

*Петушков А.С.<sup>1</sup>, Комаров В.В.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Мытищинский научно-исследовательский институт  
радиоизмерительных приборов*

*<sup>2</sup>Саратовский государственный технический  
университет им. Ю.А. Гагарина*

## **Модифицированная крестообразная частотно-селективная поверхность миллиметрового диапазона**

*С помощью трехмерной конечно-элементной модели проведен анализ электродинамических характеристик перфорированного металлического экрана толщиной 50 мкм с апертурными элементами в форме Иерусалимского креста. Исследовано влияние размеров отверстий и толщины экрана на резонансные частоты и полосу пропускания данной двумерной периодической структуры.*

**Ключевые слова:** двумерная периодическая структура, численное моделирование, резонансная частота, полоса пропускания.

В качестве базовых элементов некоторых пассивных устройств современной СВЧ электроники и антенно-волноводной техники все более широко применяются двумерные периодические структуры, получившие название частотно-селективные поверхности (ЧСП). В частности, они выполняют функции диплексоров антенных комплексов с несколькими излучателями [1], узкополосных фильтров [2], поглотителей электромагнитного (ЭМ) излучения [3] и т.д. Чаще всего такие структуры изготавливают по планарным технологиям в виде резистивных элементов (РЭ) на полимерном или керамическом основании [1, 3], но иногда они представляют собой перфорированные тонкостенные металлические экраны с апертурными элементами (АЭ) различной конфигурации. К примеру, крестообразные АЭ позволяют обеспечить поляризационную стабильность работы функциональных устройств [2]. Аналогичными свойствами обладают ЧСП на крестообразных РЭ [3]. Одной из разновидностей последних являются РЭ в форме так называемого Иерусалимского креста, позволяющие конструировать ЧСП различного назначения [1,4]. ЧСП с АЭ подобного типа до сих пор остаются малоизученными.

На рис.1 показана такая ЧСП, которая может быть изготовлена по технологии струйного травления металлических пластин [5]. Ее единственным отличием от традиционных крестообразных ЧСП является форма АЭ, конфигурация и размеры которого приведены на рис.2.

Для анализа процессов рассеяния ЭМ волн на таких структурах в данной работе была использована трехмерная численная модель на методе конечных элементов, описанная в [2]. Исследования проводились в приближении нулевого угла падения плоской ЭМ волны на поверхность ЧСП, обладающей бесконечной проводимостью для частотного диапазона  $\Delta f = 70 \dots 110$  ГГц. Расчеты выполнялись в интервалах вариаций размеров АЭ:  $1300 \leq a$ , мкм  $\leq 1700$ ;  $30 \leq b$ , мкм  $\leq 70$ ;  $50 \leq t$ , мкм  $\leq 150$ ;  $180 \leq d$ , мкм  $\leq 230$ ;  $30 \leq w$ , мкм  $\leq 70$ ;  $1.6 \leq s$ , мм  $\leq 2.1$ . Целевой установкой процедуры анализа был поиск размеров ЧСП, обеспечивающих минимум коэффициента передачи на центральной частоте 90 ГГц.

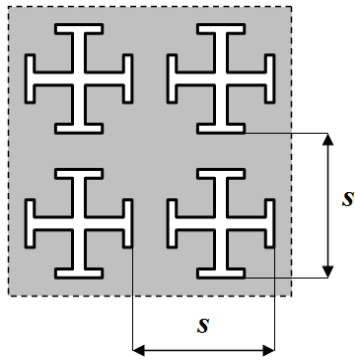


Рис. 1

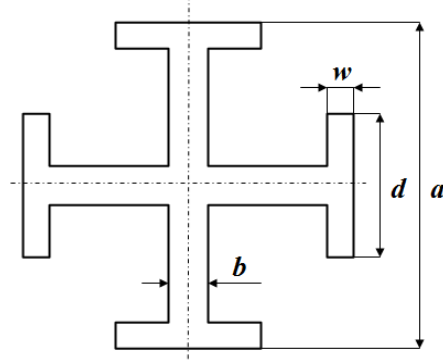


Рис. 2

На рис.3 приведены результаты численного моделирования амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) анализируемой ЧСП с размерами:  $a = 1.4$  мм,  $b = w = t = 50$  мкм,  $d = 202$  мкм для различных значений периода двумерной решетки  $s = var$ . Из этих данных видно, что с увеличением геометрического параметра  $s$ , происходит смещение резонансной частоты  $f_0$  влево и сужение полосы пропускания. При этом наблюдается незначительное увеличение затухания. Аналогичные результаты были получены ранее в ходе изучения АЧХ каскадных сеточных фильтров [6], что позволяет сделать вывод о перспективности использования однослойных ЧСП с периодом  $s > 2$  мм для сверхузкополосной фильтрации сигналов.

