

Висновки

Доведено можливість створення АР за трикутною схемою розташування випромінювачів.

Використовуючи вагові коефіцієнти можливо керувати ДС АР.

З отриманих даних видно що результати вимірювання кутових координат джерела завади, тобто формування "нуля" ДС для трикутної схеми повністю співпадають з прямокутною схемою, тобто доведено можливість використання трикутної схеми розташування випромінювачів в АР САНС без втрати якісних параметрів. Використання трикутної сітки дозволяє зменшити число випромінювачів від 30% до 50% (табл. 1), а відповідно і апаратні витрати в порівнянні з числом елементів і апаратних витрат з прямокутною сіткою.

Література

1. Глушим системы спутниковой радионавигации - американскую GPS и русскую одним ваттом. ГЛОНАСС ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПАДАЮЩИХ ТОМАГАВКОВ. Електронний ресурс: <http://kiev-security.org.ua>

2. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решеток / В. С. Филиппов, Л. И. Пономарев, А. Ю. Гринев и др.; Под ред. Д. И. Вознесенского. – М.: Радио и связь, 994. – 592 с.

3. Авиационная электросвязь. Том 1 Радионавигационные средства. Приложение 10 к Конвенции о международной гражданской авиации. – М.: Международная организация гражданской авиации – 2006. с. – 598.

Надійшла до редакції
10.1.2013 р.

УДК 621.396.12

І. І. ЧЕСАНОВСЬКИЙ, М. О. ЛАНТВОЙТ, О. С. ГОЛЕЦЬ

Хмельницький національний університет

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТАМАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ АНТЕН В РАДІОЕЛЕКТРОННІЙ АПАРАТУРІ

В роботі висвітлені основні сучасні досягнення та тенденції щодо використання метаматеріалів в оптичних та електродинамічних застосуваннях. Показано, що за допомогою композитних метаматеріалів можливе вдосконалення не тільки оптичних систем, а і досягнення значного виграшу в основних параметрах антен. Застосування електродинамічних метаструктур підвищує ефективність випромінювання, що дає змогу збільшити ефективну площу антен не змінюючи загальної площі. Показано, що за рахунок застосування мета матеріалів в дзеркальних антенах досягається значне зниження рівня бокових пелюсток.

Ключові слова: композитні метаматеріали, ефективність випромінювання, ефективна площа антени, діаграма спрямованості, коефіцієнт спрямованості, оптична система, дзеркальна антена.

I. I. CHESANOVSKYY, M. O. LANTVOYT, O. S. GOLETS

Khmelnytsky national university

APPLICATION METAMATERIALS FOR CREATION ANTENNAS IN ELECTRONIC EQUIPMENT

Abstract – This paper covered the main achievements and trends in the use metaterialiv in optical and electromagnetic applications. It is shown that using composite metamaterials may improve not only optical systems, and achieving significant gains in terms of main parameters of antennas. Application of electromagnetic radiation metastructure increases efficiency, allowing to increase the effective area of antennas without changing the total area. It is shown that by using metamaterials reflector antenna achieved a significant reduction in side lobe.

Keywords: composite metamaterials, radiation efficiency, the effective area of the antenna radiation pattern, directivity factor, the optical system, mirror antenna.

Вступ. Постійне підвищення вимог до ефективності радіоелектронних систем обумовлює активний пошук нових інженерних рішень та системного підходу при їх проектуванні. Окремим питанням можна виділити частотну ефективність радіоелектронних систем, що в умовах ущільнення частотного діапазону та жорсткого регулювання електромагнітної сумісності накладає значні обмеження на їх основні характеристики. Часткове вирішення даної проблеми в стаціонарних радіоелектронних системах досягається за рахунок просторового обмеження електромагнітного випромінювання при використанні направлених антен. Проте, відносно великі габарити антенних пристроїв, в найбільш застосовуваному дециметровому радіодіапазоні, робить малоефективним такий підхід. Одним із новітніх підходів збільшення ефективності (апертури) антен, є застосування нового типу матеріалів – метаматеріалів, що володіють від'ємними коефіцієнтами заломлення хвиль і дають змогу підвищувати спрямовані властивості антен вище

потенційних рівнів, що обмежуються реальною апертурою. При цьому, слід зазначити, що «метавластивостями» в радіодіапазоні володіють не тільки певні матеріали, а і просторові провідникові конструкції (решітки), в яких забезпечується певне співвідношення фазової та групової швидкостей.

