

Всеукраїнський конкурс на кращу студентську наукову роботу
2020/2021 навчального року

Шифр: «ФАР»

Тема роботи:

«Удосконалення конструкції антени AGATA MIMO 2x2 з
використанням метаматеріалу»

Спеціальність: «Радіотехніка»

Удосконалення конструкції антени AGATA MIMO 2x2 з
використанням метаматеріалу

Анотація на
наукову роботу під шифром «MIMO».

Наукова робота: 17 сторінок, 11 рисунків, 6 таблиць, 7 джерел.

Пропонується покращення характеристик антени AGATA MIMO 2x2 за рахунок використання у конструкції метаматеріалу.

Антенa реалізує технологію MIMO. Просторове рознесення відбувається внаслідок розсунення випромінювачів у просторі на відстань 90 мм, а поляризаційне – за рахунок використання вертикальної і горизонтальної поляризацій.

Здійснено математичне моделювання в HFSS – одній з сучасних систем автоматизованого проектування. Отримано діаграми спрямованості антени в полярній та декартовій системах координат, частотні залежності модулів КСХ та коефіцієнта відбиття від входу антени.

Результати розрахунків підтверджують можливість досягнення мети - покращення характеристик антени - запропонованим способом.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП..... | 4 |
| 1 ДІЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СЕРЕДОВИЩ, ВИДИ МЕТАМАТЕРІАЛУ..... | 7 |
| 1 АНТЕНА АГАТА МІМО 2Х2..... | 9 |
| 2 ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕНИ АГАТА МІМО 2Х2 ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТАМАТЕРІАЛУ..... | 13 |
| 3 МОДЕЛЮВАННЯ ПОКРАЩЕНОЇ АНТЕНИ АГАТА МІМО 2Х2 У ПРОГРАМНОМУ ПАКЕТІ ANSYS HFSS..... | 15 |
| ВИСНОВКИ..... | 18 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... | 19 |

ВСТУП

Одним із найважливіших компонентів систем бездротового зв'язку є антена. Існує велика кількість видів антен для мобільних і бездротових Інтернет мереж (рис. В.1).

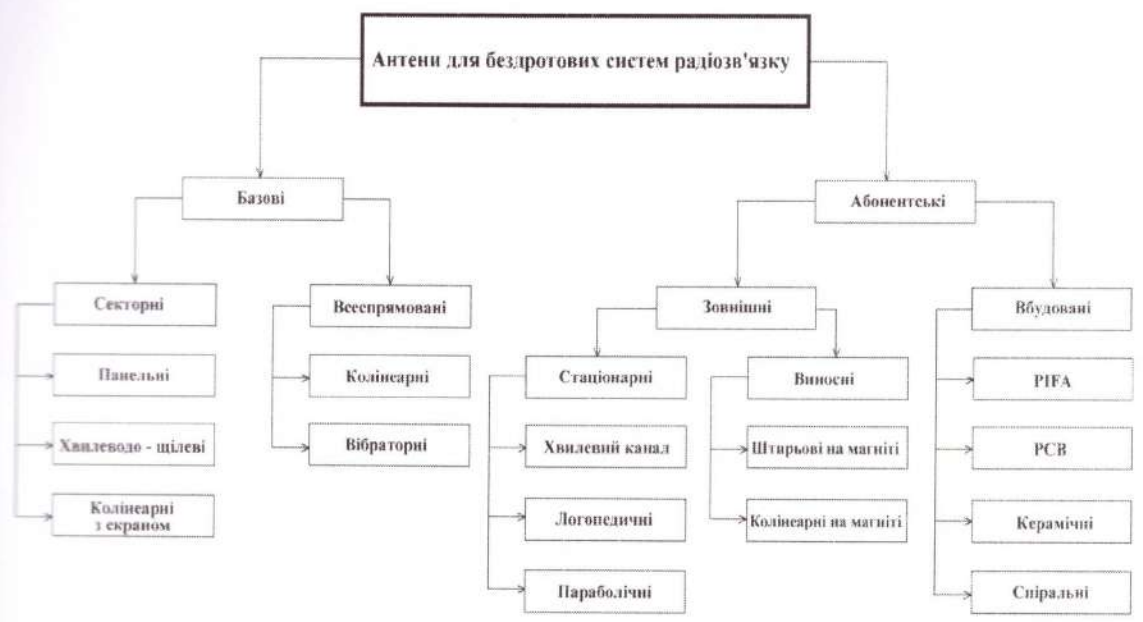


Рисунок В.1 – Види антен для бездротових систем радіозв'язку

У межах даної роботи нас цікавить антена AGATA MIMO 2x2 з використанням технології MIMO. Multiple Input Multiple Output (MIMO) технологія - це метод просторового кодування сигналу, який дозволяє збільшити якість каналу зв'язку, а також швидкість передачі інформації за рахунок рознесеного прийому і передачі. Передавальні і приймальні антени рознесені у просторі так, щоб досягнути мінімальної взаємодії між сусідніми антенами[2],[3].

