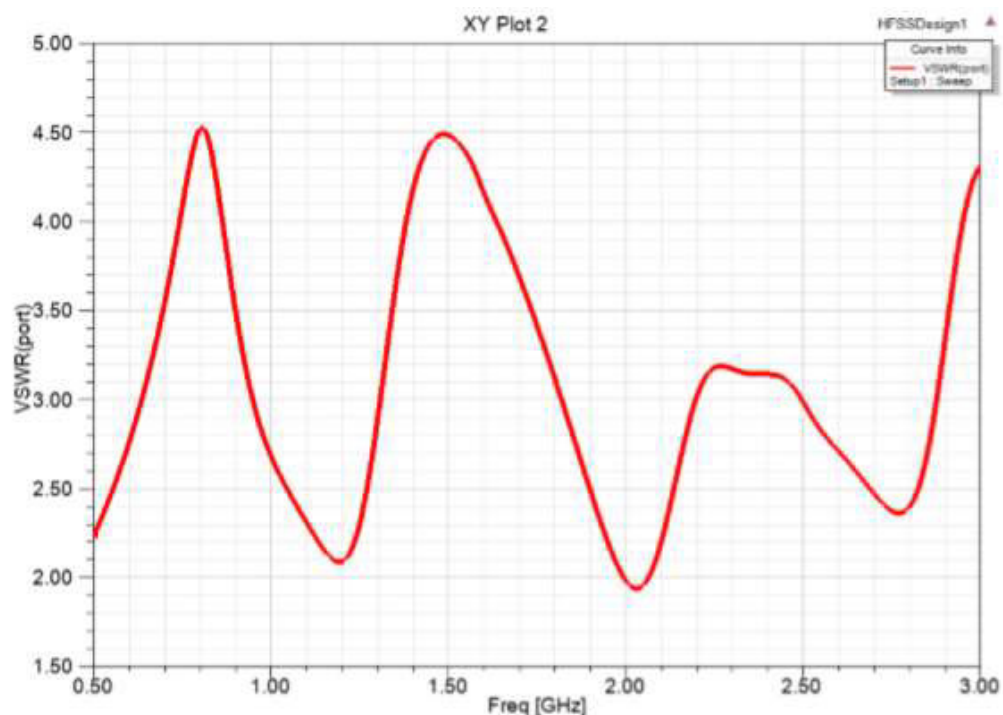


Рисунок 2.8 – Залежність КСХ антенного елемента від частоти

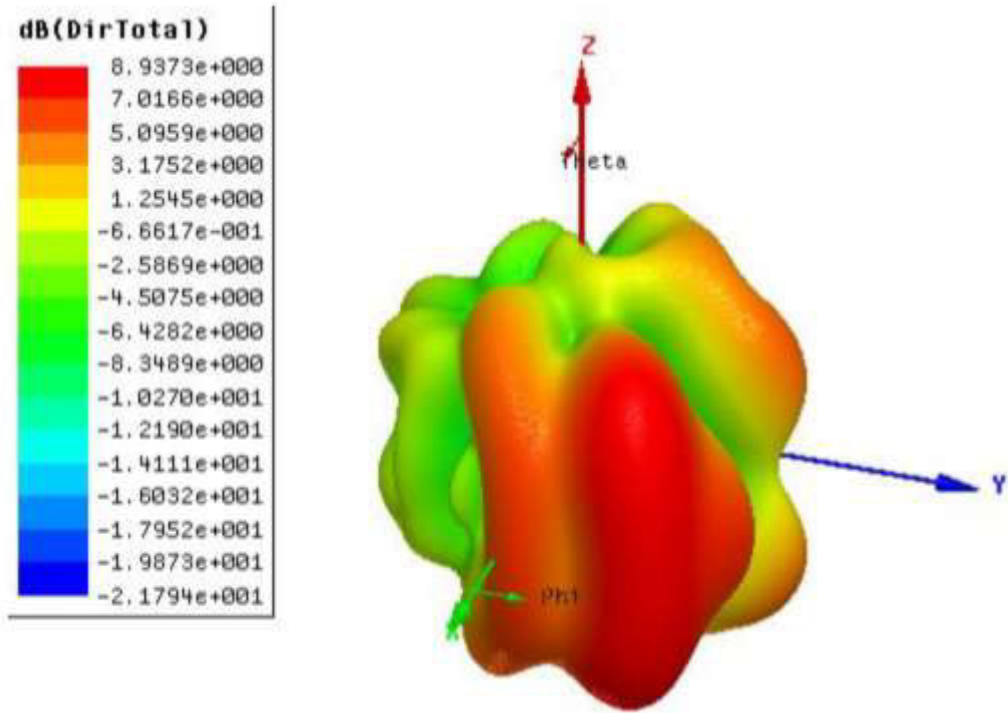


Рисунок 2.9 – Тривимірна діаграма спрямованості на частоті 3 ГГц

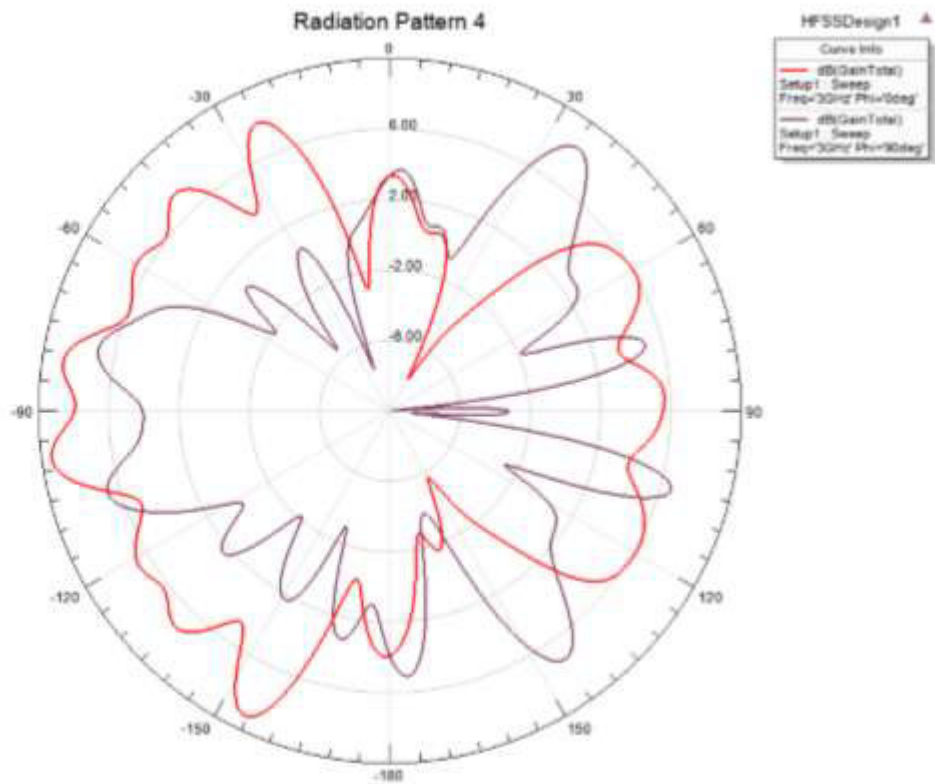


Рисунок 2.10 – Двовимірна діаграма спрямованості на частоті 3 ГГц

Відомо, що для більшості антен бажано щоб КСХ не перевищувало 2.5, але розрахунки показують що КСХ досягає 4.5. Це є істотним перевищенням, , отже, виникає потреба в оптимізації даного антенного елемента, щоб КСХ було не більше 2.5.

2.2 Оптимізація антенного елемента

Пакет HFSS Ansoft дає можливість оптимізації вихідної структури для досягнення найкращих результатів за допомогою зміни геометричних розмірів моделі. Це призводить до зміни параметрів моделі. В деяких випадках існує потреба зміни матеріалів окремих елементів та граничних умов.

Оптимізуємо безпосередньо саму конструкцію антенного елемента. Необхідно з'ясувати, який елемент або параметр впливає на зміну КСХ та ДС. Для цього все числові значення нашої конструкції будемо виражати параметрично (рис.2.11). Будемо змінювати всі параметри по чергово. Необхідно врахувати, що при побудові і проектуванні антени одним з головних вимог було забезпечення найкращого узгодження в смузі частот.

На зменшення величини КСХ може вплинути щілинна лінія яка розташована в конструкції зліва. Отже, будемо по черзі змінювати всі параметри і спостерігати, як буде змінюватися КСХ та ДС. Загальний вигляд зміненої конструкції антенного елемента наведено на рис.2.12.

Після виконання процедури оптимізації отримані графіки КСХ та ДС, які зображені на рис.2.13 – 2.15).

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Name	Value	Unit	Evaluated Value
a	160	mm	160mm	l10	90	mm	90mm
w4	15	mm	15mm	l7	10	mm	10mm
w5	30	mm	30mm	l8	10	mm	10mm
w6	30	mm	30mm	l9	30	mm	30mm
w7	50	mm	50mm	w10	90	mm	90mm
b	200	mm	200mm	w9	90	mm	90mm
l6	10	mm	10mm	w8	10	mm	10mm
w	20	mm	20mm	aa	90	mm	90mm
n	2.002	mm	2.002mm	ab	-100	mm	-100mm
l5	10	mm	10mm	ac	-8.5	mm	-8.5mm
l4	20	mm	20mm	ad	-170	mm	-170mm
l3	50	mm	50mm	ai	-2	mm	-2mm
l1	50	mm	50mm	af	20	mm	20mm
w3	30	mm	30mm	ba	-80	mm	-80mm
w1	10	mm	10mm	bb	-102	mm	-102mm

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Name	Value	Unit	Evaluated Value
bb	-102	mm	-102mm	dd	500	mm	500mm
bc	-8.5	mm	-8.5mm	di	-500	mm	-500mm
bd	-2	mm	-2mm	df	500	mm	500mm
bi	202	mm	202mm	fa	80	mm	80mm
bf	20	mm	20mm	fb	-100	mm	-100mm
ca	-80	mm	-80mm	fc	2	mm	2mm
cb	-100	mm	-100mm	fd	-160	mm	-160mm
cc	0	mm	0mm	fi	20	mm	20mm
cd	160	mm	160mm	ga	-80	mm	-80mm
ci	200	mm	200mm	gb	-80	mm	-80mm
cf	2	mm	2mm	gc	2	mm	2mm
da	-250	mm	-250mm	gd	20	mm	20mm
db	250	mm	250mm	gi	180	mm	180mm
dc	-250	mm	-250mm	ha	10.0...	mm	10.0000001mm
dd	500	mm	500mm	hb	10	mm	10mm

