

**Невский А.А.<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

## Рассеяние электромагнитных волн на металлических решетках с трапецеидальными перемычками

*Проведено исследование металлических решеток с перемычками трапецеидальной формы. Для расчета передаточных характеристик такой одномерной периодической структуры использована двумерная численная модель на методе конечных элементов. Экспериментальная проверка модели выполнялась для стальной решетки с прямоугольными перемычками и периодом 100 мкм. Сделан сравнительный анализ решеток с прямоугольными и трапецеидальными перемычками в диапазоне 75...350 ГГц.*

**Ключевые слова:** металлическая решетка, передаточные характеристики, микроволновый диапазон.

Дифракционные решетки (ДР) с прямоугольными перемычками, изготовленные по технологии струйного травления тонких металлических пластин, характеризуются не только совершенными электродинамическими свойствами, но и более высокой степенью устойчивости к климатическим и механическим воздействиям по сравнению с аналогичными решетками с круглыми перемычками [1]. Передаточные характеристики таких одномерных периодических структур для случая Е- и Н-поляризации падающих электромагнитных (ЭМ) волн были изучены в [2-4].

Одной из тенденций развития данного научного направления является исследование ДР с перемычками более сложной формы, например, трапецеидальной или ступенчатой [5]. При этом в качестве основного инструмента анализа подобных устройств авторы [5] предлагают использовать метод эквивалентных схем.

Для более детального изучения решеток с трапецеидальными перемычками (рис.1) в данной работе была построена двумерная математическая модель локального участка ДР вблизи отдельно взятой перемычки с граничными условиями Флоке вдоль оси Х, аналогичная [4].

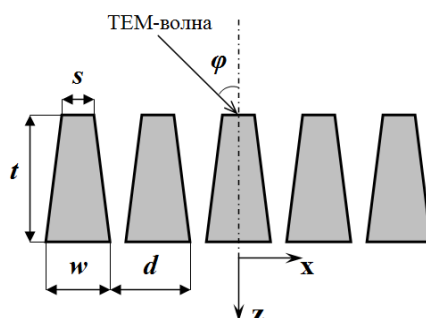


Рис. 1

На некотором удалении от перемычки вдоль оси Z перед решеткой был установлен периодический порт, в котором задавались условия распространения TEM-волны с E-поляризацией единичной амплитуды, а за решеткой - периодические поглощающие граничные условия. Численная реализация модели проводилась методом конечных элементов с привлечением пакета программ COMSOL. Причем, в отличие от [4], в новой модели учитывался угол падения плоской ЭМ волны.

Очевидно, что частным случаем геометрии на рис.1 является ДР с прямоугольными перемычками, где  $s = w$ . Тестирование данной модели проводилось на примере решетки с размерами:  $s = w = 25$  мкм,  $t = 2s$ ,  $d = 4s = 100$  мкм. на частоте 140 ГГц. Сравнение теоретических и экспериментальных данных для этого случая дано на рис.2, где представлены зависимости коэффициента передачи ( $T$ ) от угла падения ( $\varphi$ ). Измерения проводились с привлечением установки описанной в [3, 4]. Аналогичные зависимости, но для трапецеидальных перемычек с размерами:  $s = 0.4w$ ,  $t = 0.5d$ ,  $d = 100$  мкм даны на рис.3.

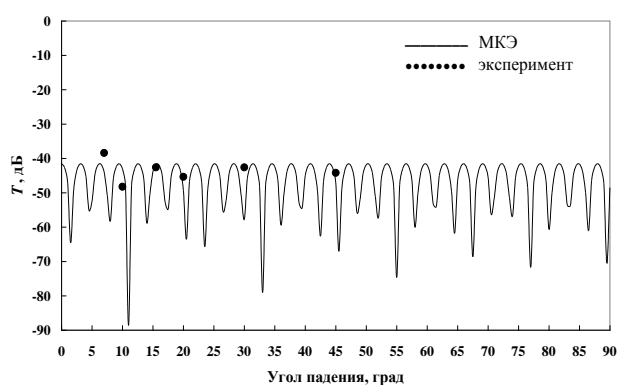


Рис. 2

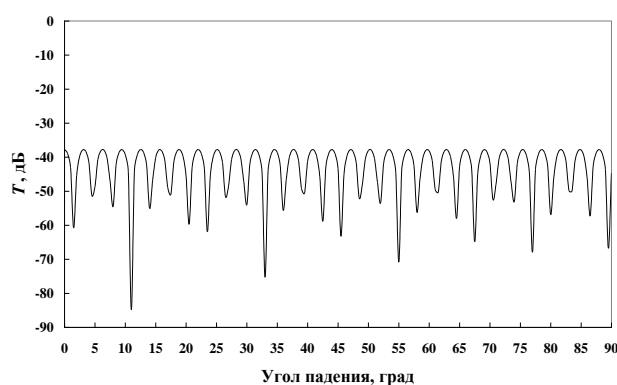


Рис. 3

Моделирование показало, что в обоих случаях наблюдается осциллирующий характер функции  $T(\varphi)$ , причем максимальное значение коэффициента передачи для прямоугольных перемычек составляет  $T = -42$  дБ, а для трапецеидальных перемычек:  $T = -38$  дБ.