В загальноприйнятому визначенні, метаматеріали – це штучно створенні та особливим способом структуровані середовища, які мають електромагнітні властивості що не зустрічаються в природі. Історія розвитку даних матеріалів офіційно розпочинається з 1904 року коли Г. Лемб та А. Шустер розвили теорію зворотніх хвиль внаслідок чого з'явилась від'ємна групова швидкість хвилі. У тому ж 1904 А. Шустер публікує узагальнену теорію зворотніх хвиль та доказує, що зворотні електромагнітні хвилі існують при від'ємній груповій швидкості, а також, що на границі двох середовищ в одній з яких розповсюджується пряма хвиля, а в іншій зворотня, виникає від'ємне заломлення. Згодом у 1940 році Л.І.Мондельштам в лекції по оптиці дав більш загальну характеристику роботам А. Шустера та показав залежність закону заломлення при умовах падіння хвиль з вільного простору в середовище де фазова та групова швидкість направлена на зустріч один одному рисунок 1.

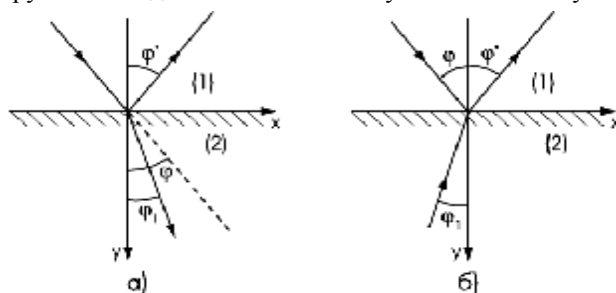


Рис. 1. Ілюстрації Мендельштама заломлення променя: а) в звичайному середовищі, б) в середовищі де групова швидкість від'ємна

Проте, найбільший внесок в розвиток метаматеріалів вніс В.Г. Веселаго, який обґрунтував можливість існування фізичних середовищ з від'ємним коефіцієнтом заломлення, але на жаль не маючи технологічних можливостей підтвердити на практиці про метаматеріали почали забувати, але приблизно з 1998 року вже маючи можливість створити такі матеріали їх знову почали досліджувати та помітили, що дані ефекти лівостороннього заломлення можуть бути використанні в багатьох сферах наприклад в створенні плаща невидимки, антенній техніці і т. д.

Метаматеріали в електродинамічних застосуваннях антенної техніки. За останні роки інтерес до метаматеріалів сильно зростає і у фахівців в галузі антенної техніки. На сьогоднішній день, існує досить велика кількість варіантів створення антен з різними рисунками на друкованих платах з від'ємною магнітною та (або) електричною проникливістю в різних варіантах. Розглянемо основні з них:

1. Структура метаматеріалу призначеного для роботи в мікрохвильовому діапазоні частот створеним за допомогою спіралей рис. 2.

Основна ідея створення такої структури полягає в тому, що спіралі L_1 та L_2 закручені в сторону протилежну спіралям L_3 та L_4 . Магнітне поле хвилі збуджує у такій комірці сумарний магнітний момент за рахунок додавання моментів в спіралях L_2 та L_4 . Різне направлення закрученості необхідне для усунення обертання площини поляризації, викликаного ефектом кіральності. Електричне поле збуджує електричний дипольний момент, не збуджуючи магнітного. Внаслідок чого, на частоті 2,8 ГГц отримуються від'ємні значення магнітної та електричної проникливості рис. 2 б. Тобто з рисунку 2 видно, що вже на даний момент у діапазоні 2 – 3 ГГц може існувати лівостороннє заломлення та показує що, фазова та групова швидкість мають зустрічне направлення. Дані явища можна використати для підвищення ефективності приймально – передавальної радіоапаратури.

