

**Филимонов Дмитрий Викторович**

Технологический институт Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: D.V.Filimonov@mail.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 89034322224.

**Filimonov Dmitry Viktorovich**

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: D.V.Filimonov@mail.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 89034322224.

УДК 621.396

**А.О. Касьянов, С.И. Заковоротный**

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК  
РАССЕЯНИЯ ПЛОСКОЙ МИКРОПОЛОСКОВО-ШТЫРЕВОЙ  
РЕКТЕННОЙ РЕШЕТКИ ОТРАЖАТЕЛЬНОГО ТИПА**

*Приводятся результаты численного исследования характеристик рассеяния волн печатными элементами микрополосково-штыревых переизлучателей, находящихся в составе ректенной решетки. Полученные в ходе численного моделирования результаты свидетельствуют об адекватности разработанной математической модели.*

*Микрополосково-штыревой переизлучатель; численное исследование; импеданс; коэффициент отражения; поляризационная матрица рассеяния.*

**A.O. Kasyanov, S.I. Zakovorotniy**

**THE NUMERICAL RESULTS OF FLAT MICROSTRIP-STUBS RECTENNA  
ARRAY SCATTERING CHARACTERISTICS STUDY**

*In paper results of testing of algorithm for calculation of scattering behaviors from the combined microstrip radiators being in array are resulted. The results received during numerical modeling, confirm to adequacy of the developed mathematical model.*

*The microstrip-stubs rectenna; numerical research, an impedance; scattering characteristics; the polarization scattering matrix.*

В [1] разработана математическая модель микрополосково-штыревой ректенной решетки, позволяющая на электродинамическом уровне анализировать многоэлементные печатные структуры как компоненты беспроводных энергосистем. Целью работы является численное исследование характеристик рассеяния плоской микрополосково-штыревой ректенной решетки отражательного типа.

**Управление токами в микрополосково-штыревой отражательной решетке посредством выбора импедансов, числа и мест подключения штырей.** В [2] приведены результаты численного исследования математической модели микрополосково-штыревой отражательной антенной решетки для случая идеально проводящих штырей. Исследуем влияние на распределения токов на конструкции

онных элементах микрополосковой отражательной решетки (ОР), которое оказывают вводимые в ее состав штыри, имеющие ненулевой поверхностный импеданс.

Рассмотрим численный пример, демонстрирующий, что с помощью импедансных штырей можно управлять токами в апертуре микрополосковой отражательной решетки и её характеристиками рассеяния. Покажем, что, изменяя импеданс штырей, можно эффективно управлять магнитными токами апертуры решетки, а следовательно, и ее характеристиками рассеяния. На рис. 1 (врезка) показана топология единичной ячейки решетки из квадратных МПЭ (заштрихованная область) и указаны центры базисных функций поверхностного магнитного тока апертуры: «x» – координаты центров базисных функций  $x$ -й составляющей магнитного тока апертуры; «o» – то же для  $y$ -й составляющей. Для микрополосково-штыревой отражательной решетки с параметрами  $d_1 = d_2 = d = \lambda/5$ ;  $h = 10\lambda/125$ ;  $\epsilon_r = 1$  в случае нормального падения на нее возбуждающей плоской линейно-поляризованной волны (перпендикулярная поляризация) при различных поверхностных сопротивлениях импедансного штыря  $R_{stub}$  получены распределения модуля комплексной амплитуды  $x$ -й составляющей  $|J_x^M|$  поверхностного магнитного тока (рис. 1) в единичной ячейке решетки.

