

УДК 621.396.674.1

Фурманова Н.І.¹, Деркач Д.В.², Магльованний В.А.³

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. БК-513м НУ «Запорізька політехніка»

³ асп. НУ «Запорізька політехніка»

ПЛАНАРНІ МІКРОСМУЖКОВІ АНТЕНИ

Мікросмужкові антени (МСА), виготовлені за технологією ІС, забезпечують високу повторюваність розмірів, низьку вартість, малу металоемність, габаритні розміри, масу.

Планарні мікросмужкові антени – являють собою типи антен, які виготовляються на плоских підкладках, таких як плати з мікросмужковими структурами. Вони використовуються для передачі та отримання радіосигналів у бездротових комунікаційних системах. Ці антени мають компактні розміри, високу ефективність та можуть бути легко інтегровані в мікроелектронні пристрої, такі як смартфони, медичні пристрої, безпілотні літальні апарати та інші пристрої інтернету речей.

Типи планарних мікросмужкових антен, які використовуються залежно від конкретних потреб і вимог системи, наведено найрозповсюджені з них:

- прямокутні мікросмужкові антени - це один з найпоширеніших типів планарних антен, що складаються з прямокутної мікросмужки. Вони можуть бути одиночними або складними з декількох мікросмужок;

- круглі мікросмужкові антени - такі антени мають форму кола або диска і часто використовуються в аплікаціях, де потрібне кругле або сферичне випромінювання сигналу;

- планарні спіральні антени - ці антени мають спіральну форму і зазвичай використовуються у височастотних діапазонах, таких як GPS та супутникові комунікації;

- планарні антени з подвійним полюсом (Dipole Antennas) - вони складаються з двох провідників, які розташовані паралельно на плоскій підкладці;

- планарні антени з використанням розсіювачів (Scattering Antennas) - ці антени використовують мікроструктури, що розсіюють сигнал, для отримання бажаної діаграми напрямленості та характеристик випромінювання;

- планарні фазові антени - використовують елементи змінної фази для створення бажаної діаграми напрямленості та керування напрямком випромінювання.

- планарні антени з дефектом ґрунтової структури (DGS) - вони використовують вирізи або отвори в провідному шарі підкладки для створення резонансних ефектів, що дозволяють формувати бажану діаграму напрямленості та керувати характеристиками випромінювання.

Було обрано розробити патч-антену на 6 ГГц. Частота 6 ГГц обрана через її актуальність для сучасних бездротових систем зв'язку, таких як Wi-Fi 6E, 5G NR (New Radio), а також для перспективних застосувань у системах IoT (Internet of Things) і промислових мережах. Цей діапазон забезпечує високу швидкість передачі даних, кращу пропускну здатність і мінімізує інтерференцію, що робить його привабливим для сучасних комунікаційних технологій.

Основу антени створено шляхом масштабування існуючої патч-антени, оскільки цей метод дозволяє швидко адаптувати вже розроблену структуру до нової робочої частоти. Масштабування базується на співвідношенні геометричних параметрів антени та робочої довжини хвилі, що забезпечує простоту та точність початкового проектування. Такий підхід також дозволяє зберегти основні електромагнітні характеристики антени, зменшуючи кількість початкових обчислень і експериментів.

Після чого було додано DGS (Defected Ground Structure) для покращення характеристик антени, що є сучасним підходом до модифікації земної площини для досягнення кращих електромагнітних властивостей. DGS полягає у внесенні дефектів (вирізів, отворів або інших структурних змін) в основу антени.

Основні переваги додавання DGS:

- зниження міжмодової інтерференції - DGS створює контрольовані перешкоди для струмів на земній площині, що покращує ізоляцію між частотами;

- збільшення пропускну здатності - дефекти змінюють імпеданс антени, що дозволяє розширити робочий діапазон частот;

- поліпшення коефіцієнта підсилення - завдяки кращому фокусуванню енергії радіохвиль, досягається підвищення ефективності випромінювання;

- зниження втрат зворотного випромінювання - DGS сприяє зменшенню небажаного випромінювання в напрямках, відмінних від основного променя, покращуючи спрямованість;

- зменшення габаритів антени - включення DGS дозволяє зберігати або покращувати характеристики антени, використовуючи менші розміри підкладки.