Рисунок 2.11 – Параметры антенного элемента

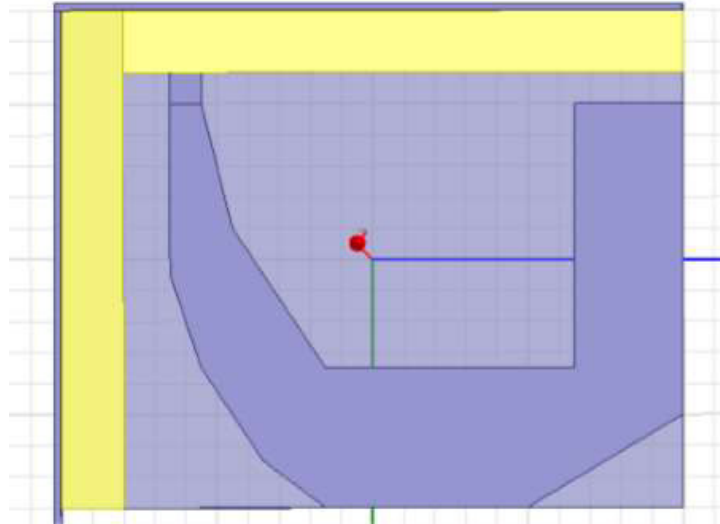


Рисунок 2.12 – Конструкція зі збільшеною щілиною зліва

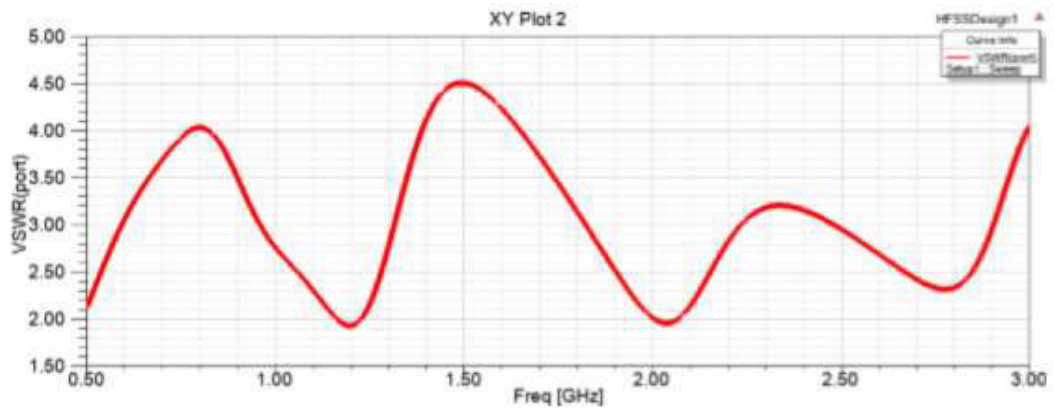


Рисунок 2.13 – Залежність КСХ антенного елемента від частоти

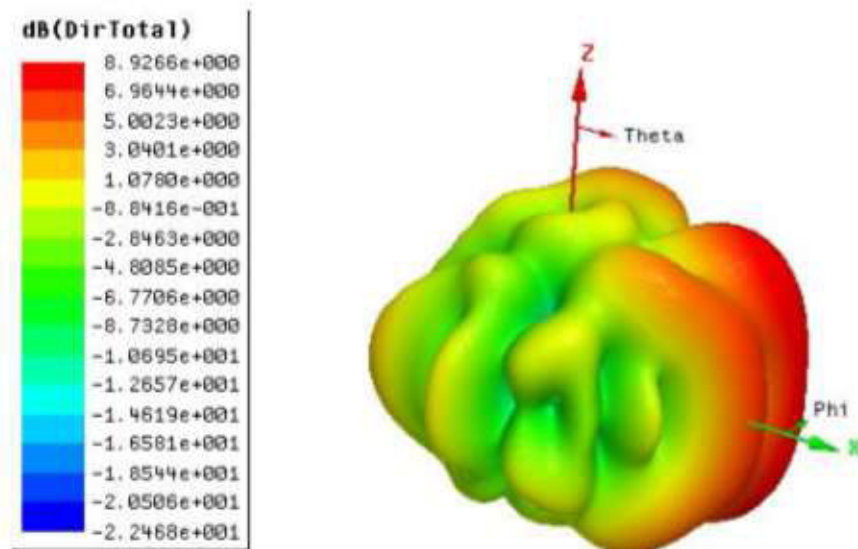


Рисунок 2.14 – Трьохвимірна діаграма спрямованості на частоті 3ГГц

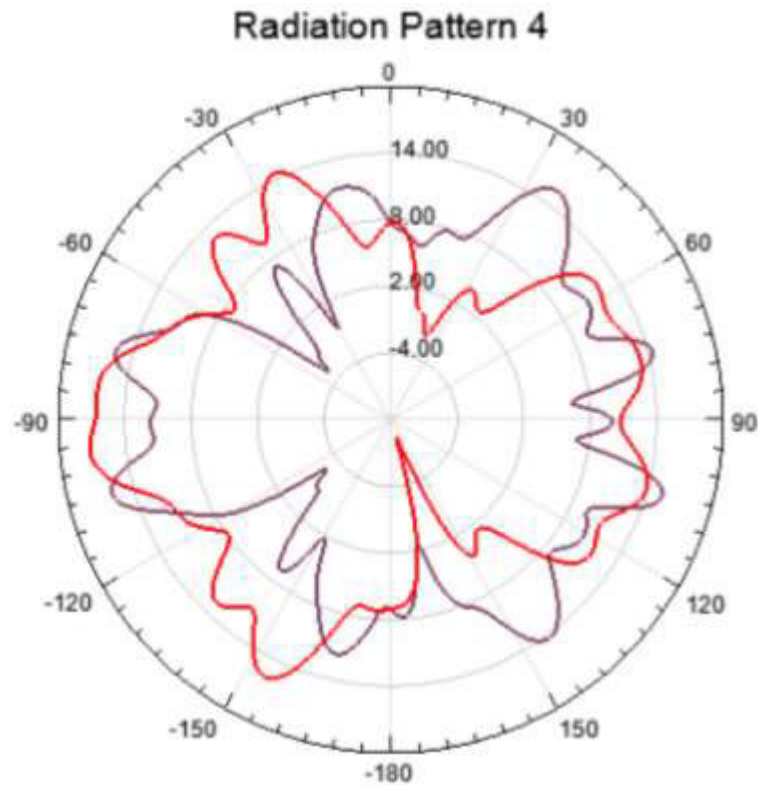


Рисунок 2.15 – Двовимірна діаграма спрямованості на частоті 3 ГГц

Можна помітити, що після збільшення щілини з лівого боку на графіках відбуваються зміни хоч і незначні. Перший пік на графіку КСХ зменшується на 0,2. При цьому коефіцієнт підсилення знижується з 8,937 дБ до 8,926 дБ (на 0,011 дБ).

Зміна щілинної лінії з правого боку може дати необхідні позитивні наслідки. Дана змінена конструкція антени зображена на рис.2.16. Для даної конструкції графік КСХ та ДС представлено на рис.2.17 – 2.19.