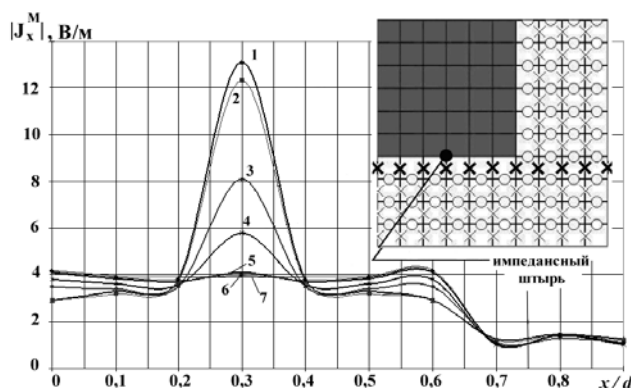


Рис. 1. Распределения поверхностного магнитного тока апертуры

Область определения функций  $|J_x^M|(x/d)$  показана в виде линейки из крестообразных элементов повышенной толщины на врезке рис. 1. При этом для графиков, приведенных на рис. 1, приняты следующие обозначения: 1 – идеально проводящие штыри; 2, 3, 4, 5 и 6 –  $R_{stub} = 0,01$  кОм; 0,05 кОм; 0,1 кОм; 0,5 кОм и 1 кОм соответственно; 7 – штыри отсутствуют. Как видно из графиков, введение штырей в состав решетки приводит к появлению всплесков в распределении поверхностного магнитного тока апертуры решетки в окрестности мест включения штырей. Причем величиной этих всплесков можно управлять, изменяя импеданс штырей. Как показано в [2], количеством всплесков в распределении поверхностного магнитного тока апертуры можно управлять, изменяя число штырей, подключенных к микрополосковым элементам.

На рис. 2 приведены распределения по импедансному штырю модуля комплексной амплитуды  $z$ -й составляющей поверхностного электрического тока

$|J_z^Y|(z/h)$ . При этом для графиков, приведенных на рис. 2, приняты следующие обозначения: 1 – идеально проводящий штырь; 2, 3, 4, 5 и 6 –  $R_{stub}=10$  Ом; 50 Ом; 100 Ом; 500 Ом и 1 кОм соответственно.

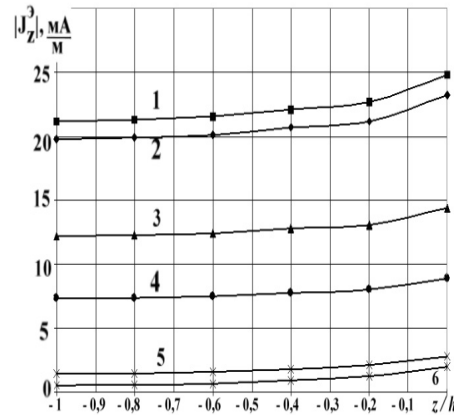


Рис. 2. Распределение поверхностного электрического тока штыря

Как видно из графиков, увеличение  $R_{stub}$  приводит к монотонному уменьшению амплитуды тока  $|J_z^{\ominus}|$ , что иллюстрирует зависимость  $|J_z^{\ominus}|(R_{stub})$ , представленная на рис. 3.

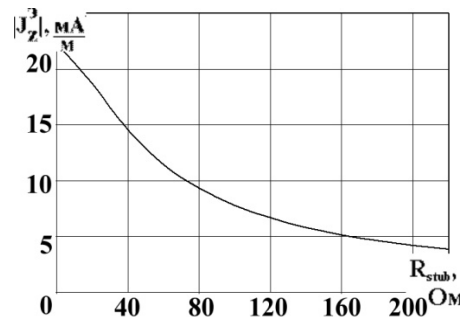


Рис. 3. Характеристика управления

**Управление характеристиками рассеяния микрополосково-штыревой ОР посредством выбора импедансов, числа и мест подключения штырей.** Как показано в [2], введение в состав печатных ОР штырей позволяет на основе микрополосково-штыревых отражательных решеток строить деполяризующие плоские электродинамические структуры. Продемонстрируем возможность управления поляризационными характеристиками поля, отраженного такой решеткой, посредством изменения импедансов штырей. Проанализируем представленные на рис. 4 ЧХ элементов поляризационной матрицы рассеяния (ПМР)  $|S_{pQ}|$ , где  $p = \overline{1,2}$ ,  $q = \overline{2}$ , отражательных решеток, топология единичной ячейки каждой из

которых представлена на врезке рис. 5. Выбор поляризационного базиса  $(i_1, i_2)$  приведен на врезке.

На рис. 4 представлены частотные зависимости модулей как диагональных  $|S_{22}|$ , так и недиагональных  $|S_{12}|$  элементов ПМР решеток с короткозамкнутым штырем, место включения которого показано на врезке в рис. 5 цифрой 2. Там же цифрами 1–1 обозначен след плоскости падения на поверхности единичной ячейки ОР. Кривая, обозначенная символом  $\times$ , соответствует частотным зависимостям коэффициента отражения решеток на согласованной поляризации. В то же время кривые, для обозначения которых использованы символы:  $---$ ,  $\bullet\bullet\bullet$  и  $-o-$ , соответствуют частотным характеристикам коэффициента отражения ОР на кроссовой поляризации.