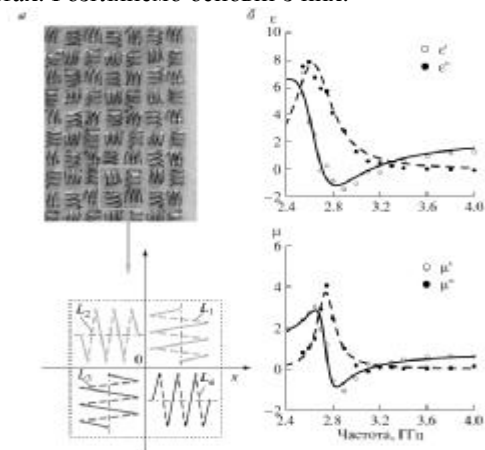


Рис. 2. Структура метаматеріалу для роботи в мікрохвильовому діапазоні, де а – вигляд структури, б – його частотні характеристики

2. Структура метаматеріалу на основі подвійних розірваних кілець та штирів для збудження дипольного моменту рис. 3. Даний метод є також, як і попередній, комбінованим.

В ньому за від'ємну магнітну проникливість «відповідають» подвійні розірвані кільця рис. 4., а за від'ємну діелектричну проникливість – штирі з певними геометричними розмірами рис. 5. Також можна створити метаструктуру з від'ємною магнітною або електричною проникністю окремо. Для розрахунку частоти та значень магнітної і діелектричної проникливості можна скористатися наступними формулами та методиками.

Для розрахунку діелектричної проникливості необхідно виконання умови,

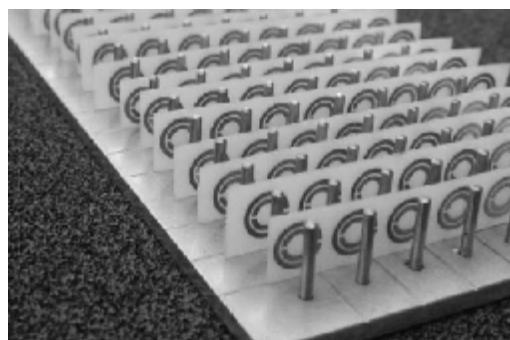


Рис. 3. Структура метаматеріалу на основі подвійних розірваних кілець та штирів

$$e(w) = 1 - \frac{w_p^2}{w^2}; \quad (1)$$

де w_p – радіальна плазмова частота, w – частота на якій буде працювати система, з формули видно, що при умові $w < w_p$ діелектрична проникність стає від’ємною. Отже для створення метаструктури з діелектричною проникністю меншою нуля необхідно знайти резонансну частоту, яка виражається наступною формулою:

$$w_p = \sqrt{\frac{2 \cdot p \cdot c_0^2}{a^2 \cdot \ln\left(\frac{a}{2 \cdot p \cdot r}\right)}}; \quad (2)$$

При умові, що c_0 – швидкість світла в вакуумі a – відстань між провідниками, r – радіус провідника рис. 6. Звідси випливає, що резонансною частотою можна керувати за рахунок зміни геометричних розмірів, а саме радіуса провідника та відстані між провідниками, при обов’язковій умові, що розташування провідників буде суворо на однакових відстанях як показано на рис. 6.

