

УДК 621.396.67

**Обуховец В.А.**

**МИКРОПОЛОСКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ  
АНТЕННЫХ РЕШЕТОК И СЕЛЕКТИВНЫХ ЭКРАНОВ**

*Южный федеральный университет,  
Россия, Ростов-на-Дону, Б. Садовая, 105/42, 344006*

**Obukhovets V.A.**

**MICROSTRIP TECHNOLOGY FOR ANTENNA ARRAYS  
AND SELECTIVE SCREENS DESIGNING**

*Southern Federal University,  
Russia, Rostov-on-Don, B. Sadovaya, 105/42, 344006*

*Аннотация. В работе рассматриваются примеры применения микрополосковых технологий в проектировании компактных антенных решеток, частотно-селективных и поляризационно-селективных экранов.*

*Ключевые слова: антенная решетка, излучатель, частотно-селективная поверхность, поляризация, частотная зависимость.*

*Abstract. In this paper we describe several examples of the microstrip technology application in the designing of compact microstrip antenna arrays, frequency-selective and polarization selective screens and surfaces.*

*Key words: testing, code modulator, generator of functions, ...*

**Вступление.**

Принципы построения антенных решеток (АР) известны с конца двадцатых годов прошлого столетия. Однако, практическая реализация АР была долгие годы почти неосуществимой в силу ряда причин, связанных со сложностью антенных сооружений и систем возбуждения излучателей, с отсутствием малоинерционных электрически регулируемых фазовращателей и электронных систем управления. Но и после освоения сверхвысоких частот,

появления быстродействующих фазовращателей, малошумящих усилителей, создания микропроцессорных систем управления, разработки современных технологий очень высокая стоимость антенных решеток является главным препятствием на пути их более широкого внедрения в практику.

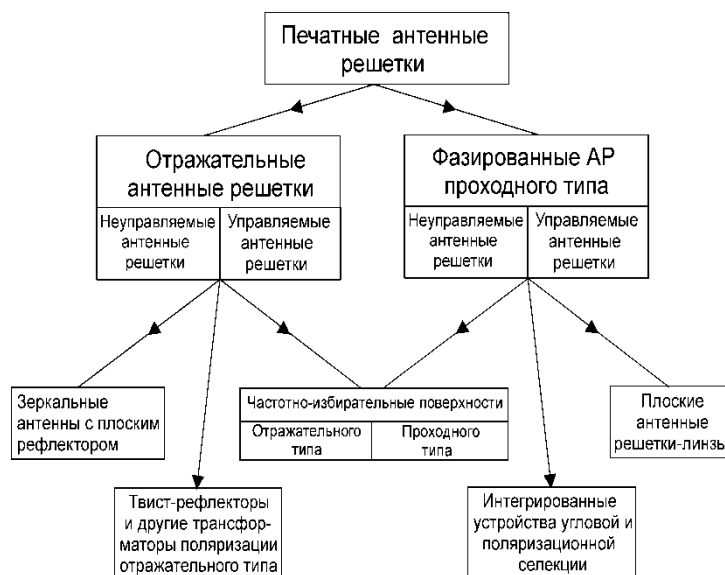
Одной из наиболее перспективных является полосковая (микрополосковая) технология изготовления антенных решеток. В этом случае АР не только обладает минимально возможными массой и габаритами, но и может быть выполнена, как конформная решетка, то есть излучающая поверхность (апертура) решетки повторяет контуры несущей поверхности объекта, на котором она расположена.

**Обзор литературы.** Микрополосковые технологии отличаются не только относительной простотой, но и высокой повторяемостью при серийном производстве, а также пониженной стоимостью изготовления элементов решетки. Именно по указанным причинам они неизменно привлекают внимание разработчиков [1]. И, если в начале своей истории основной сферой применения микрополосковых решеток была оборонная техника, то сегодня многочисленные варианты построения микрополосковых АР широко используются в системах беспроводной связи, мобильной связи, в бытовой аппаратуре (например, в приемных телевизионных антеннах). Микрополосковые решетки могут интегрироваться с платами систем распределения мощности, управления фазовращателями, систем предварительной обработки информации. Именно по этой причине в базовых станциях систем мобильной связи для создания так называемых интеллектуальных («smart») антенных решеток применяются микрополосковые антенные решетки.

Существенным недостатком этого типа АР является их узкополосность [2]. Увеличению полосы рабочих частот АР посвящено большое число публикаций. Наиболее известными способами решения названной проблемы является создание совмещенных решеток, работающих в нескольких диапазонах частот; многослойных решеток [3]; решеток со сложной геометрией излучателя [4]; с

подложкой из метаматериалов [5,6]. Все перечисленные способы совершенствования характеристик антенных решеток и в этих случаях решаются применением методов микрополосковых технологий.

