

---

---

# Электродинамика и антенные системы

---

---

УДК 621.372

## Моделирование полоскового СВЧ полосопропускающего фильтра с учетом технологических ограничений

Кузнецов Д.В., Матюков М.А., Федосеева Е.В.

В данной статье представлены результаты моделирования полоскового СВЧ полосопропускающего фильтра на симметричной полосковой линии передачи. Определены линейные ограничения на точность исполнения топологии при напылении и рассмотрен вариант учета погрешности рисунка токопроводящего проводника на характеристики фильтра. Получены результаты электродинамического моделирования частотных характеристик СВЧ полоскового фильтра при разных значениях погрешности линейных размеров.

*Ключевые слова:* полосковый полосопропускающий фильтр, электродинамическое моделирование, погрешности реализации топологии при напылении.

### Введение

Задача миниатюризации СВЧ устройств решается путем их выполнения на полосковых линиях передачи с высоким значением диэлектрической проницаемости. Одно из преимуществ такого исполнения - возможность реализации целого СВЧ узла на одной подложке, что обеспечивает снижение потерь на передачу сигнала между функциональными устройствами такого узла [1].

При выполнении СВЧ устройства на полосковой линии передачи приводит к необходимости решения задачи его электродинамического моделирования. Это обусловлено наличием достаточно сложной конфигурации граничных зон в малом объеме, что вызывает значительные затруднения для решения волновых уравнений и построения аналитической модели СВЧ устройства [2-3]. На практике в современных условиях проектирование СВЧ устройств выполняется в два этапа - расчет топологии по моделям, полученным для случаев приближения к идеальным материалам и протяженным границам, а затем корректировка и оптимизация топологии по результатам электродинамического моделирования.

В данной работе рассматривается решение задачи оценки влияния технологических допусков напыления проводников на параметры полоскового СВЧ полосопропускающего

фильтра при выполнении электродинамического моделирования.

### СВЧ полосопропускающий фильтр на симметричной полосковой линии передачи

В качестве базового варианта полосового СВЧ фильтра для исследования был принят фильтр с центральной частотой 10,25 ГГц, полосой пропускания 2,0 ГГц, величиной затухания в полосе пропускания -3дБ, полосой заграждения 4 ГГц по уровню -35 дБ. Вариант построения фильтра - на параллельных полуволновых резонаторах с четвертьволновыми соединительными линиями.

По приведенным данным был выполнен расчет обобщенных параметров семизвенного полосопропускающего фильтра с Чебышевской характеристикой затухания. По найденным обобщенным параметрам был выполнен расчет топологии СВЧ фильтра и построена его модель в программе MicroWave Studio.

На рис. 1 показана многослойная структура симметричной полосковой линии передачи с указанием параметров слоев, а на рис. 2 - модель фильтра, соответствующая рассчитанной топологии.

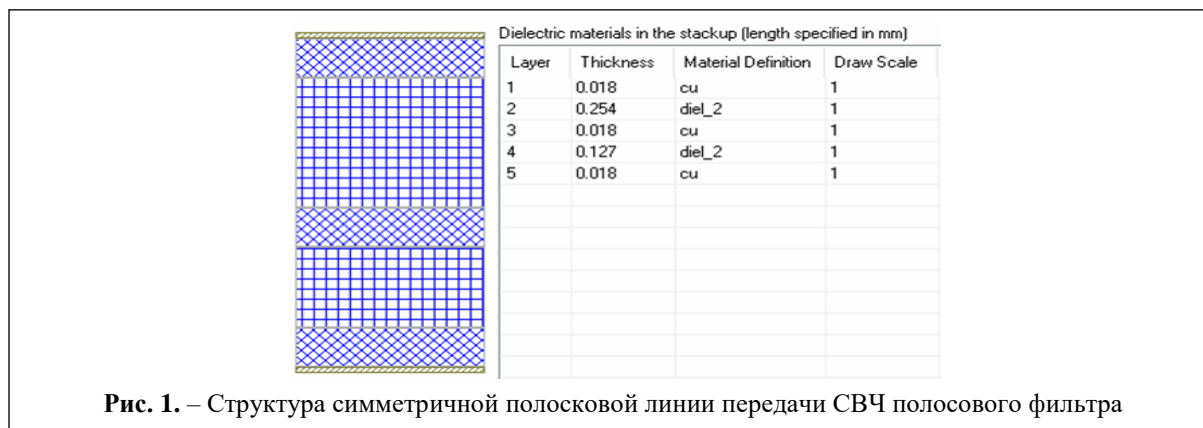


Рис. 1. – Структура симметричной полосковой линии передачи СВЧ полосового фильтра

### Результаты электродинамического моделирования СВЧ полосопропускающего фильтра

Были получены частотные зависимости S-параметров модели, которые соответствуют коэффициентам передачи и коэффициентам

Полученные частотные зависимости характеристик СВЧ полосового фильтра соответствуют заданным параметрам: полоса пропускания по уровню -3 дБ ограничена частотами 9,5 ГГц и 11,2 ГГц, а полоса заграждения по уровню -35 дБ - от 8,2 ГГц до 12,5 ГГц.