Маючи від’ємну діелектричну проникність можна розрахувати магнітну проникність. Порядок розрахунку схожий, але має певні особливості. Магнітна проникливість може бути розрахована з формули,

$$m(w) \approx 1 - \frac{w_{pm}^2}{w^2}; \quad (3)$$

де w_{pm} – резонансна частота, w – частота на якій

буде працювати система. Формула (3) є аналогією формули (1), але з різницею в тому, що у формулі (3) проводиться розрахунок магнітної проникливості. По аналогії з діелектричною проникністю знаходиться резонансна частота для забезпечення необхідного значення магнітної проникності. Це можна зробити з наступної формули

$$w_{pm} = \sqrt{\frac{3 \cdot d \cdot c_0^2}{p^2 \cdot r^3 \cdot \left(1 - \frac{p \cdot r^2}{a^2}\right)}}; \quad (4)$$

де r – внутрішній радіус найменшого кільця рис. 4, d – відстань (зазор) між кільцями, a – відстань між комірками, c_0 – швидкість поширення світла. Необхідно врахувати, що частота на якій буде працювати система лежить в межах між резонансними частотами, тобто необхідне виконання умови $w_{pm} > w > w_{0m}$, де w_{0m} – резонансна частота, що визначається з наступної формули

$$w_{0m} = \sqrt{\frac{3 \cdot d \cdot c_0^2}{p^2 \cdot r^3}}; \quad (5)$$

Таким чином, при застосуванні таких конструкцій і виконанні умов щодо частоти, в розкритій апертурі антени можливо створити пасивну резонансну решітку, що характеризується від’ємними значеннями кутів магнітної та електричної проникності і може слугувати засобом додаткового фокусування поля електромагнітного випромінювання. Дане припущення повністю підтверджується результатами моделювання. На рис. 6 показано метаструктурну комірку що побудована з умовою досягнення негативних значень магнітної та електричної проникливості з геометричними розмірами такими як: $a = 3.2$ мм, $b = d = h = 0.25$ мм, $c = 2.62$ мм, $e = 0.3$ мм, $f = 0.46$ мм, $g = 3$ мм.

Модель антени складається з декількох комірок рознесених на 8 мм. В результаті проведено моделювання для даної моделі антени було отримано частотні характеристики, що представлені на рис. 7. 3

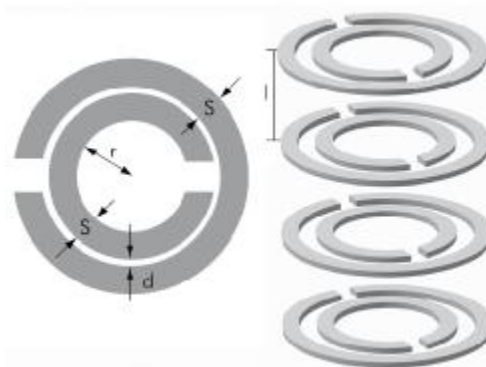


Рис. 4. Подвійний кільцевий резонатор

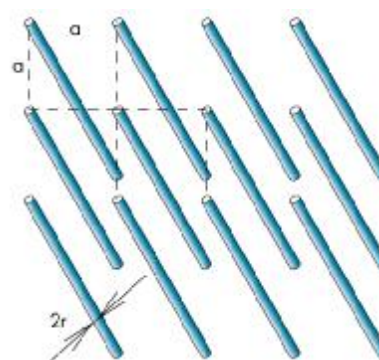


Рис. 5. Структура для створення від’ємної діелектричної проникливості

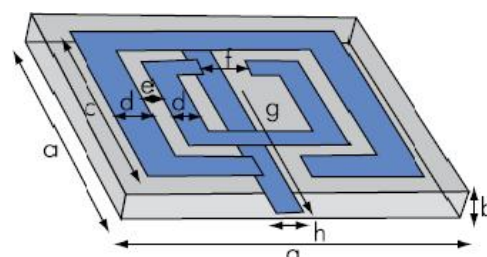


Рис. 6. Комірка з метаматеріалу на основі негативної магнітної та електричної проникливості

даних графіків видно, що при $\mu=\varepsilon=1$ на частоті 7,7 ГГц така решітка практично не виявляє ніякої частотної вибіркості, оскільки її розміри значно менші половини довжини хвилі, що повністю відповідає загальноприйнятим уявленням.