Додатково, використання DGS допомагає чітко налаштувати параметри антени для роботи у вузькому частотному діапазоні, зменшуючи ефект від паразитних резонансів. Цей підхід робить антену більш ефективною для сучасних комунікаційних систем.

Проведена параметризація зворотних отворів у шарі міді товщиною 0.005мм. Змінювалися 2 параметри ширина(x) та довжина отвору(y), при цьому довжина була фіксована для полегшення оптимізаційної задачі.

Було проведено два дослідження. Топологія першої антени наведена на рис. 1, отримана частотна характеристика – на рис. 2.

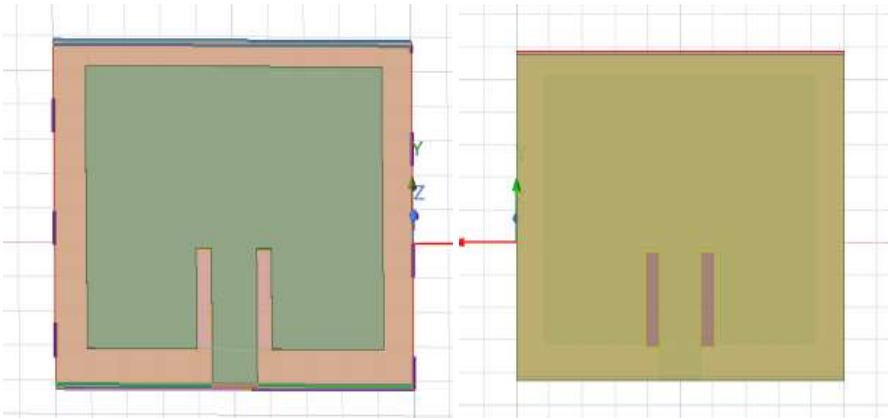


Рисунок 1 – Топологія першої DGS антени (вид зверху і знизу)

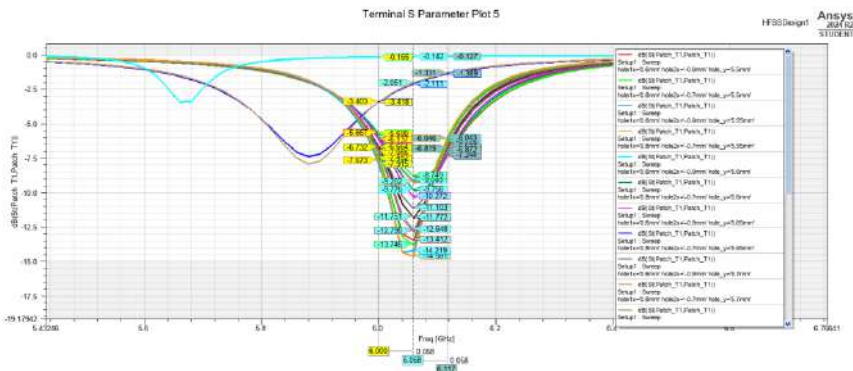


Рисунок 2 – S параметри першої DGS антени

Аналіз частотної відповіді показав наступне.

Частотний діапазон та аттенуація (загасання) - у ході аналізу було виявлено, що аттенуація антени в певному частотному діапазоні залишається стабільною в межах -5 до -7 дБ до досягнення частоти 5.9 ГГц. Це вказує на стабільну роботу антени в пасмовому (ширина смуги пропускання) діапазоні, де виріз у екрануючому шарі сприяє зниженню втрат сигналу.

