

## PHYSICAL SENSORS

---

## СЕНСОРИ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

---

---

УДК 621. 396. 67

### **ВИПРОМІНЮВАЧ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ З КЕРОВАНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

*Я. І. Лепіх, А. О. Карпенко*

Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр  
МОН і НАН України при ОНУ ім. І. І. Мечникова  
e-mail: ndl\_lepikh@onu.edu.ua

### **ВИПРОМІНЮВАЧ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ З КЕРОВАНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

*Я. І. Лепіх, А. О. Карпенко*

**Анотація.** У роботі розв'язана задача поліпшення параметрів Н-секторіального рупорного випромінювача – ширини головної пелюстки діаграми направленості (ДН), зменшення рівня бокових пелюсток, керування формою ДН за допомогою покриття внутрішньої порожнини випромінювача шаром з імпедансними властивостями на основі ребристих періодичних структур. При цьому просторові електромагнітні поля трансформуються в поверхневі хвилі, амплітуди і фази яких можуть бути підібрані таким чином, що забезпечується найменший рівень бічного і заднього випромінювання, внаслідок чого здійснюється значне підвищення коефіцієнта корисної дії, зменшується рівень бічних пелюсток, поліпшується симетричність головної пелюстки ДН випромінювача.

**Ключові слова:** випромінювач електромагнітних хвиль, поверхневі електромагнітні хвилі, ребриста поверхня з періодичними структурами, імпедансний шар

## ELECTROMAGNETIC WAVES RADIATOR WITH CONTROLLED CHARACTERISTICS

*Ya. I. Lepikh, A. A. Karpenko*

**Abstract.** The problem of H-sectorial horn-type radiator parameter improvement – the width of the main directional lobe (DL), side lobe level reduction, DL form monitoring with the help of a covering of an internal radiator cavity by a layer with impedance properties is solved on the basis of ridge periodic structures. Thus spatial electromagnetic fields are transformed to surface waves, which amplitudes and phases can be picked up in such a manner that the least level of lateral and back radiation provides, therefore substantial efficiency increase is carried out, the level of a side lobe decreases, symmetry of major lobe of radiator DL is improved.

**Keywords:** Radiator of electromagnetic waves, surface electromagnetic waves, ridge surface with periodic structures, an impedance layer

## ИЗЛУЧАТЕЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН С УПРАВЛЯЕМЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

*Я. И. Лепих, А. А. Карпенко*

Аннотация. В работе решена задача улучшения параметров Н-секториального рупорного излучателя – ширины главного лепестка диаграммы направленности (ДН), уменьшение уровня боковых лепестков, управление формой ДН с помощью покрытия внутренней полости излучателя слоем с импедансными свойствами на основе ребристых периодических структур. При этом пространственные электромагнитные поля трансформируются в поверхностные волны, амплитуды и фазы которых могут быть подобраны таким образом, что обеспечивается наименьший уровень бокового и заднего излучения, в результате чего осуществляется значительное повышение коэффициента полезного действия, уменьшается уровень боковых лепестков, улучшается симметричность главного лепестка ДН излучателя.

**Ключевые слова:** излучатель электромагнитных волн, поверхностные электромагнитные волны, ребристая поверхность с периодическими структурами, импедансный слой

### Вступ

Основними параметрами випромінювачів електромагнітних хвиль НВЧ діапазону є діаграма направленості, коефіцієнти стоячої хвилі та хвилі, що біжить, відбиття та діапазон випромінюваних частот.

Досягнення високої направленості при низькому коефіцієнті відбиття і малих геометричних розмірах антени є важливою задачею в теорії і практиці проектування антен НВЧ. Направлені властивості антени значною мірою залежать від форми фазового фронту в її відповідному перетині (апертурі).

Пристрій у вигляді імпедансної металевої ґратки, що може використовуватися як частина конструкції перетворювача [1] дозволяє затримувати поверхневі електромагнітні хвилі (ПЕМХ) над площиною імпедансної металевої ґратки з постійним коефіцієнтом затримки  $\xi$  у будь-якій точці площини ґратки. Однак в цьому випадку, внаслідок сталого значення  $\xi$ , фазове співвідношення ПЕМХ на вході і виході ґратки залишається незмінним і імпедансна металева ґратка виступає тільки в ролі лінії затримки без перетворення форми сигналу, що не дає можливості впливати на форму фазово-

го фронту ПЕМХ, а, отже, і на основні характеристики – ДН та рівень бічного і заднього випромінювання. Також цей пристрій не є випромінювачем електромагнітних хвиль.