Включение в состав излучателя микрополосковой АР управляемых элементов (*p-i-n* диодов, *MEMS* - структур) позволяет получить так называемые реконфигурируемые АР [7, 13].



**Рис. 1. Разновидности микрополосковых решеток**

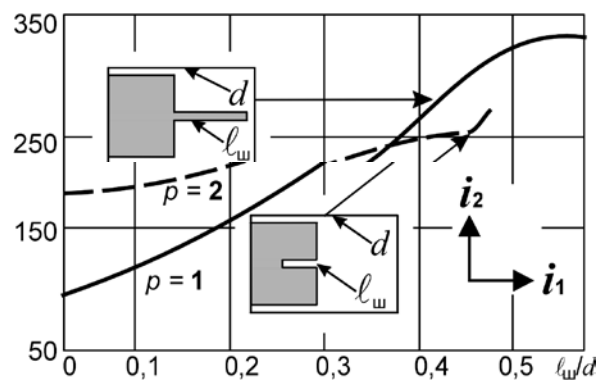
На основе упрощенных конструкций микрополосковых АР разрабатываются устройства первичной («до антенны») обработки информации: частотно-селективные и поляризационно-селективные экраны и поверхности [8-12].

Некоторое представление о многообразии устройств и систем, которые могут быть реализованы с применением микрополосковых технологий, можно получить из рис.1.

**Основной текст.** Рассмотрим ряд примеров моделирования некоторых из перечисленных устройств.

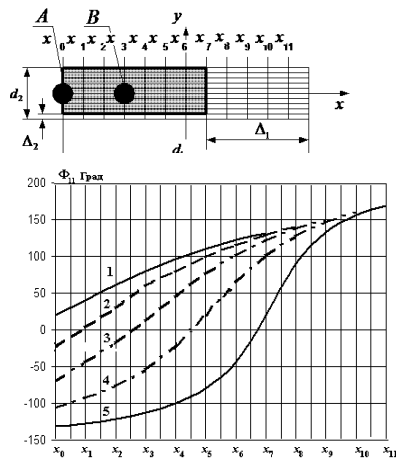
*Плоские зеркальные антенны.* Внимание многих разработчиков привлекают плоские отражательные решетки с оптической схемой питания – аналоги зеркальных антенн. Вопросы конструктивного синтеза зеркальной антенны с рефлектором в виде плоской решетки печатных излучателей

рассмотрены в работах автора (см., например, [8,9], где методом интегральных уравнений решена задача разработки полосковой АР, выполняющей функции фазокорректирующего рефлектора без использования отдельных фазовращателей, как самостоятельных элементов АР. Выбирая конфигурацию и размеры элементов ОАР, значение  $\mathcal{E}$  подложки, можно в широких пределах регулировать распределение тока по периоду решетки и, как следствие, фазу коэффициента отражения. На рис. 2 приведены фазовые характеристики такой решетки. Расчеты выполнены на частоте 8,5 ГГц. При изменении относительной длины  $l_{ш}/\lambda$  шлейфа, подключенного к середине широкой стенки элемента, на согласованной поляризации удастся обеспечить регулировку фазы коэффициента отражения  $\Phi_{pp}$ , где  $p = 1, 2$ , в широких пределах с приемлемой крутизной характеристики.



**Рис.2. Фазирование излучателей отражателей АР**

*Интегрированный излучатель АР.* Применение управляемых элементов в составе излучателей позволяет интегрировать функции излучателя и фазовращателя. На рис. 3 представлены результаты моделирования такого излучателя прямоугольной формы, длина которого регулируется включением  $p-i-n$  диодов. Диоды замыкают полосковый элемент на экран в точках, положение которых определяется из анализа картины распределения поверхностных токов. Поочередное включение диодов обеспечивает возможность сканирования луча антенной решетки.



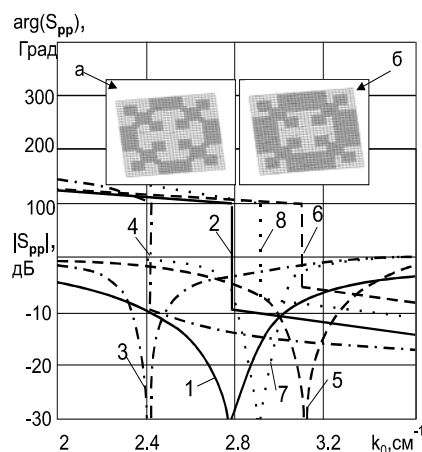
**Рис. 3. Интегрированный излучатель**

*Частотно-селективные экраны* применяются для создания многочастотных зеркальных антенн; в качестве основы для построения радиопрозрачных обтекателей антенных систем; для создания антенн, обладающих пониженной радиолокационной заметностью [6, 9, 14]; для решения задач электромагнитной совместимости; для обеспечения совместной работы радиоэлектронных средств на разных частотах, а также при создании ректенн. Разработку таких устройств наиболее рационально производить в полосковом исполнении.