Метаматеріал – це рукотворні, не існуючі в природі, спеціальним чином структуровані середовища на основі комбінації діелектриків та металів, які мають від'ємні електрофізичні параметри (діелектричну або магнітну проникність, або обидві одразу). У світі існують випадки використання метаматеріалу MNG-типу для покращення характеристик антен. Нариклад, використання метаматеріалу у конструкції рупорної антени X-діапазону дозволило збільшити ширину смуги пропускання до 12% за

рівнем половинної потужності, і при цьому зменшити довжину рупора на 52%. Розглянемо поняття і характеристики метаматеріалу більш детально.[1]

1 ДІЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СЕРЕДОВИЩ, ВИДИ МЕТАМАТЕРІАЛІВ

В загалом в залежності від значення діелектричної (ϵ), а також магнітної (μ) проникності усі середовища можна розділити на 4 види (рис.1.1):

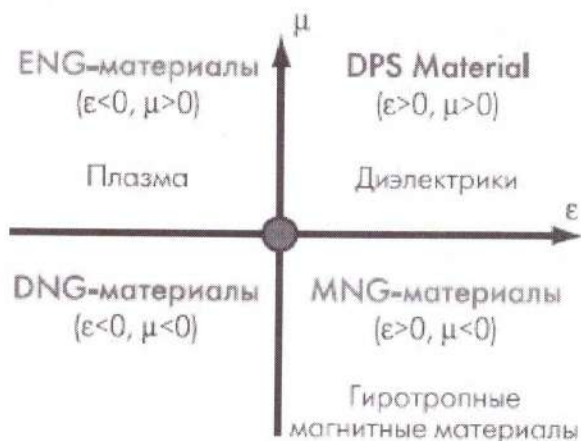


Рисунок 1.1 – Класифікація фізичних середовищ в залежності від значення діелектричної (ϵ), і магнітної (μ) проникності

Майже всі натуральні природні речовини мають додатну діелектричну і магнітну проникність. Для більшості з них, а особливо найбільш цікавих з практичної точки зору значення ці значення взагалі більші або рівні одиниці. Такі середовища зазвичай називають діелектриками, або DPS-матеріалами[1].

Метаматеріалами ENG-типу являються матеріали у яких $\epsilon < 0$, а $\mu > 0$. Зазвичай ці матеріали можуть бути як радіопрозорими, так і радіонепрозорими, в залежності від довжини хвилі збудження. Прикладом даного середовища є плазма, для якої існує критична довжина хвилі. Довші за критичну хвилі не можуть розповсюджуватись в середовищі через зникнення радіопрозорості середовища. Серед штучних матеріалів можна розглядати як метаматеріал систему із тонких металевих провідників (рис.1.2.а), або систему із набору розімкнутих індуктивних кілець (рис.1.2.б) [1,4].

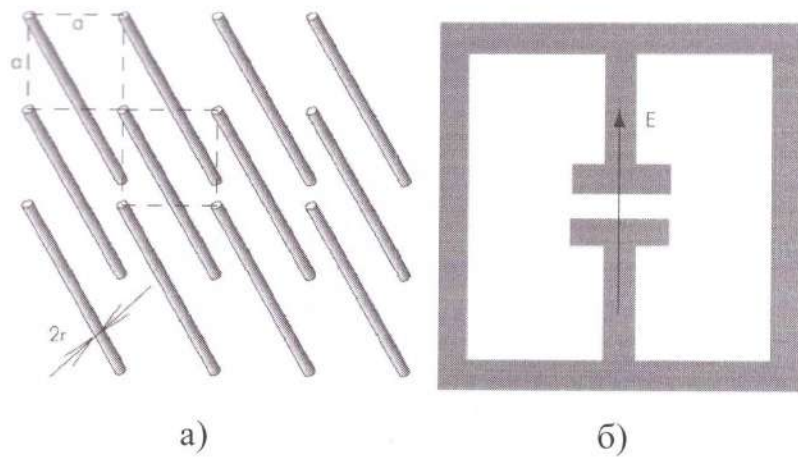


Рисунок 1.2 – Приклади структури метаматеріалу ENG-типу
а) зі тонких металевих провідників б) на основі розімкнутих індуктивних кілець

Метаматеріалами MNG-типу являються матеріали, у яких $\epsilon > 0$, а $\mu < 0$. Структура таких штучних середовищ представляє собою набір тонких вкладених один в один металевих циліндрів, рулонних структур типу "рулет", або плоских вирізок з нього, різні вкладені кільця, Ω -подібні або прямокутні рамки (рис.1.3) [1,4].