Далее в работе были проведены исследования частотных зависимостей  $T(f)$  для нулевого угла падения плоской ЭМ волны. Результаты расчета для ДР с трапецеидальными (кривая 1) и прямоугольными (кривая 2) перемычками приведены на рис.4, откуда видно, что во всем анализируемом диапазоне ДР с прямоугольными перемычками демонстрируют более предпочтительные величины параметра  $T$ .

В ходе моделирования процессов рассеяния ЭМ волн на ДР было также установлено влияние формы трапецеидальной перемычки на величину коэффициента передачи на выбранной частоте 140 ГГц. Оно описывается линейной функцией:

$$T^{dB} = -6.1867 \left( \frac{s}{w} \right) - 35.261, \quad R^2 = 0.9998$$

где  $R$  - коэффициент корреляции. Это соотношение справедливо в интервале вариаций геометрических размеров:  $0.1 \leq (s/w) \leq 1$ ,  $t = 0.5d$ ,  $d = 100$  мкм.

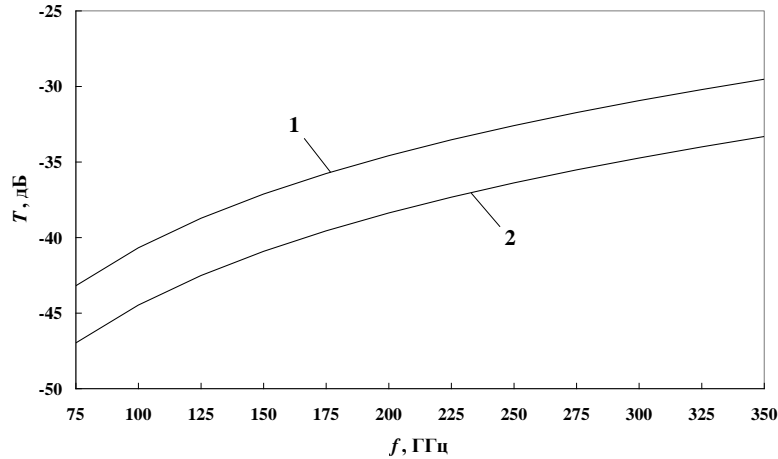


Рис. 4

Таким образом, в ходе проведенных исследований был сделан сравнительный анализ ДР с прямоугольными и трапецидальными перемычками. Показано, что форма перемычек решеток может оказать существенное влияние на их передаточные характеристики, что необходимо учитывать при изготовлении микроволновых и терагерцевых устройств на их основе.

#### Библиографический список

1. Алавердян А.С. Устройства поляризации радиоволн в терагерцевом диапазоне частот. Новые принципы построения. Монография / А.С. Алавердян, С.И. Боков, В.В. Комаров и др. / под ред. А.С. Якунина. – М.: Радиотехника, 2013.
2. Шестопалов В.П. Резонансное рассеяние волн. Т.1, Дифракционные решетки / В.П. Шестопалов, А.А. Кириленко, С.А. Масалов, Ю.К. Сиренко. – Киев: Наукова Думка, 1986.
3. Алавердян С.А. Математическое моделирование дифракции электромагнитных волн на сеточных поляризационных структурах / С.А. Алавердян, И.Н. Кабанов, В.В. Комаров, В.П. Мещанов // Радиотехника и электроника. - 2014.- Т. 59. - № 9. - С. 925-931.
4. Alaveryan S.A. Development and computer-aided design of metal gratings for microwave mesh polarizers / S.A. Alaveryan, I.N. Kabanov, V.V. Komarov, V.P. Meschanov // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. - 2015.- Vol. MTT-63. - N 8. - P. 2509-2514.
5. Medina F. Circuit model for metallic gratings with tapered and stepped slits / F. Medina, R. Rodriguez-Berral, and F. Mesa // Proceedings of the 7th Microwave Integrated Circuits Conference. -Amsterdam. The Netherlands. - October 2012. - P. 845-848.