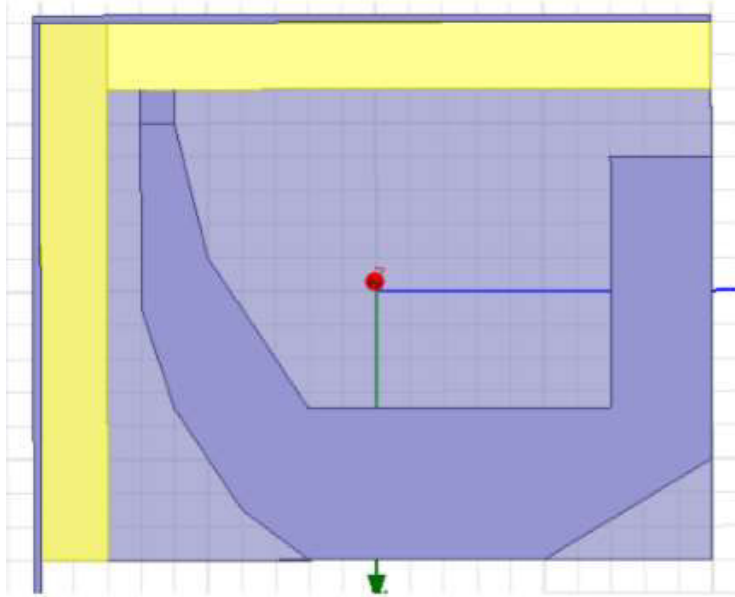


Рисунок 2.16 – Конструкція зі збільшеною щілиною справа

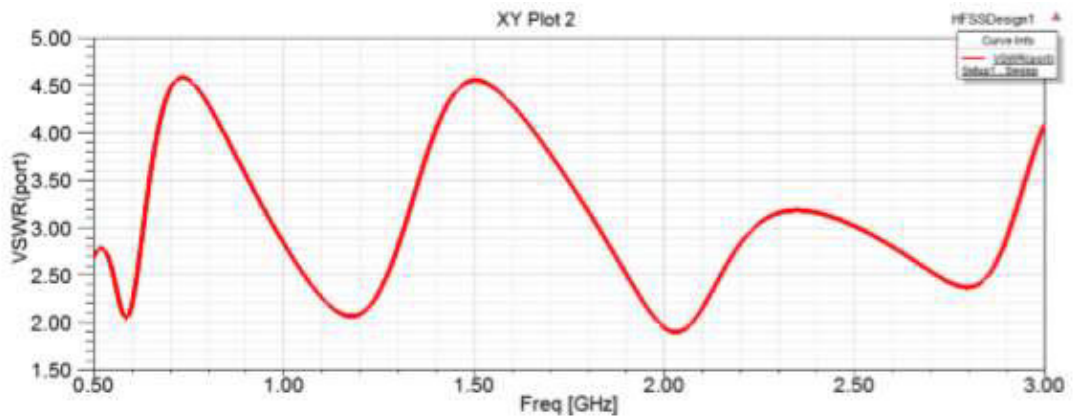


Рисунок 2.17 – Залежність КСХ антенного елемента від частоти

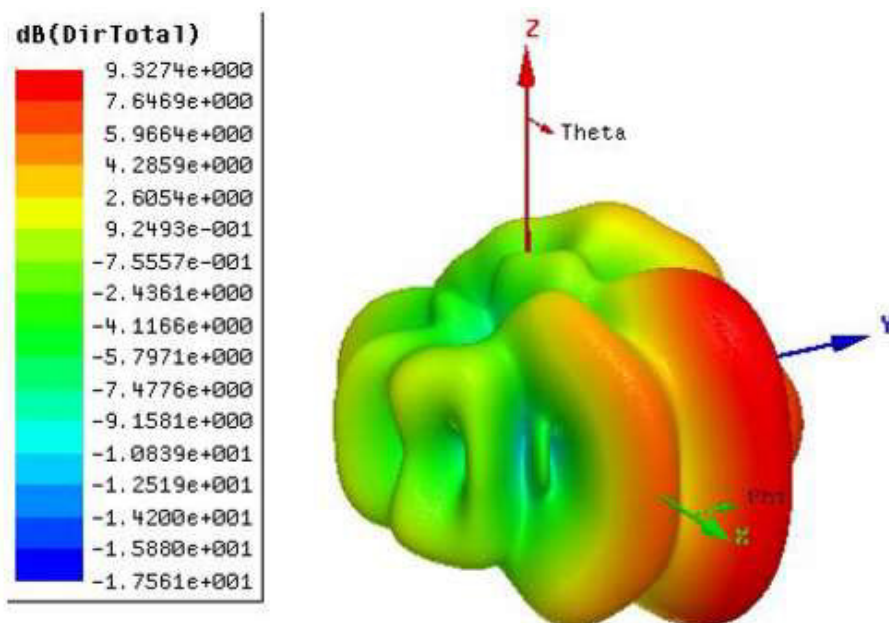


Рисунок 2.18 – Трьохвимірна діаграма спрямованості на частоті 3 ГГц

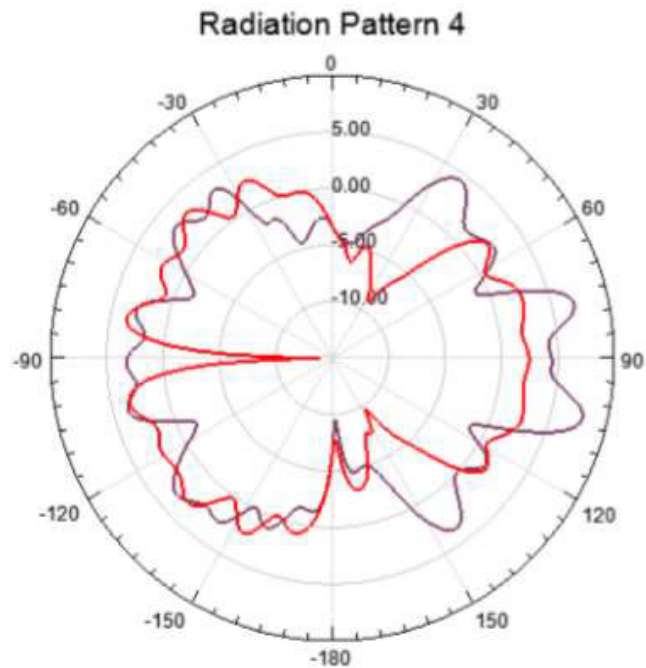


Рисунок 2.19 – Двовимірна діаграма спрямованості на частоті 3 ГГц

Подальша зміна конструкції антени призводить до збільшення коефіцієнта підсилення з 8,937 дБ до 9,327 дБ (на 0,239 дБ), але як і раніше КСХ не зменшується.

З іншого боку збільшення розміру монополя призводить до необхідної позитивної тенденції. Змінена конструкція антенного елемента приведена на рис.2.20. Графіки КСХ та ДС для цього випадку наведено на рис.2.21 – 2.23.