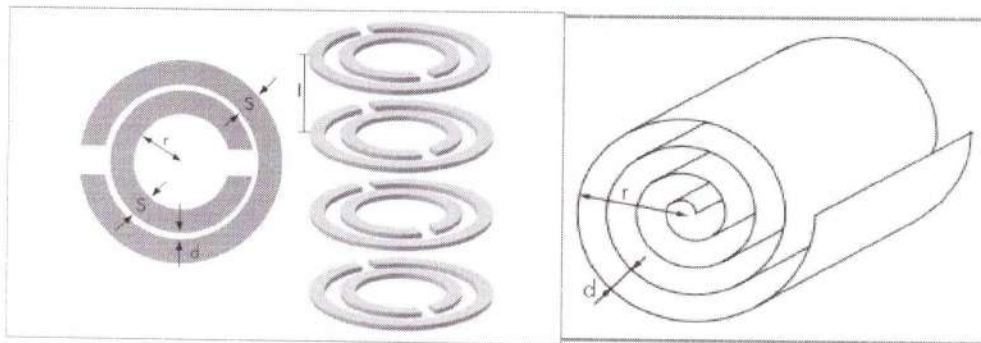
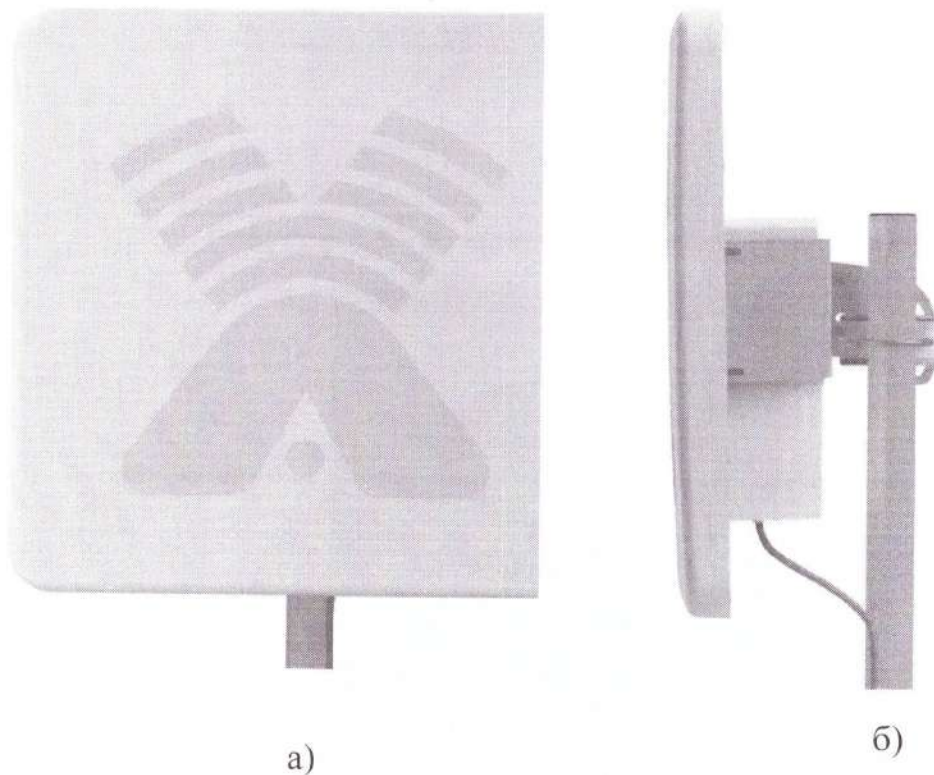


Рисунок 1.3 – Приклади структури метаматеріалу MNG-типу

Метаматеріалами DNG-типу являються матеріали у яких $\epsilon < 0$, $\mu < 0$. Даний матеріал було отримано відносно нещодавно. Прогнозується, що використання даного матеріалу також є перспективним, але на даний час це неможливо через велику дисперсію і поглинання отриманих зараз DNG середовищ [1,4]. Спробуємо покращити характеристики антени AGATA MIMO 2x2. Для цього спочатку розглянемо базову конструкцію та її параметри.

