

Висновки

Аналіз взаємодії поля і КС дозволяє виявити особливості внутрішньої і зовнішньої локалізації поля, що безпосередньо визначає формування характеристик КС. Поодинокі та подвійні неоднорідності у формі металізованих отворів в діелектричній основі забезпечують високу локалізацію поля, необхідну для високоефективних ЕК.

Література

1. Назарько А.І., Тимофєєва Ю.Ф., Нелін Є.А. Ефективність неоднорідностей електромагнітних кристалів // Вісник НТУУ «КПІ». Серія — Радіотехніка. Радіоапаратобудування. — 2010. — Вип. 40. — С. 141–143.
2. Нелін Е.А. Импедансная модель для “барьерных” задач квантовой механики // УФН. — 2007. — Т. 177. — №3. — С. 307–313.
3. Тимофєєва Ю.Ф., Назарько А.І., Нелін Є.А. Фотоннокристалічний пристрій. Патент України на корисну модель № 47242. — 2010. — Бюл. №2.

Назарько А. І., Тимофєєва Ю. Ф., Нелін Є. А. Взаємодія електромагнітного поля з неоднорідностями електромагнітних кристалів. Розглянуто особливості взаємодії електромагнітного поля з різними типами неоднорідностей електромагнітних кристалів. Приведено розподіли напруженості електричного поля.

Ключові слова: кристалоподібна структура, електромагнітний кристал.

Назарько А. И., Тимофеева Ю. Ф., Нелин Е. А. Взаимодействие электромагнитного поля с неоднородностями электромагнитных кристаллов. Рассмотрены особенности взаимодействия электромагнитного поля с разными типами неоднородностей электромагнитных кристаллов. Приведены распределения напряженности электрического поля.

Ключевые слова: кристаллоподобная структура, электромагнитный кристалл.

Nazarko A. I., Timofeeva, Yu. F., Nelin E. A. Interaction of electromagnetic field with the inhomogeneities of electromagnetic crystals. The interaction of electromagnetic field with different types of electromagnetic crystals' inhomogeneities is considered. Distributions of electric field are presented.

Keywords: crystal-like structure, electromagnetic crystal.

УДК 621.396.67

УЛЬТРАШИРОКОСМУГОВА РУПОРНА АНТЕНА ДІАПАЗОНУ ЧАСТОТ 1–20 ГГЦ З НИЗЬКИМ РІВНЕМ БІЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Дубровка Ф.Ф., Сушко О.Ю.

Рупорні антени широко використовуються для приймання та передавання радіосигналів у НВЧ діапазоні частот завдяки простій конструкції, легкому збудженню та високій ефективності. Основні області їх використання – опромінювачі дзеркальних антен та вимірювальні антени. Недоліком класичних рупорних антен (РА) є недостатньо широка робоча смуга частот, що не дозволяє використовувати їх в системах моніторингу електромагнітної обстановки та інших ультраширокопосмугових (УШС) радіосистемах з необхідним перекриттям по частоті 2:1 і більше. Для таких застосувань ще в 1961 році запропонована Шіміцу [1] ребриста рупорна антена

(РРА). Але на той час не було інструментів для точного розрахунку та вимірювання характеристик УШС антен. Вперше РРА разом із коаксіальним живленням була строго проаналізована К. Брунсом [2] у 2003 році за допомогою повнохвильового методу моментів. У [2] наголошено на основному недоліку антен такого типу – відсутності максимуму випромінювання в осьовому напрямку на частотах вищих 12 ГГц при робочому діапазоні частот 1-18 ГГц. На цих частотах у діаграмі спрямованості (ДС) виникають бічні максимуми в діагональних площинах. Такі ж ефекти мають місце і в РРА чотирьох різних виробників [2]. У [3] В. Родрігесом запропонована нова конструкція РРА без бічних стінок та із зменшеними розмірами, але і в цій конструкції все ще існують незначні провали в підсиленні та $KСХН > 2.0$. Тегацом та ін. [4] запропонована модифікована РРА з діелектричною вставкою між ребрами та узгоджуючим поглинаючим матеріалом в задній частині живлення для застосування в якості GPR антени. Але на нижчих частотах втрати на відбиття сягають -5 дБ, а ДС має головні максимуми не в осьовому напрямку на частотах вище 12 ГГц. Детально деградацію ДС описав Д. Бауман та ін. в [5], де для дослідження використано метод FVTD та виміри в безлунній камері. Відомі також варіанти двополяризаційних УШС РРА з 4 ребрами [6], але в них спотворені ДС на високих частотах та $KСХН$ на деяких частотах сягає значень 3.0.