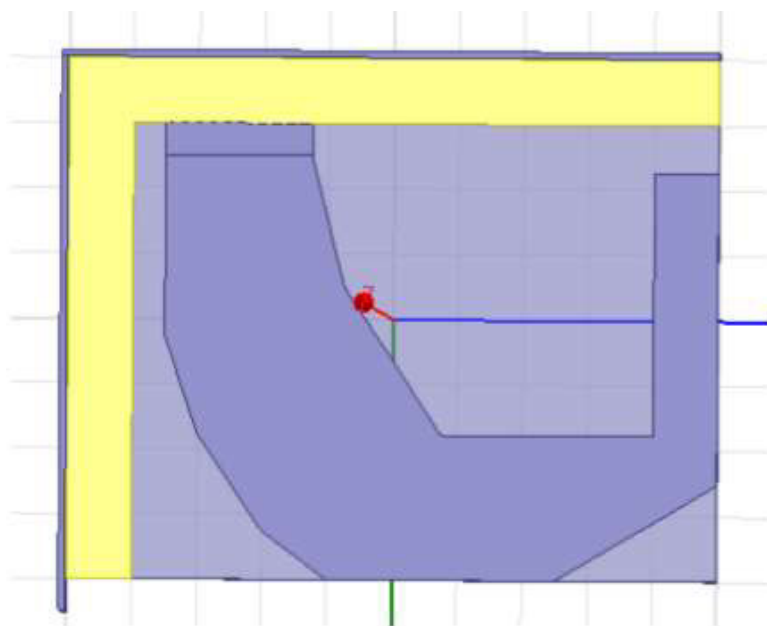


Рисунок 2.20 – Конструкція антени зі збільшеним портом

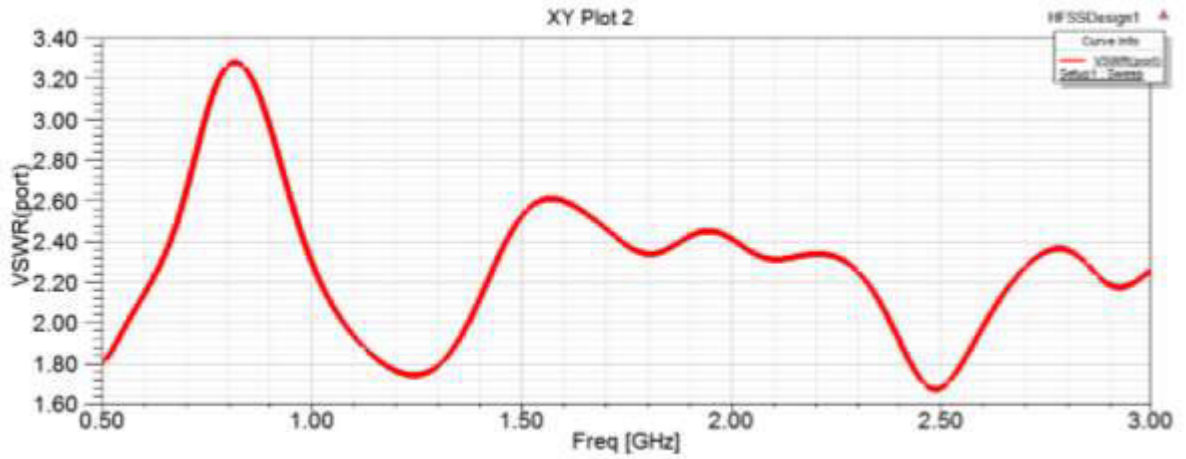


Рисунок 2.21 – Залежність КСХ антенного елемента від частоти

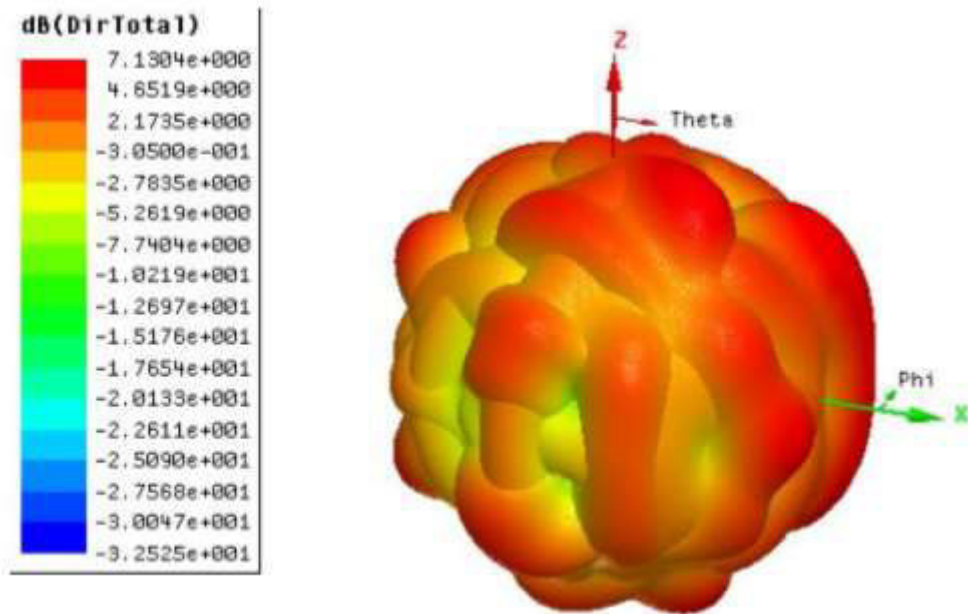


Рисунок 2.22 – Трьохвимірна діаграма спрямованості на частоті 3 ГГц

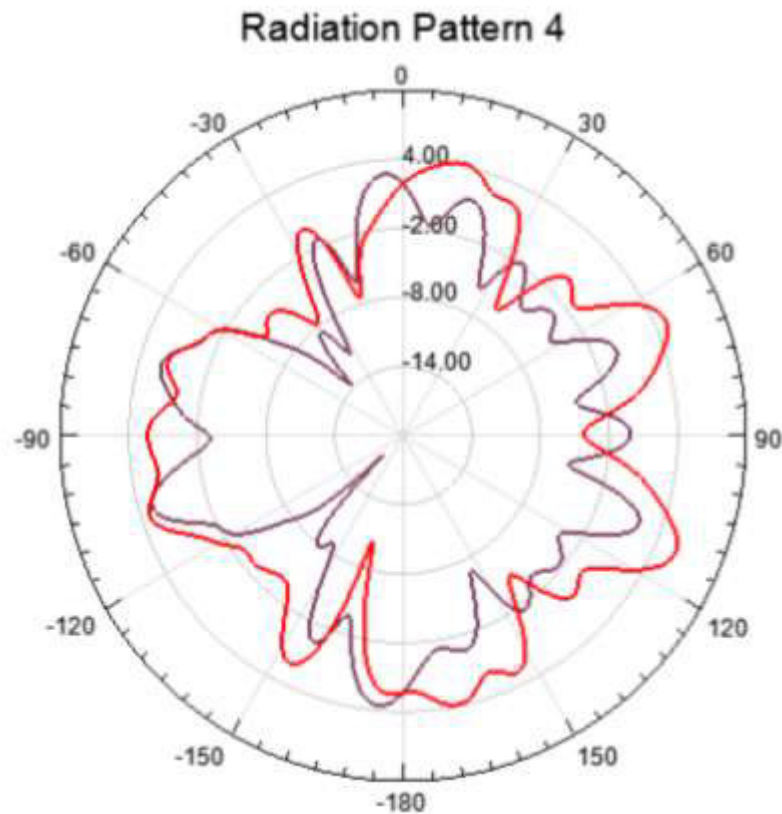


Рисунок 2.23 – Двохвимірна діаграма спрямованості на частоті 3 ГГц

Отже, порівнюючи вигляд залежності КСХ від частоти для початкової конструкції антенного елемента та зміненої конструкції можна зробити висновок, що зі збільшенням ширини монополя перший пік КСХ знизився з 4,5 до 3,2 (зменшився на 1.3), другий і третій піки також знизились з 4,5 до 2,6 (зменшились на 1.9). При цьому графік ДС стає більш рівномірним, а коефіцієнт підсилення стає 7,13 дБ.

Таким чином, збільшення ширини монополя покращує частоту залежність КСХ (тобто на цій залежності значно знижуються піки, або іншими словами КСХ вже не набуває великих значень).

Виконаємо наступні зміни в геометрії випромінюючої структури: зменшимо ширину щілини справа і збільшимо ширину монополя (рис.2.24). Тоді залежність КСХ від частоти матиме вигляд, зображений на рис.2.25. Діаграми спрямованості для цієї геометрії випромінюючого пристрою наведено на рис.2.26 та рис.2.27.

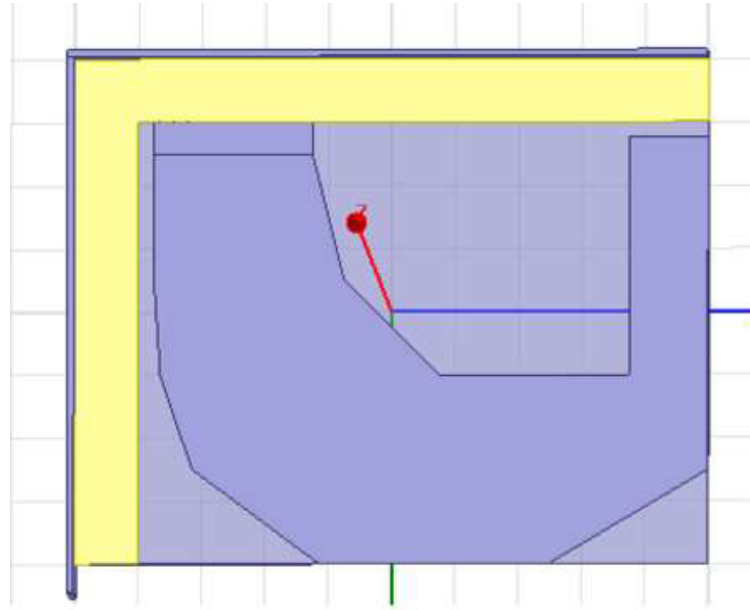


Рисунок 2.24 – Конструкція антени зі зменшеною щілиною

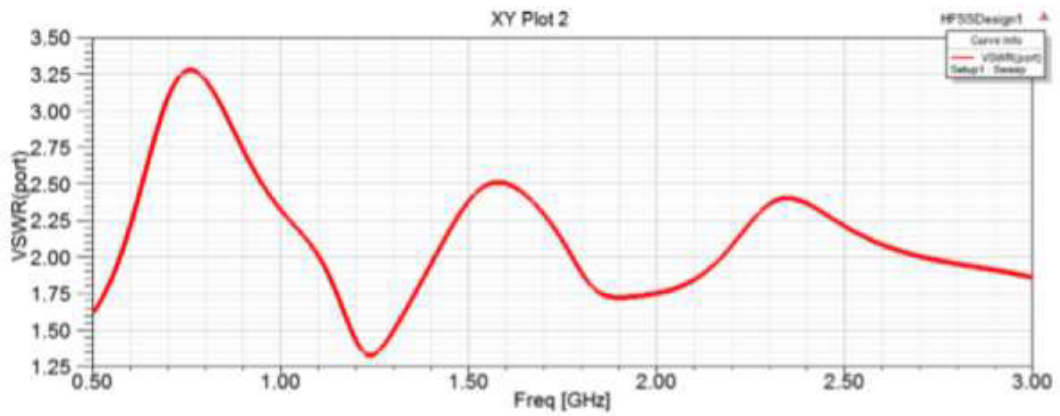


Рисунок 2.25 – Залежність КСХ антенного елемента від частоти

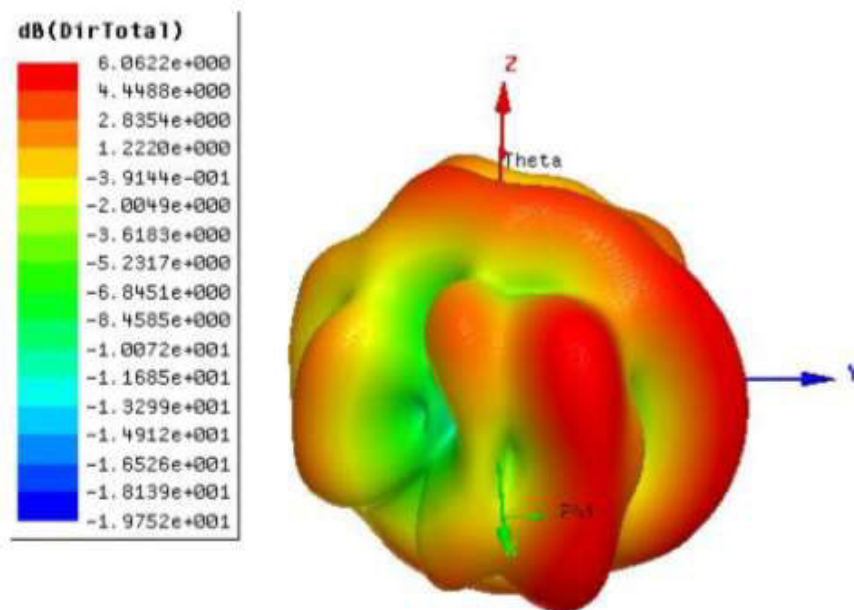


Рисунок 2.26 – Трьохвимірна діаграма спрямованості на частоті 3 ГГц

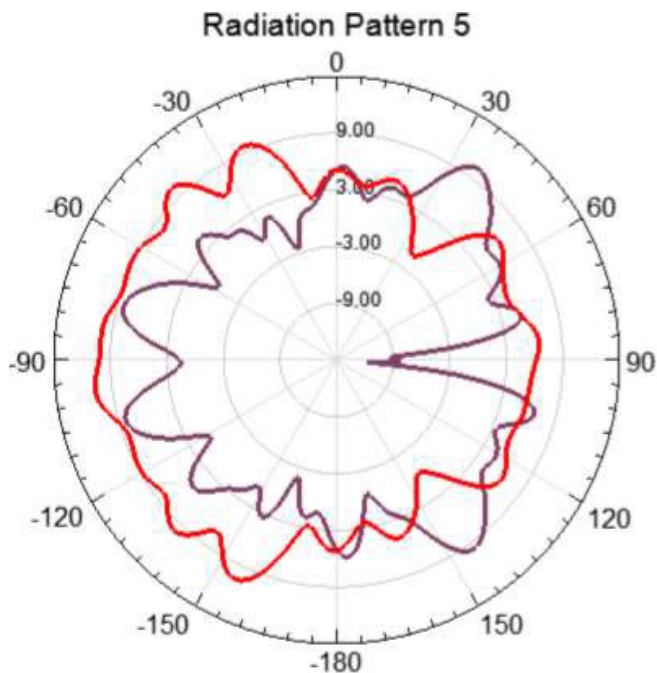


Рисунок 2.27 – Двохвимірна діаграма спрямованості на частоті 3 ГГц

З графіку 2.25 видно, що спостерігається зниження другого і третього піку залежності КСХ від частоти на 0,1. Коефіцієнт підсилення для цієї геометрії випромінювача став 6,06 дБ.

Виконаємо наступні зміни в геометрії випромінювача: збільшимо ширину щілинних ліній праворуч і ліворуч. Дана змінена конструкція наведена на рис.2.28.

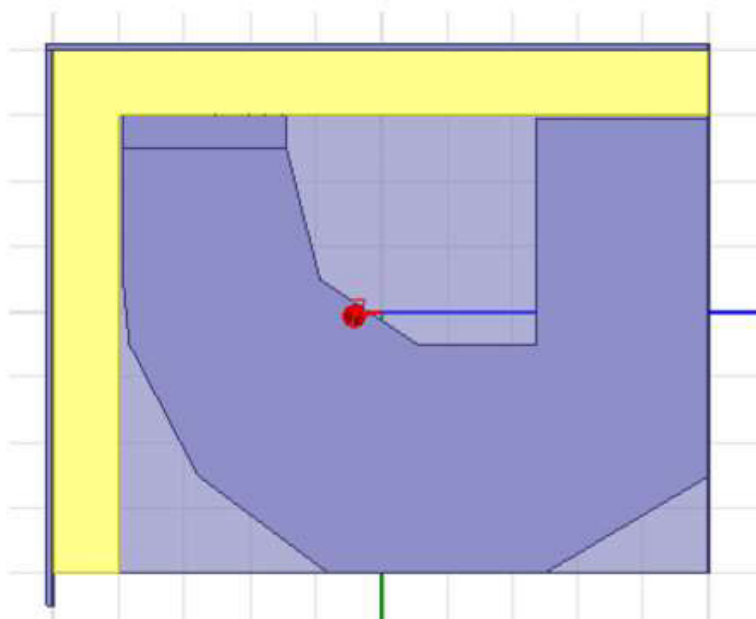


Рисунок 2.28 – Конструкція антенного елемента зі зміненими параметрами

Розрахункова залежність КСХ від частоти представлена на рис.29, діаграми спрямованості на рис.2.30.