2 АНТЕНА AGATA MIMO 2X2

Антенa AGATA MIMO 2x2 є абонентською антенною для використання у мережах 2G, 3G, 4G (LTE 2600, LTE 1800), WIFI і іншими пристроями діапазону 1700-2700МГц. За конструкцією тип антени класифікується як синфазна решітка. Зовнішній вигляд антени представлений на рис.2.1, а внутрішня побудова -на рис. 2.3. Про розміри антени дає уявлення рис. 2.2[3].



а)

б)

а) фронтальний вид; б) вид збоку

Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд антени

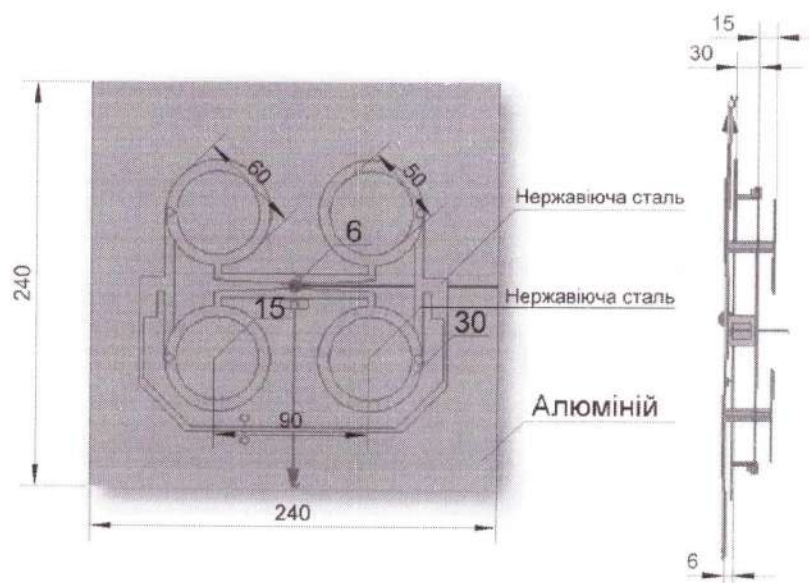


Рисунок 2.2 – Конструкція антени з розмірами

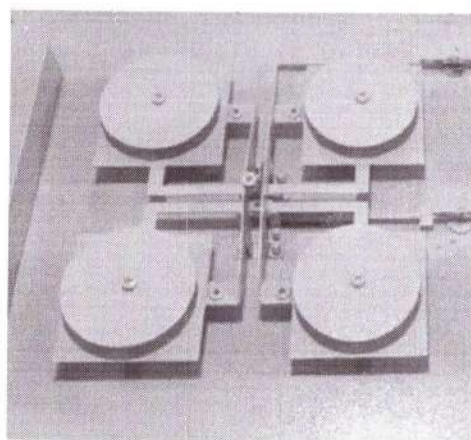


Рисунок 2.3 – Внутрішня побудова антени

Розміри антени і матеріали представлені в табл.2.1, 2.2 [3].

Таблиця 2.1 – Геометричні розміри антени AGATA MIMO 2x2

| | |
|--------------------------------------|---------|
| Рефлектор, мм | 240x240 |
| Вібратор №1, мм | d=60 |
| Вібратор №2, мм | d=50 |
| Висота вібратора №1, мм | h=30 |
| Висота вібратора №2, мм | h=15 |
| Висота конструкції на рефлекторі, мм | h=6 |
| Рознесення вібраторів, мм | 90 |

Таблиця 2.2 – Матеріали складових елементів антени AGATA MIMO

2x2

| | |
|---------------------------|------------------|
| Рефлектор | алюміній |
| Вібратор | нержавіюча сталь |
| Кріплення вібратора | нержавіюча сталь |
| Покриття захисної коробки | пластик |

Як уже зазначалося, дана антена реалізує технологію MIMO. Просторове розділення за цією технологією відбувається в антені внаслідок рознесення у просторі, поляризаційне – за рахунок використання вертикальної і горизонтальної поляризації. Спеціальне кріплення на зовнішній частині корпусу дозволяє змінювати кут місця, азимут і нахил поляризації. Електричні характеристики антени AGATA MIMO 2x2 вказані в таблиці 2.3[3].