Вплив ширини вирізу на частотну характеристику: Розмір та форма вирізу в екрануючому шарі можуть впливати на частотні характеристики антени. Зазвичай, збільшення ширини вирізу призводить до зменшення частоти резонансу антени, а також одночасно зі зниженням резонансної частоти може змінюватися і форма частотної характеристики. В цьому випадку, антенна система демонструє стабільну частотну відповідь до частоти 5.9 ГГц, після чого спостерігається значне зростання аттенуації, що вказує на відсічення.

Підсилювальна здатність для патч-антени з DGS є в межах -5 до -6 дБ для частот до 5.8–5.9 ГГц. Після цієї частоти зростає ослаблення сигналу, що може бути пов'язано з фільтраційними властивостями вирізу в екрануючому шарі, який виявляє підвищену аттенуацію на вищих частотах.

Смуговий діапазон патч-антени з DGS охоплює частоти від 5.5 ГГц до 5.9 ГГц, з підсиленням в межах -5 до -6 дБ. Після частоти 5.9 ГГц відбувається різке збільшення аттенуації, а саме антена виходить за межі свого робочого діапазону, де ефективність її узгодження і випромінювання знижується.

Ширина вирізу в екрануючому шарі має вирішальний вплив на характеристики антени, визначаючи її резонансну частоту та пропускну здатність у вибраному діапазоні частот.

Топологія другої антени наведена на рис. 3, отримана частотна характеристика – на рис. 4.

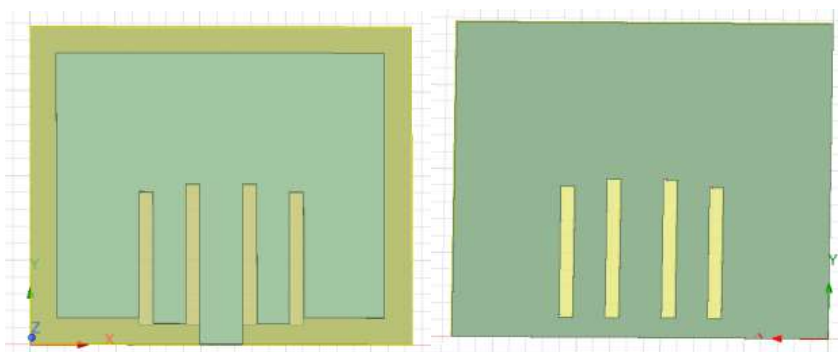


Рисунок 3 – Топологія другої DGS антени (вид зверху і знизу)

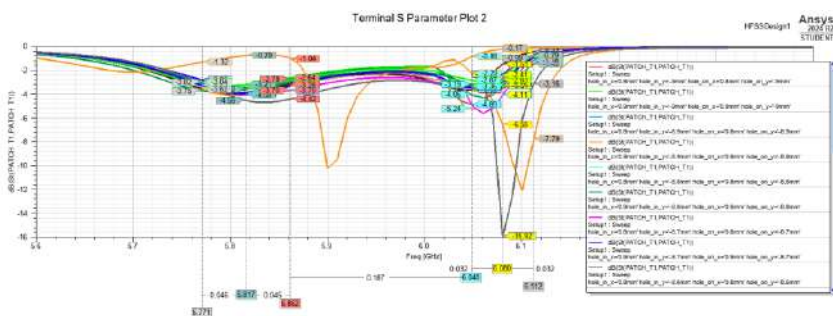


Рисунок 4 – S параметри другої DGS антени

Аналіз параметрів S для патч-антени DGS з чотирма отворами показав, що ефективна робота антени спостерігається в діапазоні частот 5.7–6.0 ГГц. Значення коефіцієнта відбиття (S11) у цьому діапазоні коливається від -2.85 до -3.75 дБ залежно від геометричних параметрів X1 і Y, що свідчать про недостатнє узгодження.