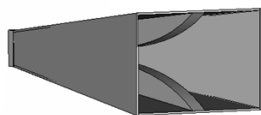


Рис. 1.

Аналіз параметрів УШС РРА найбільш відомих світових виробників (Rohde&Schwarz, Q-par Angus, Sunol Sciences, A. H. Systems, ETS Lindgren та ін.) свідчить про те, що мають місце провали коефіцієнту підсилення (КП) в осьовому напрямку (значить мають місце високий рівень бічних пелюсток та спотворення ДС), а значення $KСХН$ перевищує 2.0. Отже, актуальною є задача розробки УШС РРА для діапазону частот 1–20 ГГц з високою ефективністю, $KСХН < 2.0$, максимумом ДС в осьовому напрямку, рівнем бічних пелюсток < -10 дБ, яка відрізняється простою, має технологічну конструкцію та мінімальні розміри.

Внесені модифікації

Розрахунок параметрів антени та її оптимізація проведено в пакеті програм CST Microwave Studio 2006, що базується на методі FDTD. У зазначеному пакеті вдалося детально змоделювати структуру антени разом із коаксіальним живленням. При цьому металеві частини вважались ідеальними провідниками. Обчислення характеристик РРА методом FDTD проводиться для всього діапазону частот за один розрахунок.

Для збільшення робочої смуги частот РА використовують ребра (рис. 1), наявність яких дозволяє зменшити критичну частоту основного типу хвилі H_{10} прямокутного хвильоводу та розширити смугу частот одномодового режиму. В конструкції (рис. 1) вибрано ребра експоненціальної форми для узгодження хвильових опорів кабелю та вільного простору. УШС антени

досягається за допомогою спеціального переходу від коаксіальної лінії живлення до Н-хвилеводу. Саме цей вузол разом із узгоджувальним резонатором та розміщенням і розмірами ребер визначають ширину смуги узгодження антени з кабелем живлення. Як показали числові дослідження та практика, вдало вибрана конструкція переходу може забезпечити задовільне узгодження у смузі частот з перекриттям 20:1.

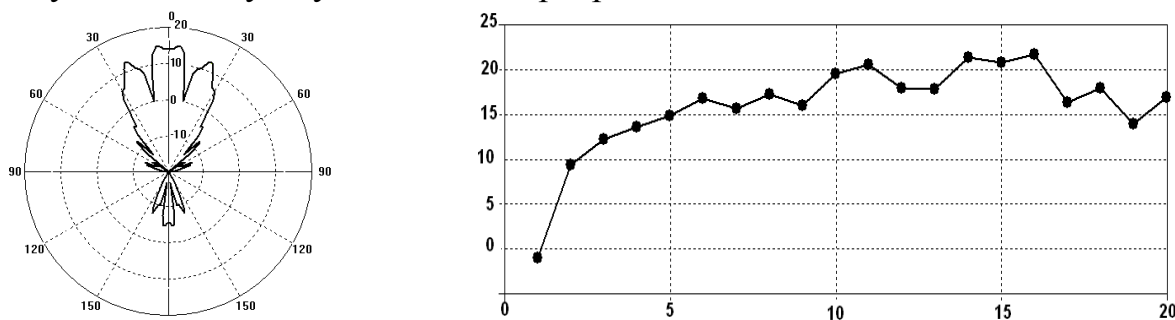


Рис. 2. Типові ДС та підсилення звичайної PPA

Для звичайної конструкції УШС PPA (рис. 1) із суцільними бічними стінками ДС на частотах вище 12 ГГц сильно порізана, не спостерігається чіткий осьовий максимум. На рис. 2 показана типова ДС для таких частот, а також графік осьового підсилення в залежності від частоти. Видно, що рівень бічних пелюсток майже досягає осьового максимуму. Таку ДС можна кваліфікувати як трипелюсткову, яка принципово не придатна для використання в системах моніторингу електромагнітної обстановки.