Таблиця 2.3 – Електричні характеристики антени AGATA MIMO 2x2

| | |
|--|-----------------------------|
| Робочий діапазон частот, МГц | 1700-2700 |
| Підсилення антени (LTE), dBi | 15 |
| Рівень бічних пелюсток, dB | -12 |
| Вхідний опір, Ом | 50 |
| КСХ | 1.5 |
| Ізоляція між портами, дБ | 30 |
| Допустима потужність, Вт | 50 |
| Поляризація | вертикальна / горизонтальна |
| Механічні характеристики антени AGATA MIMO 2x2 | |
| Маса з кріпленням, г | 2865 |

Продовження таблиці 2.3 – Характеристики антени AGATA MIMO 2x2

| | |
|------------------------------------|---------------------------|
| Кріплення, мм | щогла діаметром 20 – 52 |
| Габаритні розміри без кріплення, м | 0.21x0.41x0.06 |
| Матеріал захисної коробки | полікарбонат |
| Матеріал антени | оцинкована сталь |
| Захисне покриття | порошкова полімерна фарба |

Як видно із табл.2.3, антена має досить високий коефіцієнт підсилення, низький КСХ. Активні випромінювачі вкриті герметичним корпусом, який захищає антену від зовнішніх впливів.

3 ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕНИ AGATA MIMO 2X2 ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТАМАТЕРІАЛУ

Модифікація антени AGATA MIMO 2X2 полягає у додаванні між екраном і випромінювачем підкладки із метаматеріалу. З урахуванням внесених змін лінійні параметри антени і матеріали виготовлення будуть наступними (табл. 3.1, табл. 3.2).

Таблиця 3.1 – Матеріали покращеної антени AGATA MIMO 2x2

| | |
|---------------------------|------------------|
| Рефлектор | алюміній |
| Вібратор | нержавіюча сталь |
| Кріплення вібратора | нержавіюча сталь |
| Покриття захисної коробки | пластик |
| Додаткова підкладка | метаматеріал |

Таблиця 3.2 – Геометричні розміри (у мм) елементів покращеної антени AGATA MIMO

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| Рефлектор, мм | 240x240 |
| Вібратор №1, мм | d=60 |
| Вібратор №2, мм | d=50 |
| Висота вібратора №1, мм | h=30 |
| Висота вібратора №2, мм | h=15 |
| Висота конструкції на рефлекторі, мм | h=6 |
| Рознесення вібраторів, мм | 90 |
| Підкладка із метаматеріалу, мм | 240x240x3 |

З урахуванням внесених змін внутрішню конструкцію можна представити наступним чином (рис. 3.1).

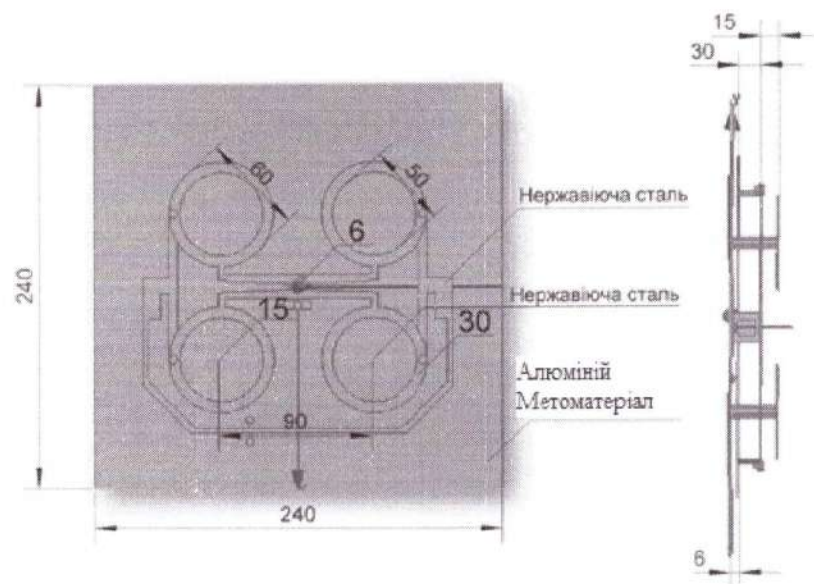


Рисунок 3.1 – Внутрішня конструкція антени

Зверху на алюмінієвий рефлектор настиляється метаматеріал ENG-типу.

4 МОДЕЛЮВАННЯ ПОКРАЩЕНОЇ АНТЕНИ АGАTА МІМО 2X2 У ПРОГРАМНОМУ ПАКЕТІ ANSYS HFSS

Для аналізу характеристик покращеної антени використовуємо спеціалізований програмний пакет ANSYS HFSS, у якому наявні всі необхідні інструменти для електродинамічного моделювання[5].