Как было установлено в [7], толщина металлизации  $t$  оказывает существенное влияние на передаточные характеристики сеточных крестообразных фильтров, а для практической реализации достаточно толстых ЧСП ( $t = 600$  мкм) могут быть использованы специальные технологии металлообработки.

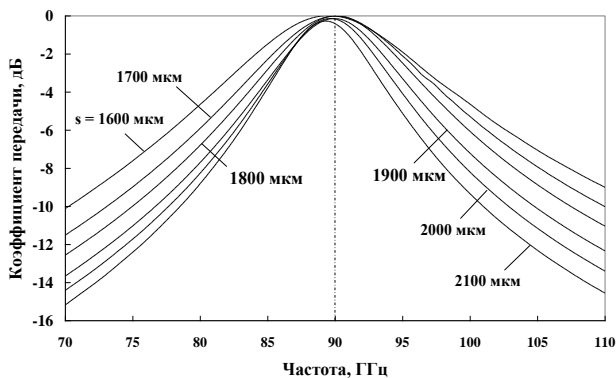


Рис. 3

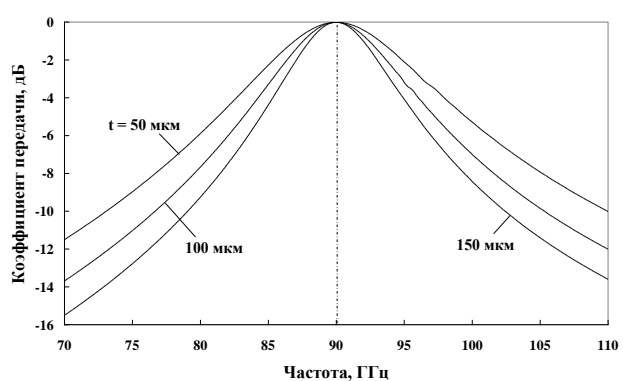


Рис. 4

На рис.4 представлены результаты конечно-элементного анализа исследуемой в данной работе ЧСП (рис.1) с фиксированными размерами:  $a = 1.4$  мм,  $s = 1.7$  мм,  $b = w = t = 50$  мкм,  $d = 202$  мкм для различных значений толщины металлизации. Вычисления показали, что ширина полосы пропускания ЧСП прямо пропорционально зависит не только от периода решетки  $s$ , но и толщины металлизации  $t$ .

Помимо двух рассмотренных параметров двумерной периодической структуры  $s$  и  $t$  в данной работе были также найдены АЧХ для  $d = var$ ,  $w = var$  при прочих фиксированных размерах:  $a = 1.4$  мм,  $b = t = 50$  мкм,  $s = 1.7$  мм.

Таким образом, в данной работе методом конечных элементов впервые проведено комплексное исследование влияния размеров ЧСП с АЭ форме Иерусалимского креста на ее

передаточные характеристики. Полученные результаты могут быть использованы при разработке и проектировании пассивных функциональных электронных устройств миллиметрового диапазона.

#### Библиографический список

1. Излучение и рассеяние электромагнитных волн / Под ред. В.А. Обуховца. - М.: Радиотехника, 2008 - 208 с.
2. Алавердян С.А. Оптимизация двумерных периодических структур с крестообразными апертурными элементами / С.А. Алавердян, И.Н. Кабанов, В.В. Комаров, В.П. Мещанов // Радиотехника и электроника. - 2016. - Т. 61. - № 9. - С. 940-945.
3. Abdin M. A novel dual-band frequency selective surface absorber / M. Abdin, U. Rafique, F. Malik, et al. // - International Journal of Electromagnetics and Applications. - 2012 - V.2(6). - P. 182-185.
4. Dickie R. THz frequency selective surface filters for earth observation remote sensing instruments / R. Dickie, R. Cahill, V. Fusco, et al // IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology. - 2011. - Vol.1. - N 2. - P. 450-461.
5. Алавердян С.А. Сеточные структуры поляризации электромагнитных волн в терагерцевом диапазоне частот / С.А. Алавердян, С.И. Боков, Н.А. Зайцев и др. // Антенны. - 2012. - Т. 17. - № 12. - С. 47-50.
6. Алавердян С.А. Резонансные свойства каскадных частотно-селективных поверхностей / С.А. Алавердян, И.Н. Кабанов, В.В. Комаров, В.П. Мещанов // Радиотехника. - 2015. - № 7. - С. 9-12.
7. Wang Y. Micromachined thick mesh filters for millimeter wave and terahertz applications / B. Yang, Y. Tian, R.S. Donnan et al // IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology. - 2014. - Vol. 4. - N 2. - P. 247-253.