При этом зависимости:  $\times$  и  $---$  рассчитаны при толщине подложки  $h = 0,08 \lambda$ , а зависимости:  $-o-$  и  $\bullet\bullet\bullet$  рассчитаны при  $h = 0,1 \lambda$  и  $h = 0,06 \lambda$  соответственно. Как видно из графиков, при  $b/\lambda = 0,2$  происходит полная деполяризация поля нормально падающей на решетку плоской волны. Частичная деполяризация происходит и при больших значениях длины стороны МПЭ –  $b$ , но ее уровень и частота деполяризации зависят от высоты подвеса печатного переизлучателя над экраном.

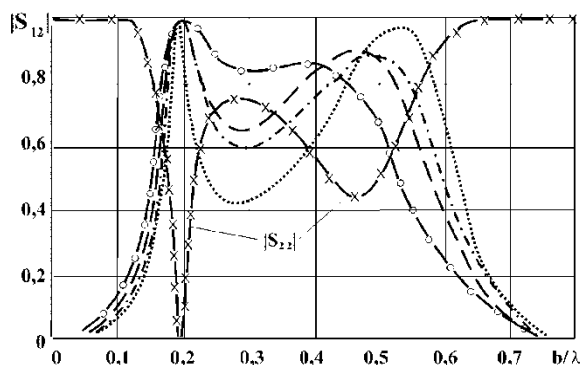


Рис. 4. Частотные характеристики элементов ПМР

На рис. 5 показана зависимость диагонального элемента ПМР  $|S_{22}|$  такой решетки от резистанса  $R_{stub}$  импедансного штыря. Видим, как, изменяя величину  $R_{stub}$ , можно управлять модулем коэффициента отражения решетки, что в сочетании с показанной в [2] возможностью управлять фазой коэффициента отражения за счет соответствующего выбора числа и места включения импедансных штырей, может быть использовано как при создании плоских искусственных линзовых антенн, а также построении зеркальных антенн с плоскими рефлекторами в виде микрополосковых ОР, так и для управления полями рассеяния радиолокационных объектов с помощью управляемых покрытий на основе таких решеток [2].

Таким образом, численное исследование математической модели микрополосково-штыревой отражательной решетчатой структуры показало, что введение штырей в состав решетки приводит к появлению вблизи штырей всплесков в распределении поверхностного магнитного тока апертуры решетки.

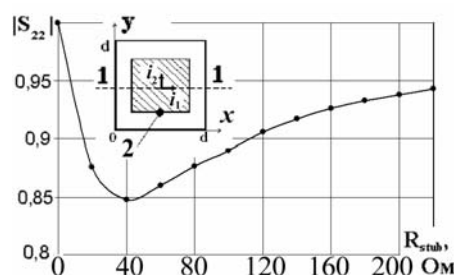


Рис. 5. Характеристика управления

Исследование влияния места включения штыря на электродинамические характеристики микрополосково-штыревой отражательной решетки показало, что структура возбуждаемого под микрополосковым элементом поля носит характер стоячих электромагнитных волн с нулем напряженности электрического поля в центре элемента. Полученные численные результаты позволяют выработать рекомендации по построению на основе микрополосково-штыревых отражательных решеток плоских фазокорректирующих рефлекторов, преобразователей поляризации поля отражательного типа и управляемых радиоэлектронных покрытий.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Касьянов А.О., Китайский М.С. Результаты численного исследования плоской ректенной решетки печатных комбинированных элементов // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Методы и средства адаптивного управления в электроэнергетике». – 2010. – № 1 (102). – С. 204-208.
2. Обуховец В.А., Касьянов А.О. Микрополосковые отражательные антенные решетки. Методы проектирования и численное моделирование: Монография // Под ред. В.А. Обуховца. – М.: Радиотехника, 2006. – 240 с.

#### **Касьянов Александр Олегович**

Технологический институт Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: kasao@mail.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634388844.

#### **Заковоротный Сергей Иванович**

E-mail: sapsan666\_z@mail.ru.

Тел.: 88634389358.

#### **Kasyanov Alexander Olegovich**

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: kasao@mail.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 88634388844.

#### **Zakovorotniy Sergey Ivanovich**

E-mail: sapsan666\_z@mail.ru.

Phone: 88634389358.