У програмному пакеті задаємо всі лінійні розміри компонентів антени і матеріал виготовлення. Перед аналізом зазначаємо сітку частот, і отримуємо результат:

А) Діаграма спрямованості в декартовій і полярній системі координат (рис. 4.1);

Б) Об'ємний вигляд діаграми спрямованості антени (рис. 4.2);

В) Залежність КСХ антени від частоти (рис.4.4);

Г) Залежність модуля коефіцієнта відбиття від частоти(рис. 4.3);

Ґ) Годограф вхідного опору антени на діаграмі Вольперта-Сміта (рис.3.3);

Д) Зазначені в (табл. 4.1) числові параметри

| Name | Theta | Ang | Mag |
|------|-----------|-----------|---------|
| max | 0.0000 | 0.0000 | 14.3294 |
| min | -180.0000 | -180.0000 | -7.7539 |

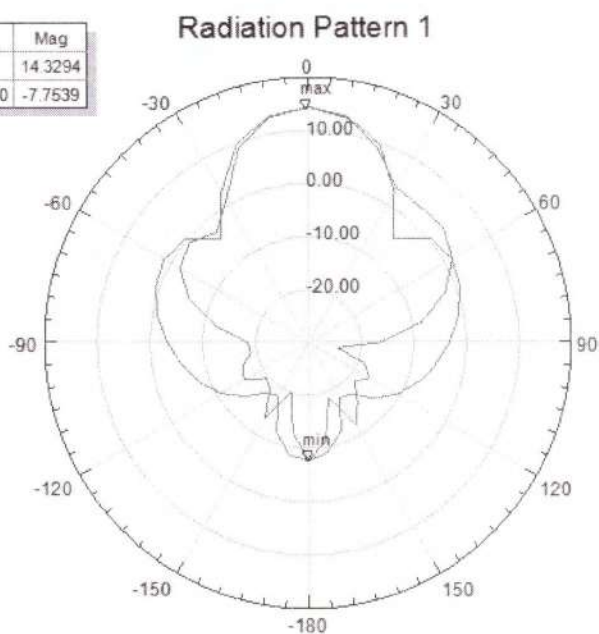


Рисунок 4.1 – Діаграма спрямованості антени в полярній системі координат

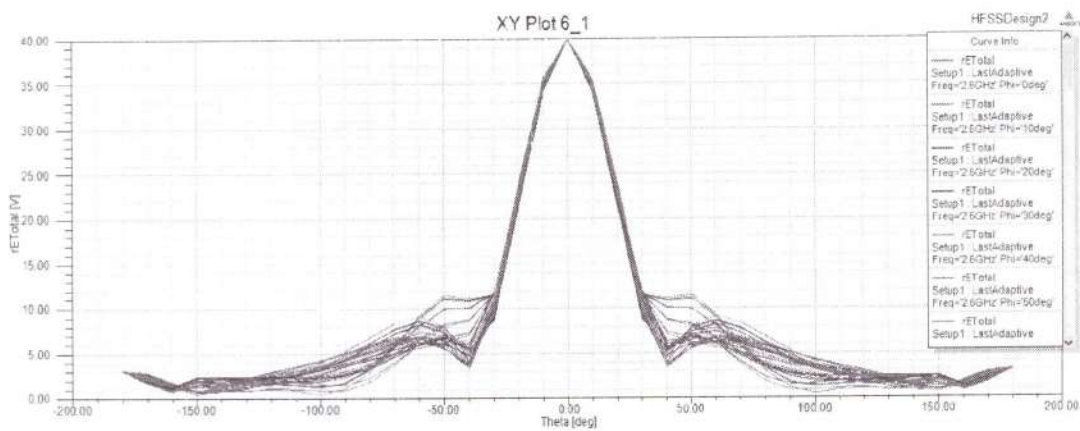


Рисунок 4.2 – Діаграма спрямованості антени в перерізі на частоті 2,6 ГГц з кроком 10 градусів в діапазоні кутів 0...50 градусів