Для забезпечення однопелюсткової ДС та низького рівня бічних пелюсток ми здійснили наступні модифікації:

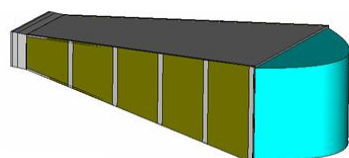


Рис. 3.
Модифікована УШС PPA

1. Суцільні металеві бічні стінки замінили діелектричними пластинами з металевими перегородками шириною 5 мм (рис. 3). Цими металевими перегородками підтримуються струми основної Н-хвилі, а діелектричні бічні стінки виконують функцію герметизації конструкції антени і в певній мірі зменшують бічні пелюстки в Н-площині. Числові експерименти показали, що діелектрична проникність матеріалу бічних стінок значно впливає на КСХН антени, причому при її зменшенні узгодження покращується. Тому для досягнення мінімального КСХН бічні стінки доцільно виготовляти з пінополістиролу (відносна діелектрична проникність 1.2). Встановлено, що ширина металевих перегородок не суттєво впливає на характеристики антени.

2. Використали діелектричні лінзи в Е- та Н-площинах. Основи діелектричних лінз мають розміри апертури. Оскільки металеві ребра розміщені в Е-площині, із конструктивних міркувань доцільно розмістити Е-лінзу всередині рупора, а Н-лінзу зовні (рис. 3). Такі лінзи фокусують випромінювання вздовж осі та підвищують коефіцієнт підсилення PPA на 2-5 дБ в діапазоні частот.

3. Зменшили розміри антени, а, відповідно, і апертури. Це дозволило покращити ДС у верхній частині при незначному зменшенні КП антени, знизити рівень бічних пелюсток та вирівняти його частотну характеристику.

Також відмічено залежність ДС на всіх частотах від КСХН. Чим менше значення КСХН на даній частоті, тим краща ДС і менші бічні пелюстки. Тому всіма можливими методами КСХН мінімізоване. Високий КП антени досягається за допомогою двох чинників: використання лінз та збільшення довжини рупора до оптимальної.

Частотна залежність КП модифікованої РРА показана на рис. 4 (G_{real}). На тому ж рисунку для порівняння наведено графік КП майже ідеального рупора з такою ж апертурою, обчисленого по формулі: $G = \frac{4 \cdot \pi \cdot S}{\lambda^2} \cdot \nu$, де S – площа апертури рупора, ν - коефіцієнт використання площі апертури ($\nu = 0.9$).

На рис. 4 видно, що коефіцієнт підсилення реальної РРА дещо менший

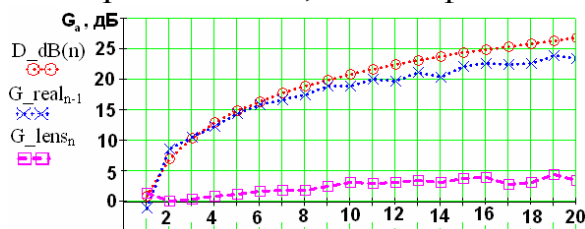


Рис. 4. Частотні залежності КП реальної РА, ідеальної РА та окремої лінзи

від коефіцієнта підсилення ідеального рупора за рахунок втрат на відбиття та певного згасання хвиль в узгоджувальному резонаторі, однак він досить рівномірний у діапазоні частот 1–20 ГГц. На рис.4 також показано графік КП, що вноситься обома лінзами. В діапазоні частот він поступово збільшується від 1 до 4.5 дБ.

Результати оптимізації

Оптимізація геометрії модифікованої РРА з метою отримання потрібних електродинамічних характеристик здійснена за рахунок варіацій ширини щілини між ребрами, розмірів і форми узгоджувального резонатора, та довжини розкриття рупора.