На рис.4 представлены результаты численного исследования частотных свойств бесконечно тонкого плоского экрана, перфорированного двоякопериодической решеткой крестообразных щелей, имеющих форму иерусалимского креста (показаны на врезках *a* и *б*). Выбор формы полоскового элемента решетки, его размеров, периода решетки позволяют получить требуемые частотные характеристики селективных экранов. Следует отметить, что подобные экраны способны выполнять и функции угло-селективных фильтров.

*Поляризационные фильтры.* Периодические решетки микрополосковых элементов могут обладать различной чувствительностью и к поляризации поля. Действительно, даже для простейших конструкций решеток с полосковыми элементами прямоугольной формы диагональные элементы поляризационной матрицы рассеяния существенно отличаются друг от друга по величине. При этом различие между ними (поляризационная развязка) растет с ростом

отношения сторон полоскового элемента решетки. То есть такая структура обладает свойствами *поляризационного фильтра*.



**Рис. 4. Параметры частотно-селективного экрана**

Более сложная конструкция решетки, в состав которой входят управляемые элементы, дает возможность получить качественно новые типы устройств – поляризационные манипуляторы, подробно рассмотренные в [12].

**Заключение и выводы.** Приведенный обзор литературы и рассмотренные примеры численного моделирования представляют собой убедительное свидетельство возможности успешной разработки и широкого применения антенных систем и устройств сверхвысокочастотного диапазона, созданных с применением микрополосковых технологий.

Литература:

1. Carver Keith R., Mink James W.. Microstrip antenna technology // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 29, № 1, January 1981. – P. 2-24.
2. Jonsson B. L. G., Kolitsidas C. I., Hussain N. Array antenna limitations // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 12, 2013. – P.1539-1542.
3. You Chisang, Tentzeris Manos M.. Multilayer Effects on Microstrip Antennas for Their Integration With Mechanical Structures // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 55, № 4, 2007. – P. 1051-1058.
4. Werner Douglas H., Gangul Suman. An Overview' of Fractal Antenna

Engineering Research // IEEE Antennas and Propagation Magazine. Vol. 45, № I, February 2003. – P. 38-57.

5. Goel P., Vinoy K.J.. A Low Cost Phased Array Antenna Integrated with Phase Shifters Cofabricated on the Laminate // Progress In Electromagnetics Research B, vol. 30, 2011. – P. 255-277.

6. Ethier J., Chaharmir M.R., Shaker J., Lee D. Development of Novel Low Cost Reflectarrays // Antennas and Propagation Magazine, vol. 54, № 3, 2012. – P. 277-280.

7. Georgiadis A., Collado Ana, Perruisseau-Carrier J.. Patents on Reconfigurable Reflectarray Antenna // Recent Patents on Electrical Engineering. № 2, 2009. – P. 19-26.

8. Обуховец В.А., Касьянов А.О. Микрополосковые отражательные антенные решетки. Методы проектирования и численное моделирование. – М.: Радиотехника, 2006. – 239 с.

9. Излучение и рассеяние электромагнитных волн. Под ред. Обуховца В.А. – М.: Радиотехника, 2008. — 208 с.

10. Obukhovets V.A., Kasyanov A.O.. Full-Wave Analysis of a Frequency Selective Surfaces with Fractal-Type Elements. CHAOS 2009. Book of Abstracts. Chaotic Modeling and Simulation. International Conference. June 1-5, 2009, Chania Crete Greece. – P.40.

11. Обуховец В.А., Касьянов А.О. Потенциальные возможности и области применения полосковых решеток // Антенны, Вып. 6 (170), 2011. – С.3-17.

12. Касьянов А.О., Обуховец В.А. Пространственные поляризационные фильтры, преобразователи и манипуляторы на основе микрополосковых дифракционных решеток // Антенны, 2011, № 7 (170). – С.43-51.

13. Kasyanov A.O., Obukhovets V.A. Reconfigurable antennas on the base of diffraction arrays. 2014 24<sup>th</sup> Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2014). 7—13 September, Sevastopol, Crimea, Russia. – С. 451-452.

14. Обуховец В.А. Управление признаками распознавания радиолокационных целей с помощью дифракционных решеток. Радиотехника, № 12, 2014. – С. 41-45.

Статья отправлена: 12.12.2015 г.

© Обуховец В.А.