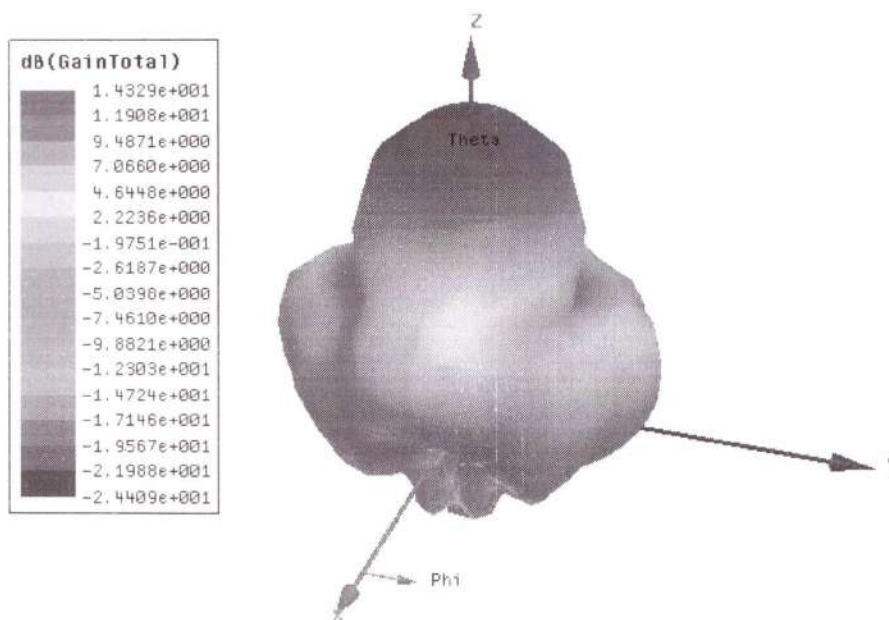


Рисунок 4.3 – Об'ємний вигляд діаграми спрямованості антени

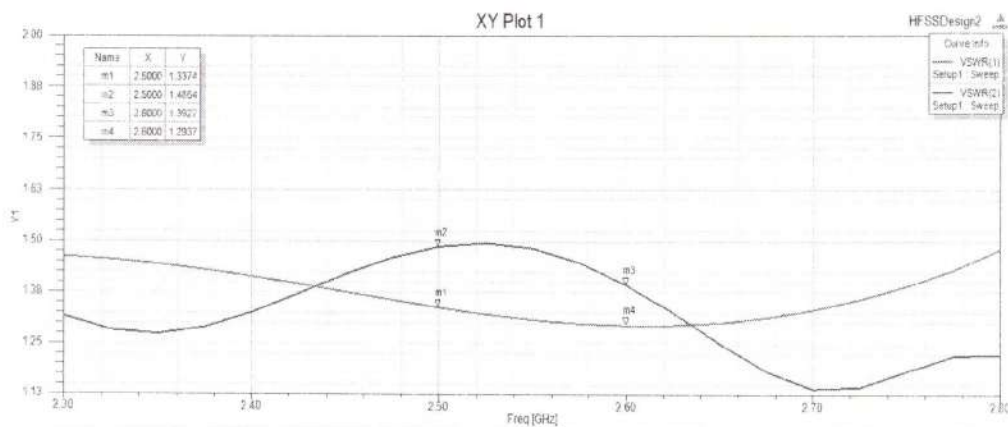


Рисунок 4.4 – Частотна залежність КСХ антени

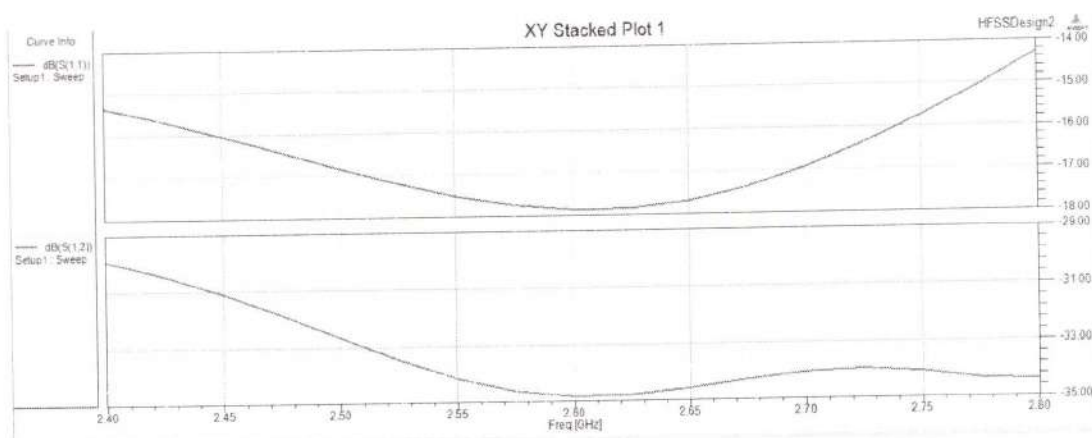


Рисунок 4.5 – Частотна залежність модуля коефіцієнта відбиття

Smith Chart 1

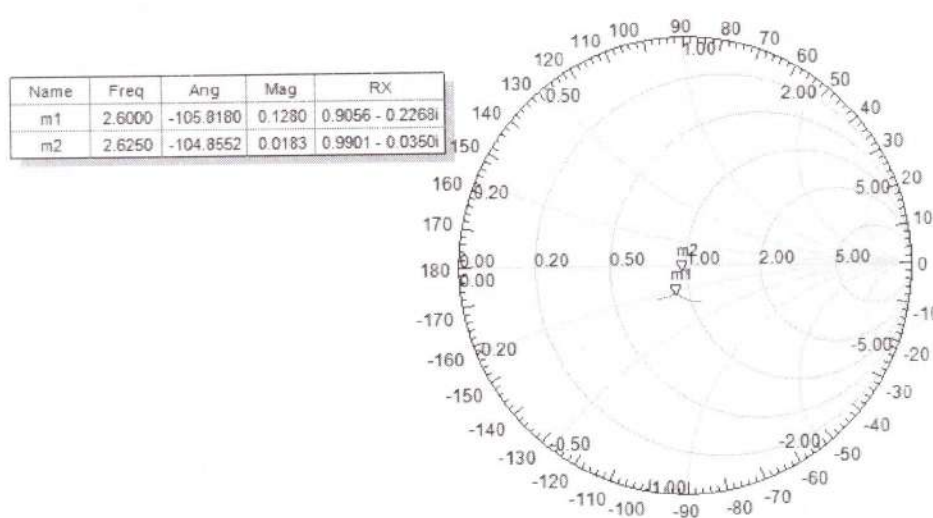


Рисунок 4.6 – Годограф вхідного опору антени на номограмі

Вольперта-Сміта

Таблиця 4.1 – Електричні характеристики побудованої антени

| | |
|------------------------------|-----------------------------|
| Робочий діапазон частот, МГц | 2400-2800 |
| Підсилення антени (LTE), dBi | 14.32 |
| Рівень бічних пелюсток, dB | не перевищує -12 |
| Вхідний опір, Ом | 50 |
| КСХ (LTE) | 1.29 |
| Ізоляція між портами, дБ | 30 |
| Допустима потужність, Вт | 50 |
| Поляризація | вертикальна / горизонтальна |

ВИСНОВКИ

Виконано теоретичні і експериментальні дослідження антени AGATA MIMO 2x2. На основі отриманих даних було розроблено спосіб покращення електричних та масо-габаритних параметрів за допомогою метаматеріалу ENG – типу. Для покращеної антени проведено аналогічні з AGATA MIMO 2x2 дослідження. Порівнюючи отримані характеристики антени з додатковим елементом із метаматеріалу і звичайної антени AGATA MIMO 2x2 можна відзначити наступне:

А) Частотні залежності антени після введення підкладки із метаматеріалу змістилися у бік більш високих частот за рахунок відповідної зміни електрофізичних параметрів підкладки з метаматеріалу.

