

СЕКЦІЯ «РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ»

УДК 621.396.67

Бугрова Т.І.¹

¹ доц. ЗНТУ

КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТАМАТЕРІАЛІВ ЗА ЇХ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Метаматеріали - це штучно сформовані і особливим способом структуровані середовища, що мають електромагнітні властивості, які складно досягти технологічно і неможливо зустріти в природі, такі структури, чії електромагнітні властивості виходять за межі властивостей утворюючих їх компонентів. Все різноманіття природних і штучних середовищ можна класифікувати в залежності від значень їх діелектричної (ϵ) і магнітної (μ) проникностей (рис. 1). У майже всіх природних речовин діелектрична і магнітна проникності більше нуля. У зарубіжній літературі такі матеріали зазвичай називають DPS (double positive), підкреслюючи цим позитивність значень як ϵ , так і μ (правий верхній квадрант на рис. 1, а).

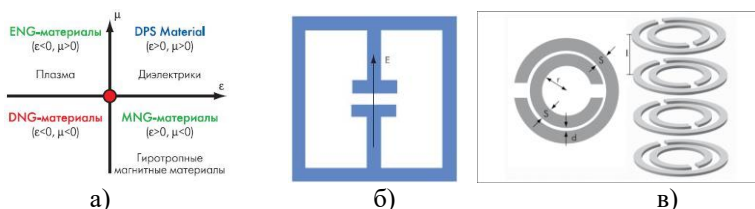


Рисунок 1 - Класифікація фізичних середовищ в залежності від знаку величин діелектричної (ϵ) і магнітної (μ) проникностей (а), ENG - і MNG-середовище у вигляді планарного коливального контуру (б) і дискретних вирізок рулетного елемента (в)

DNS-середовища вважаються прозорими для електромагнітних хвиль, якщо внутрішні втрати в них малі. Матеріали, у яких негативна ϵ або μ , називають SNG (single negative, мононегативні) [1]. В таких середовищах електромагнітні хвилі швидко згасають по експоненті. Вважають, що матеріали непрозорі для випромінювання, якщо їх товщина більше, ніж характерна товщина. Метаматеріали дозволяють скоротити розміри антен в десятки разів без погіршення їх електричних властивостей, в цьому полягає їх перевага. Найбільш відомим прикладом природного ENG-середовища є плазма, яка може бути або прозорою, або непрозорою для електромагнітних

хвиль, в залежності від частоти збудження ω . Діелектрична проникність плазми за відсутності зовнішнього магнітного поля визначається як

$$\epsilon(\omega) = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}, \quad (1)$$

де ω_p – радіальна плазмова частота, що залежить від щільності, величини заряду і маси носіїв зарядів. Нижче плазмової частоти діелектрична проникність негативна, і електромагнітні хвилі не можуть поширюватися через втрату середовищем прозорості. При $\omega > \omega_p$ величина $\epsilon > 0$, і електромагнітні хвилі можуть проходити крізь іонізоване середовище (1). В якості штучних середовищ з негативною ϵ однією з перших була запропонована система з тонких металевих проводів, розташованих паралельно з радіусом $r = 1$ мкм і інтервалом між ними $a = 5$ мм, при цьому радіальна плазмова частота становить приблизно 8,2 ГГц. ENG-матеріалом є також елементи зі структурою у вигляді індуктивних петель, утворених двома розрізаними рамками, які створюють взаємно протилежні магнітні поля, що компенсують одне одного. На основі таких структур отримано метаматеріал з негативним ϵ в терагерцовому діапазоні. При міжелементних інтервалах у 50 мкм зовнішні габарити рамки склали всього 36 мкм, а ширина розрізу на центральній перемичці – 2 мкм. Для досягнення ізоτροпії метасередовища по відношенню до напрямку електромагнітних хвиль запропоновано тривимірні форми структуроутворюючих елементів. Основні структури, що використовуються для отримання MNG-середовищ, сьогодні включають тонкі вкладені металеві циліндри, структури типу "рулет", вкладені розрізні кільця, Ω -подібні і прямокутні рамки і т.д. Найбільш важливі з них – подвійний кільцевої резонатор (splitring resonator, SRR) – дуже вдала структура, в якій ємність між двома кільцями компенсується їх індуктивністю. Змінюване в часі магнітне поле з вектором напруженості, який є перпендикулярним до поверхні кілець, викликає потоки, які, в залежності від резонансних властивостей структури, породжують вторинне магнітне поле, що або посилює вихідне, або протидіє йому. Це призводить до позитивних або негативних ефективних значень μ . Подвійний циліндр в якості структурного осередку для створення MNG-матеріалів можна замінити так званим рулетним елементом, який формується при згортанні в рулон металевого листа. Замість суцільного подвійного циліндра на практиці використовують набір його дискретних перетинів, які розташовуються в стеці один над одним з певним інтервалом. Аналогічні стекові рішення можливі також на основі дискретних вирізок рулетного елемента (рис. 1, в).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Миттра, Р. Критический взгляд на метаматериалы. [Текст] /Р. Миттра
// Радиотехника и электроника, 2007. – том 52. – № 9. – С. 1051–1058.