В роботі [2] описано пристрій, що являє собою плоский діелектричний хвилевід, розташований над кінцевим числом прямокутних нееквідистантно розміщених в екрані різнорозмірних канавок, що працює на ефекті перетворення поверхневих хвиль в об'ємні. Авторами розв'язана задача дифракції заданої неоднорідної хвилі, що поширюється над кінцевим числом прямокутних нееквідистантно розміщених в екрані різнорозмірних канавок. У цьому випадку над запропонованою ґраткою також виникають затримані ПЕМХ. Однак, вектор Умова-Пойтинга поля розсіювання, що виникає при цьому не рівнобіжний вектору групової швидкості ПЕМХ. У процесі поширення ПЕМХ над поверхнею такої ґратки виникає трансформація ПЕМХ в об'ємну електромагнітну хвилю, що відбивається від ґратки у вільний простір. Такий підхід може бути корисним, але він не дає можливості керувати формою фазового фронту ПЕМХ, який формує ДН і впливає на рівень бічного випромінювання.

В [3] нами запропоновано випромінювач електромагнітних хвиль НВЧ діапазону, що містить радіальну металеву ґратку, ребра якої мають різну висоту. За його допомогою розв'язується задача компенсації фазової похибки у випромінювачі, у якого змінюється лише широка стінка, та металевої імпедансної ґратки з ребрами прямокутного перетину, висота яких змінюється на трасі поширення ПЕМХ по внутрішній поверхні широкої стінки. При цьому кожне ребро ґратки має радіальну кривизну, що забезпечує умову перпендикулярності вектора швидкості ПЕМХ з його площиною.

Однак, по-перше, компенсація фазової похибки при такому рішенні можлива тільки для циліндричних електромагнітних хвиль у внутрішній порожнині для такого типу випромінювача і при умові, що джерело електромагнітних хвиль розташоване у точці, співпадаючій з центром його фазового фронту.

По-друге, при розширенні горизонтальної стінки рупорного випромінювача у його внутрішній порожнині виникають хвилі вищих типів, які будуть поширюватися з іншою швид-

кістю, що призведе до неконтрольованого спотворення форми фазового фронту на виході випромінювача, що в свою чергу призведе до спотворення ДН випромінювача.

В даній роботі поліпшення параметрів Н-секторіального рупорного випромінювача (ширини головної пелюстки, зменшення рівня бокових пелюсток, керування формою ДН) досягається шляхом керування формою фазового фронту, а також траєкторією поширення ПЕМХ.

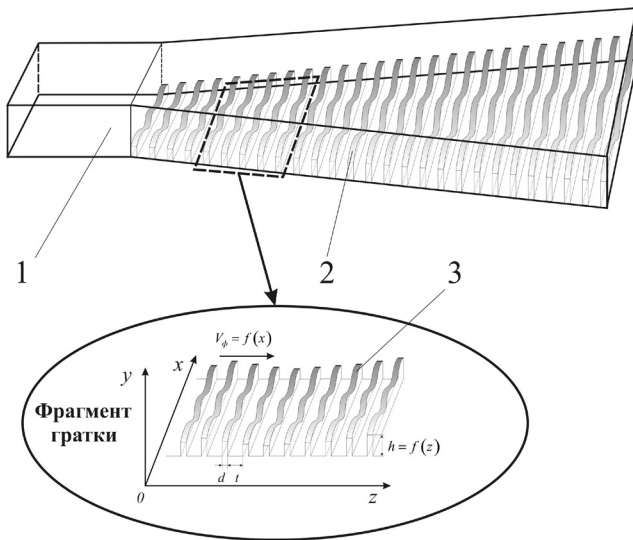
### Основна частина

Задача розв'язана шляхом покриття внутрішньої порожнини випромінювача НВЧ хвиль шаром з імпедансними властивостями, реалізованим на основі ребристих періодичних структур [4]. При цьому просторові поля трансформуються в поверхневі хвилі, амплітуди і фази яких можуть бути підібрані таким чином, щоб забезпечити найменший рівень бічного і заднього випромінювання.

Прямокутні ребра, що мають форму радіальних дуг з радіусом кривизни рівним відстані від точки фазового центра рупорного випромінювача до кожного поточного ребра, висота яких є функцією поперечного перетину широкої стінки випромінювача, при цьому ребра ґратки розташовано прямолінійно і паралельно одна одній, а їх висота змінюється по заданому закону не тільки в поперечному, але і в подовжньому напрямках площини ґратки, вздовж якої поширюються поверхневі електромагнітні хвилі. Внаслідок цього відбувається не тільки кероване затримування ПЕМХ по заданому закону у поперечному перетину ґратки, але і кероване їх затримування у напрямку поширення, що призводить до керованої зміни їхньої траєкторії по заданому закону, і це дозволяє ефективно формувати форму та ширину ДН випромінювача, а також зменшити рівень її бічних пелюсток. На рис. 1. наведено такий випромінювач з керованим фазовим фронтом.