Б) Збільшилась відносна ширина робочих частот антени.

В) З'явилася можливість зменшити масо-габаритні характеристики антени.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Слюсар В. Метаматеріали в антенній техніці: історія і основні принципи. – ЕЛЕКТРОНІКА: Слюсар В. Синтез антен на основі генетических алгоритмів. –Первая миля, 2008, № 6, с. 16-23; 2009, № 1, с. 22–25.
2. Бугрова Т.І., Поляруш Д.А. Антена широкодіапазонного доступу до інтернету з використанням технології mimo/ Тиждень науки-2019. Факультет радіоелектроніки та телекомунікацій. Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 15–19 квітня 2019 р. [Електронний ресурс] / Редкол. :В. В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. – 1 електрон. опт.диск (DVD-ROM); 12 см. – Назва з тит. екрана. ISBN 978-617-529-223-5. – С.22 – 23.
3. m.antex-ru/stone AGATA MIMO 22 BOX – широкодіапазонна панельна антена з боксом для модема 4G/3G/2G (15-17 dBi) - Антэкс - Доступно з <https://m.antex-ru/store/39023/?pos=914749> (дата звернення 10.12.2020)
4. Metamaterials: Physics and Engineering Explorations [Текст] / [Edited by N. Engheta and R. W. Ziolkowski]. – Wiley-IEEE Press, 2006.- 876pp.
5. Банков, С.Е. Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft [Текст] / С.Е Банков, А.А. Курушин.- М.: ЗАО «НПП «РОДНИК», 2009. - 256 с.
6. Кочержевский Г.Н. Антенно-фидерные устройства/ Учебник для ВУЗов. М.: Радио и связь, 1989. – 352 с.