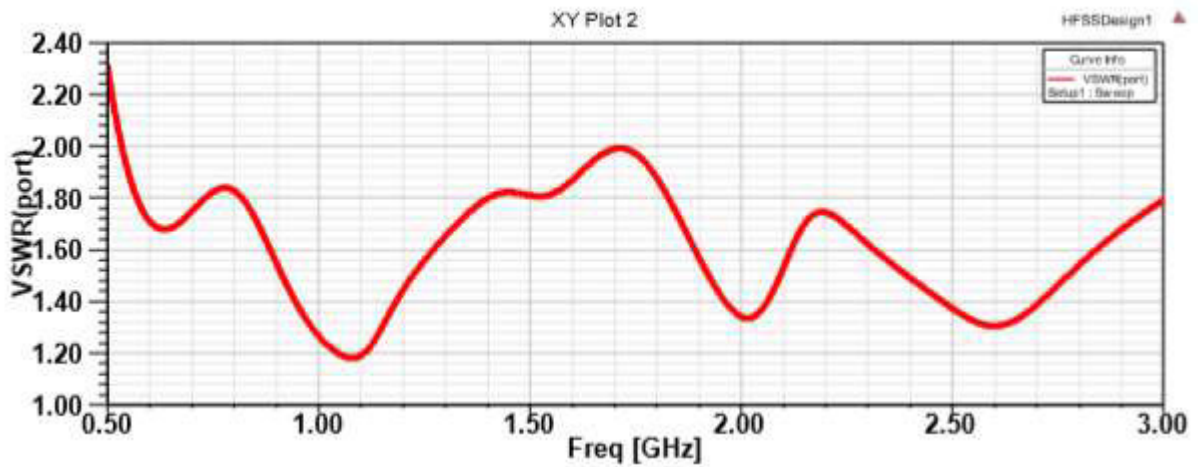


Рисунок 2.29 – Залежність КСХ антенного елемента від частоти

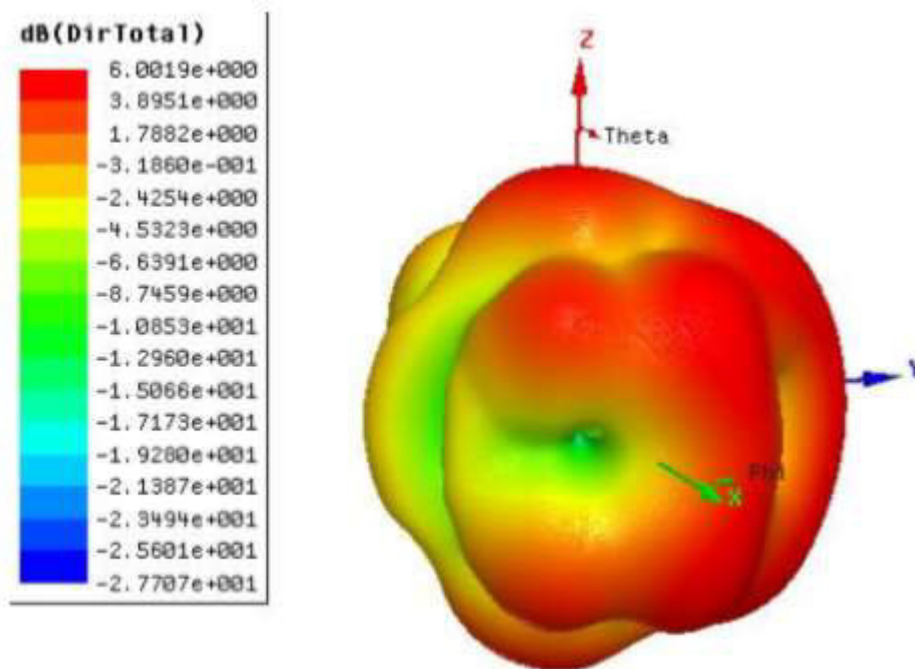


Рисунок 2.30 – Трьохвимірна діаграма спрямованості на частоті 3 ГГц

Таким чином, за допомогою процедури оптимізації та зміни геометричних розмірів складових антенного елемента вдалось суттєво зменшити максимуми КСХ.

Виконано розрахунок ДС у всьому частотному діапазоні, а саме на частоті 0,5 ГГц (рис.2.31); на частоті 0,9 ГГц (рис.2.32); на частоті 1,5 ГГц (рис.2.33); на частоті 3 ГГц (рис. 2.34).

