

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ С РЕЗОНАНСНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ КВАДРАТНОЙ ФОРМЫ

*М.А. Киселева, Е.А. Шорохова*

(ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова», г. Нижний Новгород,  
maria.yaremchuk@mail.ru, eaShorokhova@gmail.com)

## MODELING AND STUDY FREQUENCY-SELECTIVE SURFACE WITH A SQUARE RESONANT ELEMENT

*M.A. Kiseleva, E.A. Shorokhova*

В последнее время в связи с широким внедрением перспективных информационно-телекоммуникационных комплексов, в том числе и цифровых систем связи, большое внимание уделяется теоретическим и экспериментальным исследованиям частотно-селективных структур СВЧ-диапазона [1]. Примерами таких структур являются массивы металлизированных элементов, расположенных на подложке из диэлектрика, а также перфорированные металлические поверхности, которые в настоящее время широко применяются во многих устройствах антенной техники, электроники сверхвысоких частот, радиорелейных линиях и других областях радиотехники [1-4].

С ростом числа базовых передающих станций, сокращением расстояния между ними и жилыми постройками, с распространением беспроводных сетей, особый интерес у исследователей вызывают методы экранирования окружающего пространства, а именно, рабочих мест и жилых помещений. Чтобы гарантировать распространение света и в тоже время уменьшить проникновение электромагнитных волн определенных частот через оконные проемы, предлагается использовать частотно-селективные поверхности (ЧСП).

В рамках настоящего исследования была смоделирована частотно-селективная структура, схематично представленная на рис. 1. Резонансная единица моделируемой поверхности представляла собой две металлизированные рамки квадратной формы, одна из которых (меньших размеров) помещена внутрь другой. Внешняя рамка имела размеры  $6,9 \text{ мм} \times 6,9 \text{ мм}$  толщиной  $0,1825 \text{ мм}$ , а внутренняя –  $6,335 \text{ мм} \times 6,335 \text{ мм}$  толщиной  $0,106 \text{ мм}$ .

Данная структура была выбрана в качестве тестовой для проверки методики проектирования ЧСП. На рис. 2 для сравнения представлены частотные зависимости  $S_{11}$  и  $S_{21}$  параметров в диапазоне 6-13 ГГц, рассчитанные в [4] и в рамках данного моделирования. Анализ приведенных зависимостей показывает практически полное совпадение численных результатов моделирования и, соответственно, адекватность и работоспособность разработанной методики.

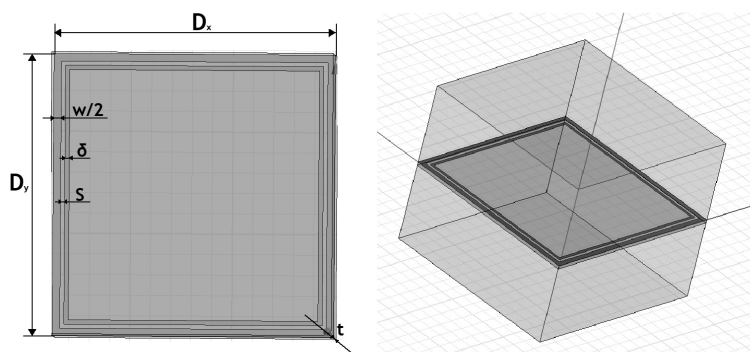


Рис. 1. Резонансный элемент поверхности

На основе результатов численного моделирования одиночного элемента сделан вывод, что увеличение электрической толщины подложки приводит к смещению резонансной частоты поверхности в область более низких частот. Выполненные расчеты позволяют не только качественно, но и количественно оценивать характеристики исследуемой ЧСП.

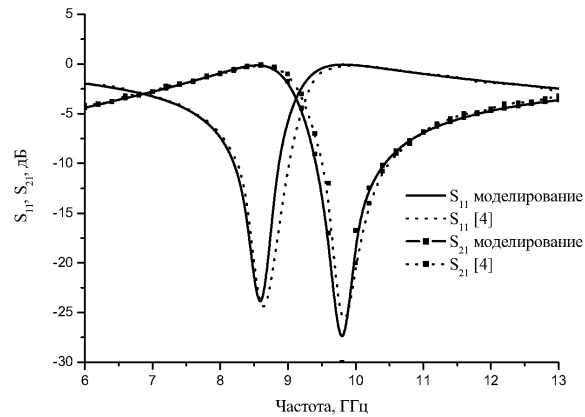


Рис. 2. Частотные зависимости параметров  $S_{11}$  и  $S_{21}$

На основе поверхности из одного элемента была построена поверхность  $14 \times 14$  мм, состоящая из четырех идентичных резонансных элементов с межэлементным расстоянием 0,2 мм. На рис. 3 схематично представлено расположение элементов такой поверхности. Из анализа выполненных расчетов следует, что поверхность из четырех элементов, также как и из одного элемента, отражает волны частотой порядка 10 ГГц. Использование поверхностей из нескольких элементов обусловлено лишь увеличением площади экранирования. Резонансные свойства ЧСП определяются параметрами одиночного резонансного элемента.

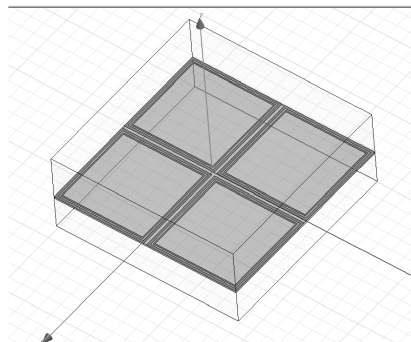


Рис. 3. ЧСП из четырех элементов

Таким образом, в настоящей работе численно исследованы частотно-селективные свойства поверхности, состоящей из резонансных элементов квадратной формы, в диапазоне 6-13 ГГц. В частном случае получено полное согласование с результатами моделирования из работы [4]. Показано, что увеличение электрических размеров подложки приводит к сдвигу резонансной частоты структуры в область более низких частот. Результаты, полученные в рамках данной работы, могут быть полезны специалистам в области электромагнитной совместимости и экранирования от электромагнитных излучений в СВЧ-диапазоне.

### Литература

1. Зеленчук Д.Е., Монастырский Д.Л., Синявский Г.П. Определение параметров эквивалентной схемы для апертурных частотно-селективных поверхностей // Электромагнитные волны и электронные системы. 2005. № 5. С. 30-32.
2. Reed J. A. Frequency-selective surface with multiple periodic elements. Ph.D. thesis. The University of Texas at Dallas, 1997.
3. Munk B.A. Frequency-selective surface: Theory and design. New York: Wiley, 2000.
4. Bayatpur F. Metamaterial-inspired frequency-selective surface. Ph.D. thesis. The University of Michigan, 2009.