Проте, при виборі розмірів даної конструкції також значно менших за довжину хвилі, але які складають 0.2λ (виконується умова $\mu=\varepsilon=-1$) частотна характеристика конструкції аномально змінюється. Антена решітка такої конструкції, починає володіти яскраво вираженою частотною вибіркостю, що значно впливає в напрямлені властивості. На рис. 8 приведено результати експериментального дослідження випромінюючих властивостей елементарного випромінювача, та вплив на них пасивної решітки, в якій реалізовано принцип метаматеріалу. На графіку пунктиром, показано діаграму спрямованості випромінювача у відкритому просторі, а сплошною лінією діаграму спрямованості випромінювача через метаматеріал. З даного експерименту видно, що дійсно можна за допомогою метаматеріалу звузити діаграму спрямованості.

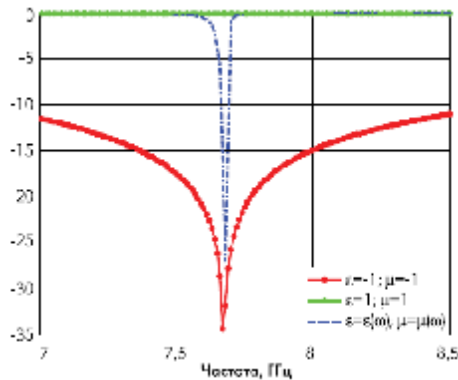


Рис. 7. Графік залежності випромінювання сигналу від значень μ та ε

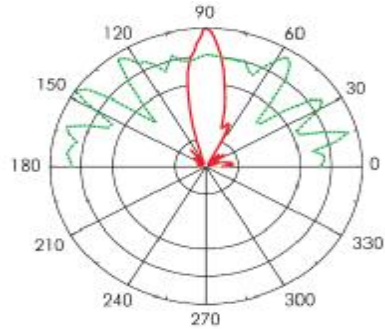


Рис. 8. Нормалізована діаграма спрямованості елементарного випромінювача на частоті 10,6 ГГц

Висновок. Таким чином, здатність мета матеріалів (мета структур) концентрувати електромагнітну енергію що проходить через їх площу, може бути використана в різних радіотехнічних застосуваннях. Особливо важливими, досягнення в даному напрямку, може бути при освоєнні вищих радіодіапазонів – міліметрового та субміліметрового, що на сьогоднішній день набувають все більшого значення. Застосування в дзеркальних антенах сантиметрового діапазону, як показують експериментальні дослідження, мета матеріали дають змогу значно зменшити рівень неосновних пелюсток діаграми спрямованості за рахунок підвищення спрямованості опромінювача.

Література

1. Веселаго В.Г. Электродинамика веществ с одновременно отрицательными значениями ε и μ . / В.Г. Веселаго // Успехи физических наук, 1967, т.92, № 7, с. 517– 526.
2. Мандельштам Л.И. Лекции по некоторым вопросам теории колебаний (1944 г.). Четвертая лекция / Л.И. Мандельштам. – В кн.: Мандельштам Л.И. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. – М.: Наука, 1972, с. 431– 437.
3. Пахотин В.А. Излучение электрически короткой антенны из ограниченного объема газоразрядной плазмы / В.А. Пахотин. – Письма в ЖТФ, 2007, том 33, вып. 8, с. 22– 29.
4. Слюсар В. Диэлектрические резонаторные антенны. Малые размеры, большие возможности / В. Слюсар. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2007, № .4, с. 89– 95.
5. Слюсар В. Метаматериалы в антенной технике: история и основные принципы / В. Слюсар. – Электроника: НТБ, 2009, № .7, с. 70– 79.

Надійшла до редакції
6.2.2013 р.