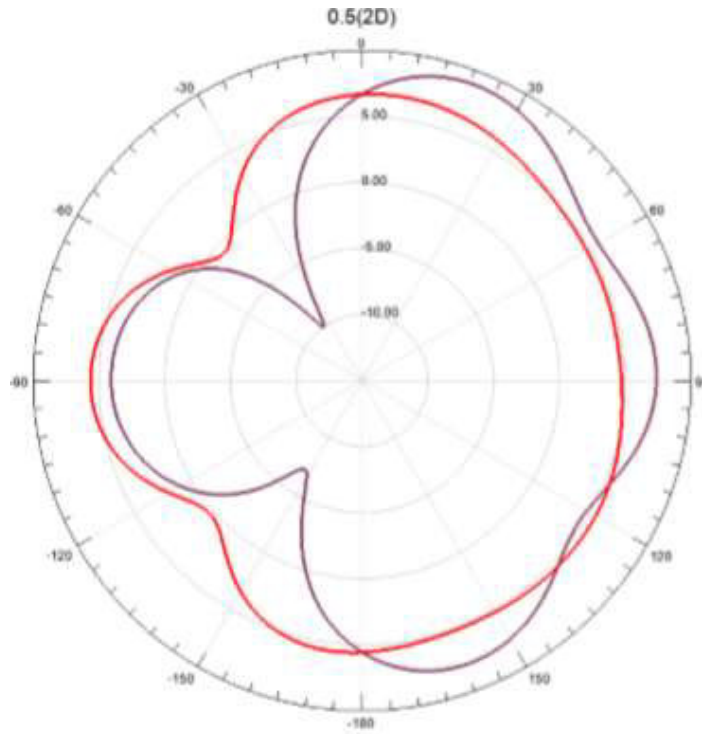


Рисунок 2.31 – Двохвимірна діаграма спрямованості на частоті 0,5 ГГц

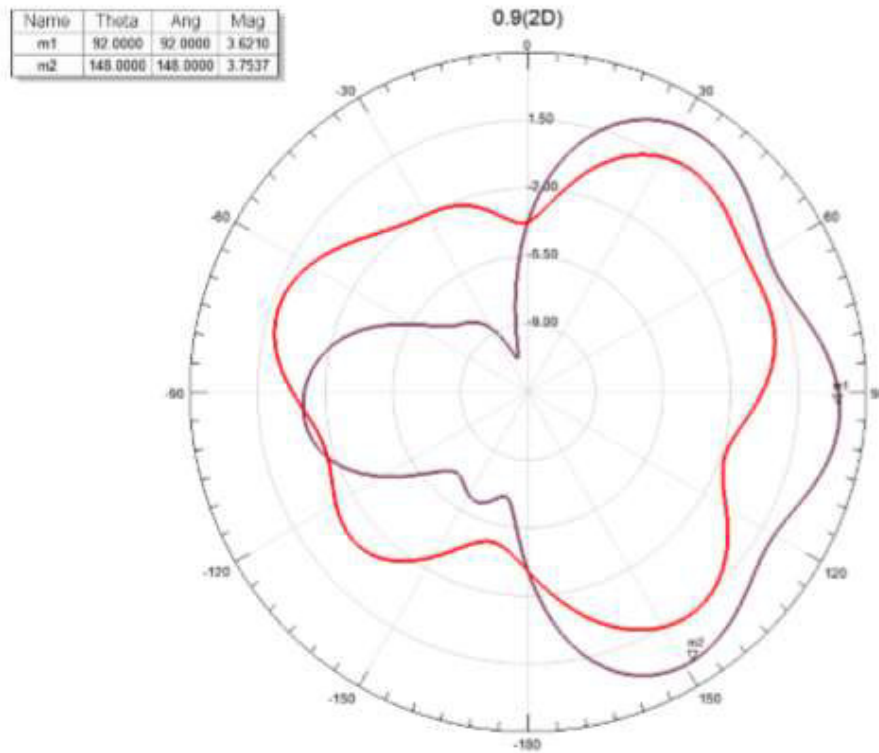


Рисунок 2.32 – Двохвимірна діаграма спрямованості на частоті 0,9 ГГц

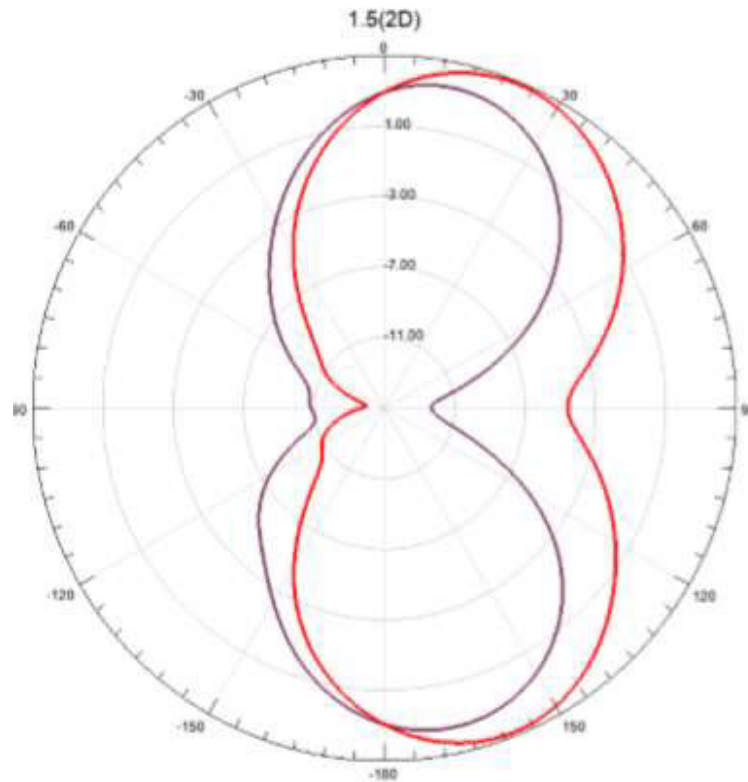


Рисунок 2.33 – Двохвимірна діаграма спрямованості на частоті 1,5 ГГц

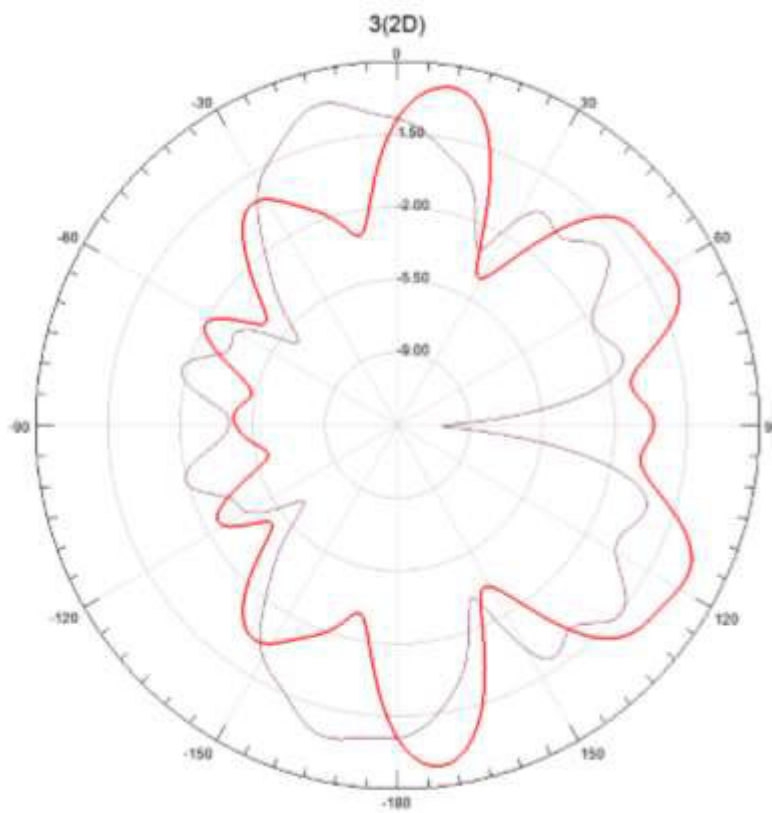


Рисунок 2.34 – Двохвимірна діаграма спрямованості на частоті 3 ГГц

Виконана подальша модифікація антенного елемента з метою зменшення максимумів КСХ менших за 2.5.

Модифікована конструкція елемента містить мідний куточок, який є рефлектором. Розміри мідного куточка були збільшені в два рази відносно первісної конструкції. Мета цього збільшення – усунення небажаних випромінювань. Загальний вигляд модифікованої конструкції показано на рис.2.35. Розрахункові залежності КСХ від частоти та діаграми спрямованості наведено на рис. 2.36 – 2.38.

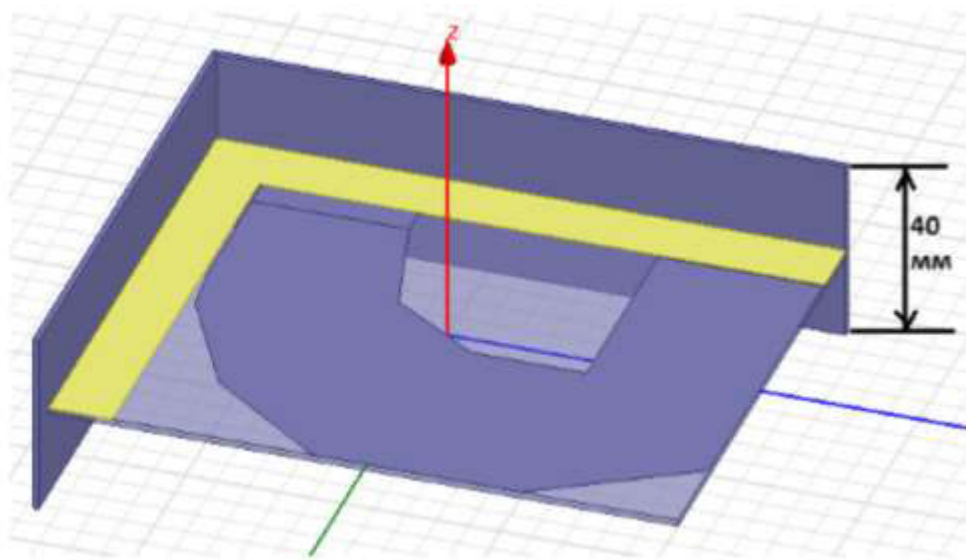


Рисунок 2.35 – Конструкція антенного елемента зі збільшеним в 2 рази мідним куточком

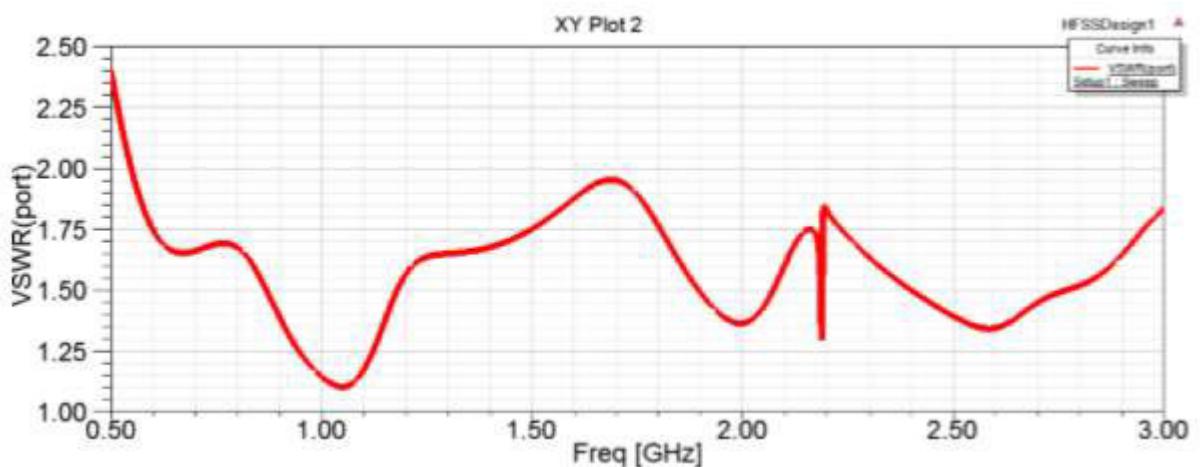


Рисунок 2.36 – Залежність КСХ антенного елемента від частоти

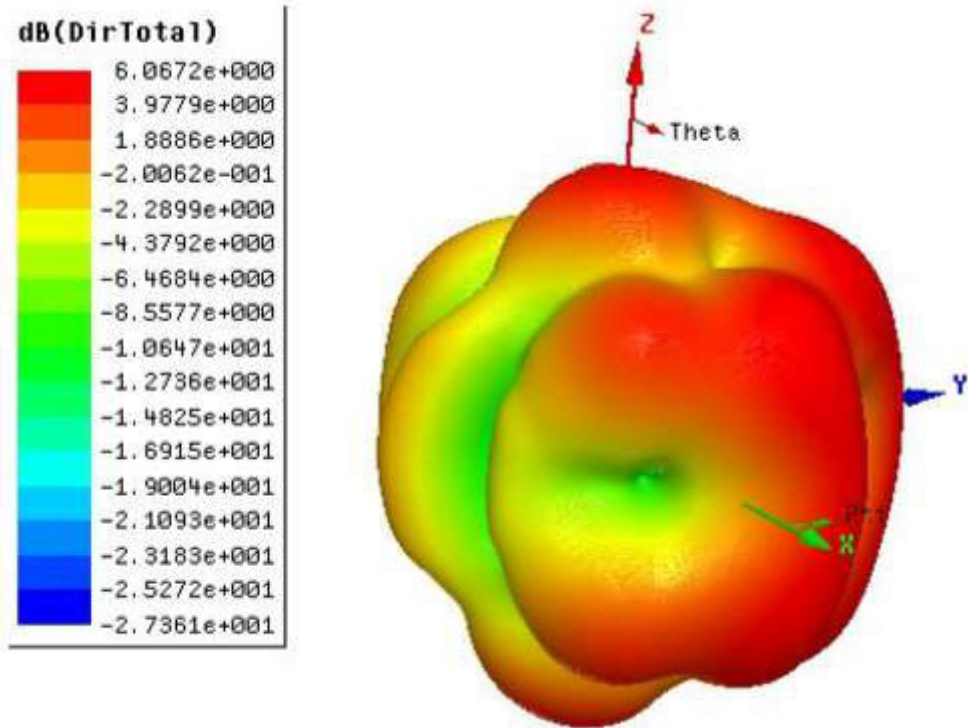


Рисунок 2.37 – Трьохвимірна діаграма спрямованості на частоті 3 ГГц

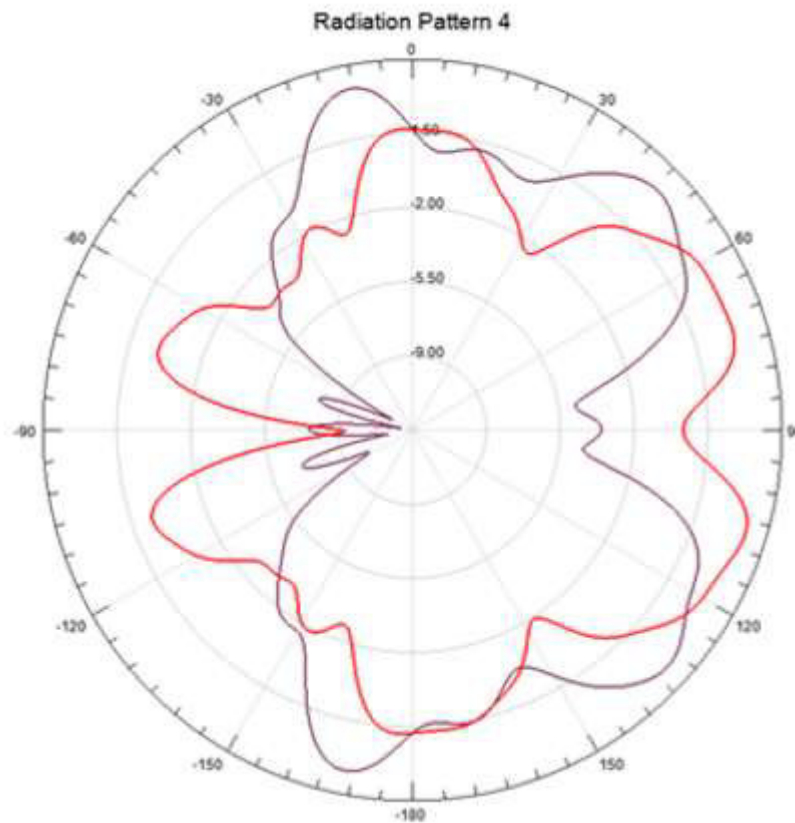


Рисунок 2.38 – Двохвимірна діаграма спрямованості на частоті 3 ГГц

Результати розрахунку показали, збільшення розмірів мідного куточка справляє не суттєвий вплив на характеристики антени.