Зміна геометричних параметрів суттєво впливає на характеристики. При значеннях Y від -9 мм до -8 мм і X від 0.8 до 0.9 мм забезпечується зниження втрат сигналу. Зокрема, мінімальні значення коефіцієнта відбиття спостерігаються при Y=-8.2 і X=0.9.

У діапазоні частот вище 6.0 ГГц коефіцієнт S11 різко зростає, що вказує на межу ефективної роботи антени. Зростання втрат сигналу пояснюється ефектом вирізу в екрануючому шарі, що створює фільтраційні властивості та обмежує пропускну здатність.

Дослідження показали, що при частоті 6.612 ГГц спостерігається найвищий рівень втрат, який досягає -15.92 дБ, що є хороший показник узгодження, але в не релевантному для роботи антени. Оптимальними характеристиками виявляється стабільність роботи антени при частотах до 6.0 ГГц з мінімальними втратами.

Результати аналізу дозволяють зробити висновок, що геометричні параметри вирізу в екрануючому шарі мають вирішальний вплив на робочий діапазон частот та ефективність передачі сигналу. Оптимізація параметрів X і Y сприяє покращенню характеристик антени для використання у високочастотних системах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Vincenti Gatti, R.; Rossi, R.; Dionigi, M. Single-Layer Line-Fed Broadband Microstrip Patch Antenna on Thin Substrates. Electronics 2021, 10, 37. <https://doi.org/10.3390/electronics10010037>

зроблено на зменшенні рівня бічних пелюсток АКФ для зменшення перешкод від інших сигналів. Використанні нелінійних перетворень для збільшення ортогональності між послідовностями. Наприклад, в експериментах було виявлено, що новий підхід дозволяє знизити відношення бічних пелюсток до основної приблизно на 40% порівняно з послідовностями Гольда. Це забезпечує більш точне виділення сигналу навіть за високого рівня завад. Ключовим методом, застосованим у дослідженні, є нелінійне перетворення послідовностей, яке динамічно адаптується до умов середовища. Такий підхід дозволяє отримати більшу варіативність послідовностей без погіршення їхніх спектральних властивостей. Розроблений алгоритм тестувався у моделюванні роботи радіотехнічної системи в умовах сильних завад. Основні результати Зниження рівня завад. У класичних послідовностях, таких як Гольд чи Касамі, відношення бічних пелюсток АКФ до основної становить близько 0.3. У новому алгоритмі це значення вдалося знизити до 0.18. Точність прийому сигналу. При моделюванні системи з рівнем сигнал/шум (SNR) 10 дБ і використанні нових послідовностей частота помилок зменшилась на 15% порівняно з класичними підходами. Ефективність багатокористувацької роботи. Завдяки покращеній взаємній кореляції між послідовностями вдалося збільшити кількість одночасних користувачів у системі без погіршення якості зв'язку. Ці результати підтверджують, що вдосконалений алгоритм є перспективним рішенням для застосування у складних умовах роботи радіотехнічних систем. Практичне значення запропонованого методу формування ППП може знайти застосування у багатьох сферах, зокрема, у системах мобільного зв'язку (4G, 5G), де важлива висока спектральна ефективність, у навігаційних системах, таких як GPS або ГЛОНАСС, для підвищення точності визначення координат у військових і космічних технологіях, де необхідно забезпечити стійкість сигналу до навмисних завад. Використання вдосконалених ППП дозволяє знизити витрати на передачу енергії, збільшити пропускну здатність систем і підвищити їхню стійкість у завадовому середовищі. Висновки роботи наступні. Розроблений новий метод формування псевдошумових послідовностей із покращеними автокореляційними властивостями відкриває широкі перспективи для підвищення ефективності та завадозахищеності радіотехнічних систем. Завдяки зниженню рівня бічних пелюсток автокореляційної функції та впровадженню нелінійних перетворень вдалося досягти значного покращення параметрів системи. Подальші дослідження будуть спрямовані на оптимізацію алгоритму для широкосмугових систем і перевірку його ефективності у польових умовах.