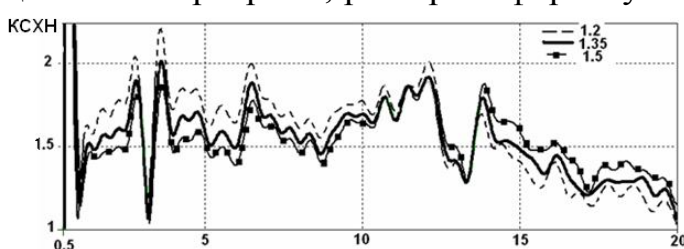


Рис. 5. Залежність КСХН антени від частоти при різних щілинах між ребрами

Встановлено, що ширина щілини між ребрами є визначальним параметром для узгодження антени. За допомогою підбору цього параметра досягається хвильовий опір приблизно 50 Ом.

Цей опір майже не змінюється в усьому діапазоні частот, чим забезпечуються низькі втрати на відбиття, покращується форма ДС та знижуються рівні бічних пелюсток. На рис. 5 представлені графіки частотних залежностей КСХН при різних значеннях відстані d між ребрами. Видно, що мінімальне значення КСХН у смузі частот 1–20 ГГц досягається при $d=1.5$. При цьому пікові значення КСХН не перевищують рівня 1.9. Форма задньої частини

хвилеводу живлення вибрана нами з міркувань простоти конструкції, мінімального КСХН та впливу на ДС в усьому робочому діапазоні частот 1–20 ГГц. Оптимальним виявилось застосування звичайної плоскої закорочувальної стінки, розташованої на відстані від точки живлення, при якій досягається найкраще узгодження антени з кабелем живлення.

На рис. 6 зображена частотна залежність коефіцієнта підсилення РРА в напрямку осі від її довжини. Видно, що при збільшенні довжини РРА до певного значення досягається оптимальний режим. При подальшому збільшенні довжини суттєвого покращення не спостерігається, навіть навпаки, на деяких частотах коефіцієнт підсилення зменшується. При оптимальній довжині РРА (приблизно 250 мм) коефіцієнт підсилення плавно змінюється від 0 до 24 дБ у діапазоні частот 1–20 ГГц.

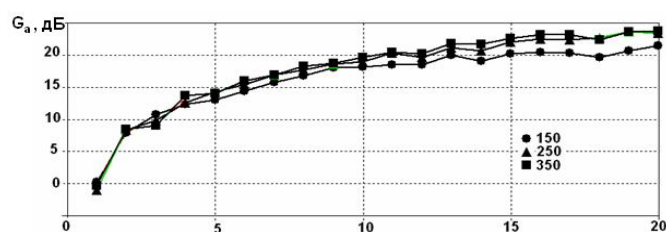


Рис. 6. Залежність осевого підсилення антени від частоти при різних довжинах розкриття

перевищує 1.9 у смузі частот 1–20 ГГц (крива $d=1.5$, рис.5). На рис. 7 представлені ДС оптимізованої РРА на частотах 2, 10 і 20 ГГц (розрізи показані в площині найвищих бічних пелюсток). На наведених ДС видно чіткі осьові максимуми і низькі рівні бічних пелюсток.

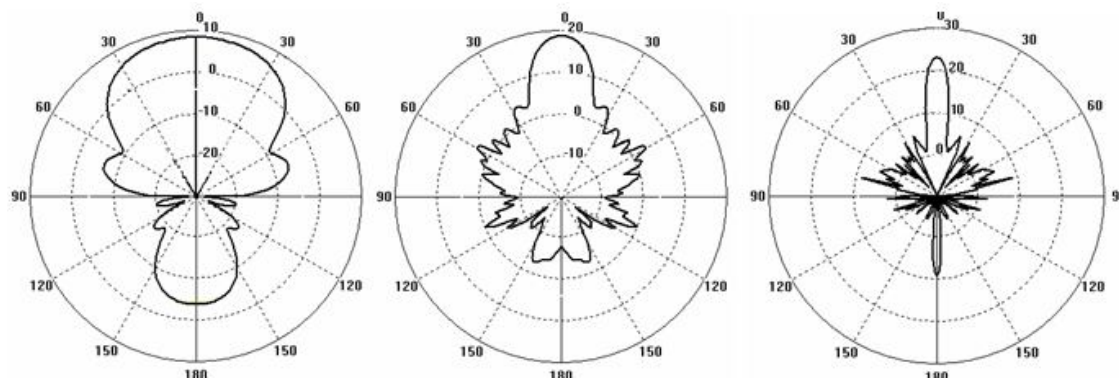


Рис. 7. ДС УШС РА на частотах 2, 10 та 20 ГГц

Графік частотної залежності КП антени зображений на рис. 6 (крива $L=250$ мм). Максимальний рівень бічних пелюсток оптимізованої РРА в залежності від частоти показано на рис. 8 (наведено максимальний рівень, вибраний по трьох перерізах ДС: в Е-, Н- та діагональній площинах). Типове значення рівня бічних пелюсток не перевищує -15 дБ.