2.3 Висновки до другого розділу

Результати дослідження показали, що широкопasmовий випромінюючий пристрій може бути виготовлена на основі друкованої технології. Основою випромінюючого пристрою слугує діелектрична підкладка. Це дозволяє знизити габаритні розміри, а також вартість. Це є важливим чинником для антени.

В ході роботи розроблено і досліджено широкопasmовий антенний елемент. Розраховані залежності КСХ від частоти й двохвимірні та трьохвимірні діаграми спрямованості.

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Нині відбувається освоєння широкого діапазону частот на яких працюють різноманітні бездротові пристрої. Це мобільний зв'язок, технологія Wi-Fi, цифрове телебачення, тощо. Аналіз показав, що наявні на ринку широкопasmові антени, в більшості випадків не підходять за своїми габаритними розмірами. Загальна проблема зводиться до того, що потрібно зменшувати розміри антени. Малі розміри антени є необхідною умовою можливості використання її в якості широкопasmового антенного елемента.

Серед різноманіття типів широкопasmових випромінюючих пристроїв заслуговує на увагу планарна комбінована випромінююча структура, яка має деякі переваги перед іншими планарними антенами.

Таким чином питання забезпечення якісного прийому широкопasmового сигналу мобільними пристроями є актуальним завданням. Воно має теоретичне та практичне значення. Шляхом за допомогою якого можна це здійснити є математичне моделювання складної широкопasmової випромінюючої структури.

3.1 Визначення трудомісткості розробки складної широкопasmової випромінюючої структури

Трудомісткість розробки складної широкопasmової випромінюючої структури може бути розрахована на основі системи моделей з різною точністю оцінки. Трудомісткість розробки антени можна розрахувати за формулою:

$$t = t_{\text{тз}} + t_{\text{и}} + t_{\text{а}} + t_{\text{п}} + t_{\text{д}}, \text{ чол-год} \quad (3.1)$$

де $t_{\text{тз}}$ – витрати праці на підготовку і опис технічного завдання (10 чол-год);

$t_{\text{и}}$ – витрати праці на дослідження методів моделювання;

t_A – витрати праці на розробку моделі в пакеті;

t_{II} – витрати праці на створення структурної схеми антени;

T_d – витрати праці на підготовку документації.

Складові витрати праці визначаються через умовну кількість елементарних операцій в розробці антени. Умовне число елементарних операцій:

$$Q = q \cdot C \cdot (1 + p), \quad (3.2)$$

де q – число базових елементарних операцій розробки антени (500);

c – коефіцієнт складності розроблюваної антени (1);

p – коефіцієнт корекції моделі антени в ході її розробки (0.125).

Звідси умовне число елементарних операцій розробки антени:

$$Q = 1 \cdot 500 \cdot (1 + 0.125) = 562.5 \quad (3.3)$$

Витрати праці на вивчення опису завдання t_{II} визначаються з урахуванням уточнення опису та кваліфікації інженера:

$$t_{II} = (Q * B) / 80 * K, \quad (3.4)$$

де B – коефіцієнт збільшення витрат праці внаслідок недостатнього опису завдання;

K – коефіцієнт кваліфікації розробника, що визначається залежно від стажу роботи з даної спеціальності. При стажі роботи від до 5 років, він складає 1.

Приймемо збільшення витрат праці внаслідок недостатнього опису завдання не більше 50% ($B = 1.5$). З урахуванням коефіцієнта кваліфікації $K = 1$ отримаємо витрати праці на вивчення опису завдання:

$$t_{II} = (562.5 \cdot 1.5) / (80 \cdot 1) = 10.55 \text{ чол-год.} \quad (3.5)$$

Витрати праці на розробку антени визначаються за формулою:

$$t_A = \frac{Q}{20 \cdot K}, \quad (3.6)$$

де Q – умовне число елементарних операцій в розробці антени;
 K – коефіцієнт кваліфікації розробника.

Підставивши відповідні значення у формулу (4.2), отримаємо:

$$t_A = 562.5 / (20 \cdot 1) = 28.13 \text{ чол-год.} \quad (3.7)$$

Витрати на створення нової структурної схеми антени:

$$t_i = \frac{Q}{25 \cdot K}, \quad (3.8)$$

$$t_{II} = 562.5 / (25 \cdot 1) = 22.5 \text{ чол-год.}$$

Витрати на підготовку документації визначаються за формулою

$$t_D = t_{dp} + t_{do}, \quad (3.9)$$

де t_{dp} – трудомісткість підготовки матеріалів і рукописи;
 t_{do} – трудомісткість редагування, друку та оформлення документації.

$$t_{dp} = Q / (20 \cdot 1), \quad (3.10)$$

$$t_{do} = 0,75 \cdot t_{dp}. \quad (3.11)$$

Підставляючи відповідні значення, отримаємо:

$$t_{op} = 562.5 / (20 \cdot 1) = 28.13 \text{ чол-год.}$$

$$t_{oo} = 0,75 \cdot 28.13 = 21.09 \text{ чол-год.}$$

$$t_D = 28.13 + 21.09 = 49.22 \text{ чол-год.}$$

Повертаючись до формули (3.1), отримаємо повну оцінку трудомісткості розробки антени:

$$t = 10 + 10.55 + 28.13 + 22.5 + 49.22 = 120.4 \text{ чол-год.}$$

3.2 Витрати на створення складної широкопasmової випромінюючої структури

Витрати на створення широкопasmового випромінюючого пристрою (K_{no}) включають витрати на заробітну плату розробника (Z_{zp}) і вартість машинного часу, необхідного для його розробки на ЕОМ (Z_{mb}):

$$K_{no} = Z_{zp} + Z_{mb}, \text{ грн.} \quad (3.12)$$

Заробітна плата розробника визначається за формулою:

$$Z_{zp} = t \cdot C_{pr}, \text{ грн.} \quad (3.13)$$

де t – загальна трудомісткість розробки моделі антени, чол.г;

C_{pr} - середня годинна заробітна плата інженера з нарахуваннями.

З урахуванням того, що середня годинна зарплата розробника становить 25 грн/год, отримуємо:

$$Z_{zp} = 120.4 \cdot 25 = 3010 \text{ грн.}$$

Вартість машинного часу, необхідного для створення складної широкопasmової випромінюючої структури на ЕОМ, визначається за формулою:

$$Z_{\text{мв}} = t_{\text{рс}} \cdot C_{\text{мч}}, \text{ грн.} \quad (3.14)$$

де $t_{\text{рс}}$ – трудомісткість розробки антени та створення моделі на ЕОМ, час;
 $C_{\text{мч}}$ – вартість машинного часу ЕОМ (4 грн / год).

Підставивши у формулу (3.12) відповідні значення, визначимо вартість машинного часу, необхідного для створення антени:

$$Z_{\text{мв}} = 120.4 \cdot 4 = 481.6 \text{ грн.}$$

Звідси витрати на розробку оптимізованої антени:

$$K_{\text{по}} = 3\ 010 + 481.6 = 3\ 491.6 \text{ грн.}$$

Очікуваний період розробки оптимізованої моделі антени:

$$T = \frac{t}{B_k \cdot F_p}, \text{ міс} \quad (3.15)$$

де B_k – число інженерів (дорівнює 1),

F_p – місячний фонд робочого часу (при 40-годинному робочому тижні $F_p = 168$ годин).

Підставивши відповідні значення, отримаємо:

$$T = 120,4 / 1 \cdot 168 \approx 0,72 \text{ міс} \approx 23 \text{ дня}$$

3.3 Капітальні витрати

Капітальні витрати включають в себе кошти, які призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Монтажно–налагоджувані роботи складають 9% від вартості устаткування. Транспортно – заготівельні і складські витрати складають 6% від вартості устаткування

Таким чином, капітальні витрати на здійснення проектного варіанту складають:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{об}} + K_{\text{тр}} + K_{\text{мн}} \quad (3.1)$$

де $K_{\text{об}}$ – вартість обладнання (60 грн)

$K_{\text{тр}}$ – транспортні витрати

$K_{\text{мн}}$ – витрати на монтаж і налагодження устаткування

$$K_{\text{тр}} = 6\% \times K_{\text{об}} = 3.6 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{мн}} = 9\% \times K_{\text{об}} = 5.4 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{пр}} = 60 + 3.6 + 5.4 = 69 \text{ грн.}$$

3.4 Залежність ціни удосконаленого широкосмугового пристрою від попиту

Ціна на розробку нової схеми в мобільному пристрої з удосконаленим випромінюючого пристрою розраховується з урахуванням капітальних затрат $K_{\text{пр}}$ та витрат на розробку $K_{\text{роз}}$:

$$\Delta C = K_{\text{пр}} + \frac{K_{\text{роз}}}{N_{\text{моб}}} \quad (3.3)$$

де $N_{\text{моб}}$ – кількість бездротових пристроїв.