Випромінювач дозволяє здійснювати керування не тільки формою фазового фронту, але і амплітудою ПЕМХ, траєкторією поширення, що дозволяє зменшити рівень хвиль вищих типів, використовувати ефекти фокусування

чи розсіювання ПЕМХ та здійснювати інші маніпуляції з ПЕМХ для ефективного впливу на формування ДН.



**Рис. 1.** Випромінювач з керованим фазовим фронтом. 1 – металевий корпус; 2 – ребриста імпедансна металева ґратка; 3 – ребро ґратки, де  $d$  – товщина ребра;  $h$  – змінна за координатами  $x$  і  $z$  конструктивна висота;  $t$  – відстань між ребрами;  $V_\phi$  – фазова швидкість ПЕМХ, залежна від координат  $x, z$ .

Керування фазовою швидкістю ПЕМХ здійснюється за допомогою імпедансної структури у вигляді ребристої періодичної металевої ґратки (2) з прямокутними ребрами (3), висота яких змінюється в подовжньому і поперечному напрямках площини ґратки, вздовж якої поширюються ПЕМХ та реалізується наступним чином: на шляху поширення електромагнітних хвиль у випромінювачі розташовують металеву ґратку, що являє собою плоску металеву поверхню з ребрами різної висоти. У процесі взаємодії електромагнітного поля НВЧ з ребрами ґратки в її приповерхневому шарі виникають ПЕМХ. Фазова швидкість  $V_\phi$  ПЕМХ у кожній точці площини  $xOz$  залежить від ефективної висоти ребра в даній точці і визначається співвідношенням:

$$V_\phi(x, z) = c / \sqrt{1 + \left(\frac{t}{t+d}\right)^2 \operatorname{tg}^2\left(\frac{2\pi h_y(x, z)}{\lambda_0}\right)^2}, \quad (1)$$

де  $d$  – товщина ребра;  $c$  – швидкість поширення електромагнітних хвиль у вільному просторі;

$t$  – відстань між ребрами;

$\lambda_0$  – довжина хвилі у середині діапазону;

$h_y$  – ефективна висота ребра, яка визначається за формулою:

$$h_y = h - 0.14(d + t), \quad (2)$$

де  $h$  – конструктивна (фактична) висота ребра.

Рівняння (1) пов'язує фазову швидкість ПЕМХ з геометрією кожної точки ребер імпедансної металевої ґратки, що обґрунтовує розв'язок поставленої задачі.

При  $z = \text{const}$  траєкторія поширення ПЕМХ є прямолінійною і ґратка призводить до керованого затримання ПЕМХ тільки у площині, перпендикулярній вектору потоку густини потужності Умова-Пойтинга.

Механізм керування швидкістю поширення фазового фронту ПЕМХ полягає в залежності швидкості її поширення від висоти ребер імпедансної металевої ґратки, над якою поширюється ПЕМХ.

## Висновки

В роботі показана можливість створення випромінювачів електромагнітних хвиль НВЧ діапазону рупорного типу, що можуть застосовуватись, зокрема, в антенних трактах систем радіозв'язку з керованими характеристиками і суттєво покращеними параметрами.

## Список використаної літератури:

1. L. S. Benenson, A.G. Kjurkchan. «Metod razvjazki antenn pri pomoshhi periodicheskikh struktur» // Radiotekhnika, 1995 – №12. – S.62-69.
2. A. V. Ostankov «Matematicheskaja model difrakcii volny na konechnoj metallodielektricheskoi grebenke dlja proektirovanija antenn vytekajushhej volny». Vestnik Voronezhskogo gos. un-ta. 2009 g., T. 5., № 7, S. 89-91.
3. A. A. Karpenko, Ja. I. Lepih. Kompensacija fazovoj oshibki v izluchateljah SVCh-voln s pomoshhju impedansnoj struktury // Tehnologija

- i konstruivanie v jelektronnoj  
apparature. 2007 – № 2 – S. 38-41.
4. Karpenko A.O., Lepikh Ya. I.  
Viprominjuvach elektromagnitnih hvil  
NVCh diapazonu z kerovanim fazovim

frontom. Patent na korisnu model' UA  
№ 53694 (51)MPK (2009) H01Q 13/00.

Стаття надійшла до редакції 18.08.2015 р.