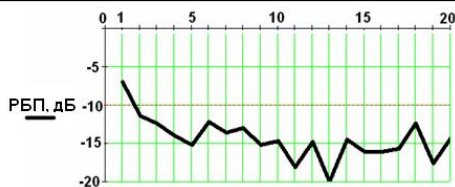


Рис. 8. Залежність рівня бічних пелюсток від частоти

Оптимізована нами УШС РРА відповідає поставленим вимогам за рівнем бічних пелюсток та КП (в діапазоні робочих частот 1–20 ГГц розроблена УШС рупорна антена перевищує відомі світові аналоги). Вона може бути реко-

мендована для виробництва та застосування в антенних вимірювальних комплексах, в УШС радіосистемах моніторингу електромагнітної обстановки, для інших цілей, де потрібно перекриття по діапазону частот до 20:1 та однопелюсткова ДС з низьким рівнем бічних пелюсток.

Література

1. Shimizu J.K., Octave-Bandwidth Feed Horn for Paraboloid // IRE Trans. Antennas and Propagation, vol. AP-9, no. 2, pp. 223-224, March 1961.
2. Christian Bruns, Analysis and Simulation of a 1–18-GHz Broadband Double-Ridged Horn Antenna // IEEE TRANS. ON EC, VOL. 45, NO. 1, FEBRUARY 2003.
3. Vicente R. New broadband EMC double-ridge guide horn antenna, 2004.
4. Teggatz A., Jöstingmeier A., Omar A. A New TEM Double-ridged Horn Antenna for Ground Penetrating Radar Applications, 2005
5. Dirk Baumann, y, Christophe Fumeaux, Pascal Leuchtmann and Rüdiger Vahldieck, Finite-volume time-domain (FVTD) modelling of a broadband double-ridged horn antenna // INTERNATIONAL JOURNAL OF NUMERICAL MODELLING: ELECTRONIC NETWORKS, DEVICES AND FIELDS Int. J. Numer. Model. 2004; 17:285–298.
6. Zhongxiang Shen, and Chao Feng A New Dual-Polarized Broadband Horn Antenna // IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, VOL. 4, 2005.

Дубровка Ф.Ф., Сушко О.Ю. Ультра широкопелюсткова рупорна антена діапазону частот 1–20 ГГц з низьким рівнем бокового випромінювання. Представлено результати числових досліджень та оптимізації електричних характеристик ультраширокопелюсткової ребристої рупорної антени. Досягнуто однопелюсткових діаграм спрямованості з рівнем бічних пелюсток -10 дБ і <math>КСХН<1.9</math> у діапазоні частот 1–20 ГГц.

Ключові слова: ультраширока смуга частот, ребриста рупорна антена, рівень бічних пелюсток, діаграма спрямованості

Дубровка Ф.Ф., Сушко А.Ю. Ультраширокополосная рупорная антенна диапазона частот 1–20 ГГц с низким уровнем бокового излучения. Представлены результаты числовых исследований и оптимизации электрических характеристик ультраширокополосной ребристой рупорной антенны. Достигнуто однопелюстковых диаграм направленности с уровнем боковых лепестков -10 дБ и <math>КСВН<1.9</math> в диапазоне частот 1–20 ГГц.

Ключевые слова: ультраширокая полоса частот, ребристая рупорная антенна, уровень боковых лепестков, диаграмма направленности.

Dubrovka F.F., Sushko O.Yu. Ultra wideband horn antenna with operating frequency range 1–20 GHz and low side lobe level. Results of numerical research and optimization of electric characteristics of ultra wideband double ridged horn antenna are presented. End-fire radiation patterns with side lobe level less than -10 dB and <math>VSWR<1.9</math> over the frequency range 1–20 GHz have been obtained.

Key words: ultra wide band, double ridged horn antenna, side lobe level, radiation pattern.