Візьмемо 100 бездротових пристроїв:

$$\Delta C = 69 + \frac{3491.6}{100} = 103,92 \text{ грн.}$$

Також приведемо розрахунок при кількості 10000 бездротових пристроїв:

$$\Delta C = 69 + \frac{3491.6}{10000} = 69,35 \text{ грн.}$$

Отже видно, що при збільшенні попиту на бездротові пристрої, ціна на розробку нового випромінюючого пристрою буде рівномірно розподілятися між пристроями, а загальна ціна кожного окремого бездротового пристрою буде зменшуватися.

Крім того, якість зв'язку покращується за рахунок покращення характеристик прийому/передачі антени, що позитивно впливає на попит, отже й на прибуток підприємства.

3.5 Визначення економічної переваги розробленого випромінюючого пристрою

Розробка оптимізованої широкосмугової антени дозволить покращити характеристики антени, що повисить якість прийому/передачі даних від між пристроями. Оптимізована випромінююча структура надає якісний прийом та передачу даних без великих втрат і гарантує високий попит на її використання. Виявлено, кілька аналогів, вартість яких в середньому складає 65 грн. Виходячи з витрат на створення даної антени, пропонується призначити середню вартість у розмірі 40 грн., що на 25 грн. дешевше середньої вартості його аналогів.

3.6 Існуючі аналоги

Більшість розробників абонентських пристроїв патентують конструкцію випромінювальних пристроїв. Тому рекомендації з вибору геометричних розмірів та загальний процес, що відбувається в цій антені попадає під охорону як об'єкт інтелектуальної власності. Хоча нині типи планарних широкосмугових антен і використовується в бездротових пристроях відомості про них в літературі є досить обмеженими. Тому метою кваліфікаційної роботи є дослідження характеристик складної широкосмугової випромінюючої структури шляхом математичного моделювання.

3.7 Висновки до третього розділу

Виконавши розрахунок витрат на розробку складної широкосмугової випромінюючої структури та аналізу існуючих аналогів, була виявлена її конкурентоспроможність, де призначена вартість у розмірі 40 грн.

Вартість розробки поліпшеного методу економного кодування становить 3491,6грн.

Очікуваний час розробки складає 22 дні. Цей термін пов'язаний з досить великим часом на дослідження та аналіз існуючих моделей, розробкою оптимізованої моделі складної широкосмугової випромінюючої структури, створення структурної схеми та підготовку документації.

Залежність ціни кожного окремого бездротового пристрою від попиту показує, що чим більшу кількість буде виготовлено, тим менша ціна буде у кожного окремого пристрою.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі ступеню бакалавр виконано розгляд основних характеристик випромінюючих пристроїв. Розглянуто основні конструкції широкосмугових випромінюючих пристроїв та принципи їх побудови.

Виконано розробку широкосмугового випромінюючого пристрою для систем зв'язку. Складовими випромінюючого елемента є монополь, випромінювач магнітного типу, неоднорідна щілинна лінія. Проведено дослідження характеристик даної випромінюючої структури залежно від геометричних розмірів її складових елементів. Розраховані залежності КСХ від частоти, діаграми спрямованості, коефіцієнт підсилення.

Виконана оптимізація характеристик антенного елемента. Оптимізація виконана за критерієм досягнення мінімуму КСХ робочій смузі частот. За рахунок вибору необхідних розмірів антени, конструкції її елементів досягнуто найкраще узгодження в смузі частот. Коефіцієнт стоячої хвилі не перевищує значення 2.5 ($КСХ \leq 2,5$) в смузі частот 0.5 – 3 ГГц.

В процесі виконання оптимізації встановлено, що значний вплив на величину КСХ мають розміри щілинної лінії та монополя.

Розроблена антена може бути виготовлена на основі друкованої технології. Це дозволяє знизити габаритні розміри, а також її вартість.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Balanis C.A Antenna theory: analysis and design / C. A. Balanis. – N.Y.: John Wiley and Sons, 1992. – 941 p.
2. Сазонов, Д. М. Антенны и устройства СВЧ: учеб. пособ. для радиотехнич. спец. вузов / Д. М. Сазонов. – М.: Высш. шк., 1988. – 432 с.
3. Кубанов, В. П. Антенны и фидеры – назначение и параметры: учеб. пособ. / В. П. Кубанов. – Самара: ПГУТИ, 2012. – 60 с.
4. Назаров, В. И. Все об антеннах: справочник / В. И. Назаров, В. И. Рыженко – М.: Оникс, 2008. – 240 с.
5. Банков, С.Е. Анализ и оптимизация СВЧ структур с помощью HFSS / С.Е. Банков, А.А. Курушин, В.Д. Резевиг. – М.: Солон-пресс 2005. – 216 с.
6. Захарьев, Л.Н. Методы измерения характеристик антенн СВЧ / Л.Н. Захарьев, А.А. Леманский, В.И. Турчин. – М.: Радио и связь, 1985. – 368 с.
7. Жук, М.С. Проектирование антенно-фидерных устройств / М.С. Жук, Ю.Б. Молочков. – М.: Энергия, 1966. – 648 с.
8. Пудовкин, А.П. Основы теории антенн: учеб. пособ. / А.П. Пудовкин, Ю.Н. Панасюк, А.А. Иванков. – Т.: ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – 92 с.
9. Белоцерковский, Г.В. Основы радиотехники и антенны / Г.В. Белоцерковский. – М.: Советское радио, 1969. – 432 с.
10. Драбкин, А.Л. Антенны / А.Л. Драбкин, Е.Б. Коренберг. – М.: Радио и связь, 1992. – 144 с.
11. Неганов, В.А. Современная теория и практические применения антенн / В. А. Неганов, Д. П. Табаков, Г. П. Яровой. – М.: Радиотехника, 2009. – 720 с.
12. Баланис, К. А. Введение в смарт-антенны / К. А. Баланис; пер. с англ.; под ред. В. В. Попова, М. Д. Парнеса. – М.: Техносфера, 2012. – 200 с.
13. Гошин, Г. Г. Устройство СВЧ и антенны: учеб. пособ. / Г. Г. Гошин. – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2003. – 130 с.

14. Григоров, И. Н. Антенны. Настройка и согласование / И. Н. Григоров. – М.: РадиоСофт, 2015 – 272 с.
15. Марков, Г. Т. Антенны: учеб. пособ. для вузов. / Г.Т. Марков, Д.М. Сазонов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергия, 1975. – 528 с.
16. Лавров, А.С. Антенно – фидерные устройства: учеб. пособ. для радиотехнич. спец. вузов / А.С. Лавров, Г.Б. Резников. – М.: Сов. радио, 1974. – 368 с.

ДОДАТОК А. Перелік документів КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

- 1 Пояснювальна записка на 64 сторінці.
- 2 Матеріали кваліфікаційної роботи на оптичному носії:
 - Пояснювальна записка Рибка Р.М.doc
 - Презентація.pptx

ДОДАТОК В. ВІДГУК КЕРІВНИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ВІДГУК

на кваліфікаційну роботу ступеня бакалавр студента групи 172-16ск-1

Рибка Р.М. на тему:

«Розробка випромінюючого елемента для широкосмугових систем зв'язку»

Мета кваліфікаційної роботи – розробка випромінюючого пристрою для широкосмугових систем зв'язку.

Обрана тема є актуальною у зв'язку з тим, що на сьогоднішній день в існує потреба у широкосмугових випромінюючих пристроях, які працюють в декількох частотних діапазонах. Це пов'язане з освоєнням нових частотних діапазонів, які призначені задовольнити потребу у бездротовому зв'язку.

Наукова новизна результатів які отримані у кваліфікаційній роботі полягає в оптимізації геометричних розмірів складових випромінюючого пристрою для потреб бездротового зв'язку.

Практичне значення результатів роботи полягає у покращенні характеристик широкосмугового випромінювача.

Оформлення кваліфікаційної роботи виконано на відповідному рівні і відповідає вимогам, що пред'являються до робіт даної кваліфікації. В цілому кваліфікаційна робота ступеня бакалавра повністю задовольняє вимогам, що пред'являються і заслуговує оцінки «добре», а її автор, Рибка Р.М., присвоєння кваліфікації технічного фахівця в галузі електроніки та телекомунікацій.

Керівник кваліфікаційної роботи, доц.

Магпо В.І.

ДОДАТОК Г. Рецензія

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу ступеня бакалавр студента групи 172-16ск-1

Рибка Р.М. на тему:

«Розробка випромінюючого елемента для широкопугових систем зв'язку»

Представлена на рецензію кваліфікаційна робота виконана на 61 машинописних сторінках і складається з вступу, трьох розділів і висновку. Кваліфікаційна робота студента групи 172-16ск-1 Рибки Р.М. виконана в повному обсязі відповідно до завдання.

Дана робота присвячена, безсумнівно, дуже актуальній темі: розробці широкопугового випромінюючого пристрою для бездротових мереж зв'язку. Актуальність теми полягає в тому, що на сьогоднішній день в існує потреба у широкопугових випромінюючих пристроях, які працюють в декількох частотних діапазонах. Це пов'язане з освоєнням нових частотних діапазонів, які призначені задовольнити потребу у бездротовому зв'язку. В рамках даної роботи вирішені такі завдання:

1. Побудовано модель широкопугового випромінювача, що складається з декількох складових елементів.
2. Розраховано основні характеристик випромінювача в діапазоні частот 0.5 – 3 ГГц.
3. Розроблені рекомендації з вибору оптимальних геометричних розмірів складових елементів антени по критерію забезпечення максимального узгодження антени в діапазоні 0.5 – 3 ГГц.

Розроблений випромінюючий пристрій дозволяє отримати більш якісний бездротовий зв'язок, має в технічній реалізації.

Слід зазначити вміння студента працювати з науково-технічною літературою та використовувати свої знання при вирішенні завдань

теоретичного характеру. Перелік бібліографічних джерел показує, що бакалавр вміє працювати зі спеціальною літературою.

До недоліків кваліфікаційної роботи слід віднести відсутність порівнянь результатів розрахунку з результатами інших робіт.

В цілому кваліфікаційна робота ступеня бакалавр повністю задовольняє вимогам, що пред'являються і заслуговує оцінки «
», а її автор, Рибка Р.М., присвоєння кваліфікації технічного фахівця в галузі електроніки та телекомунікацій.

Рецензент,

(підпис)