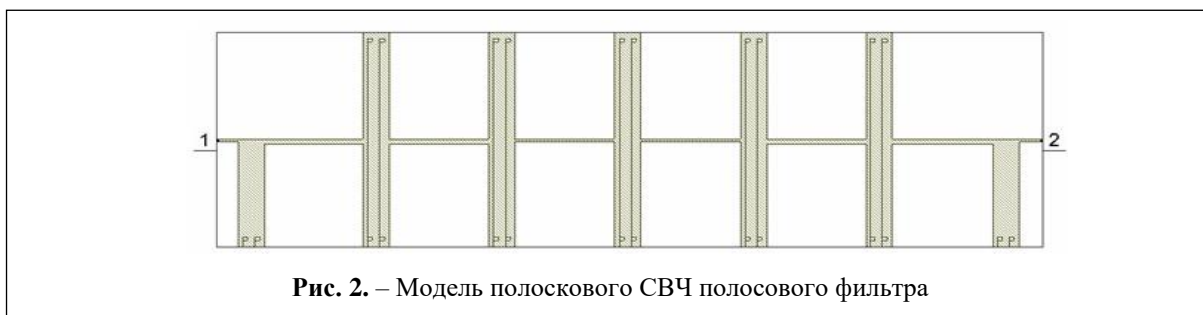


Рис. 2. – Модель полоскового СВЧ полосового фильтра

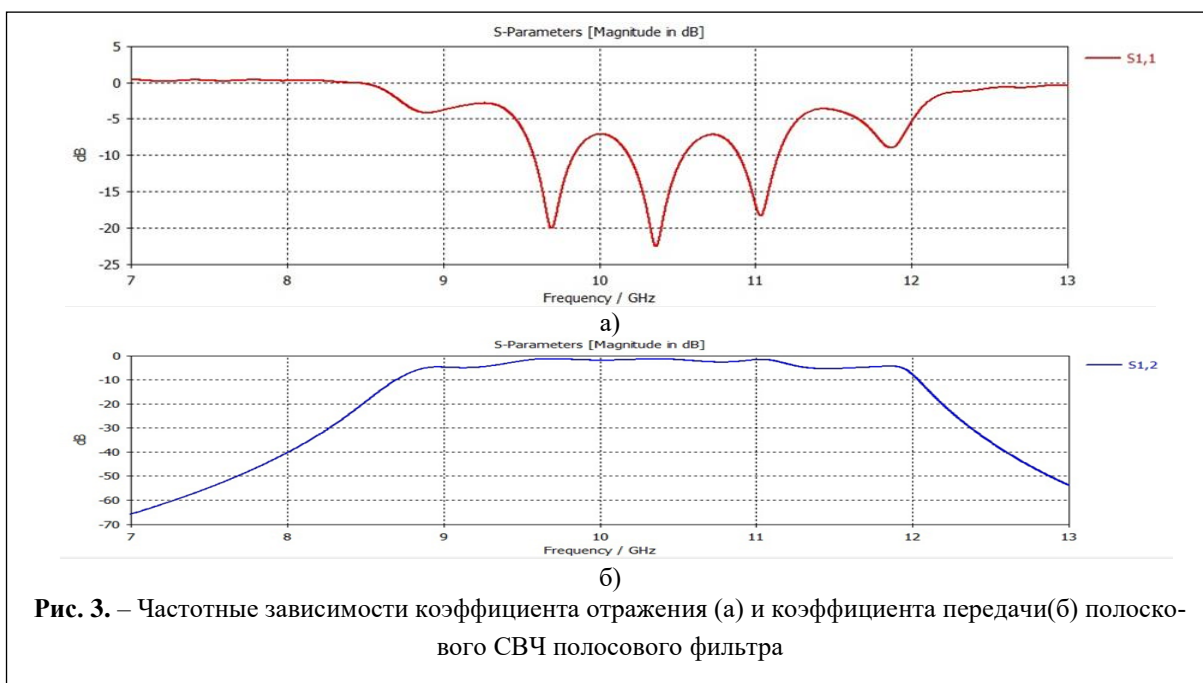


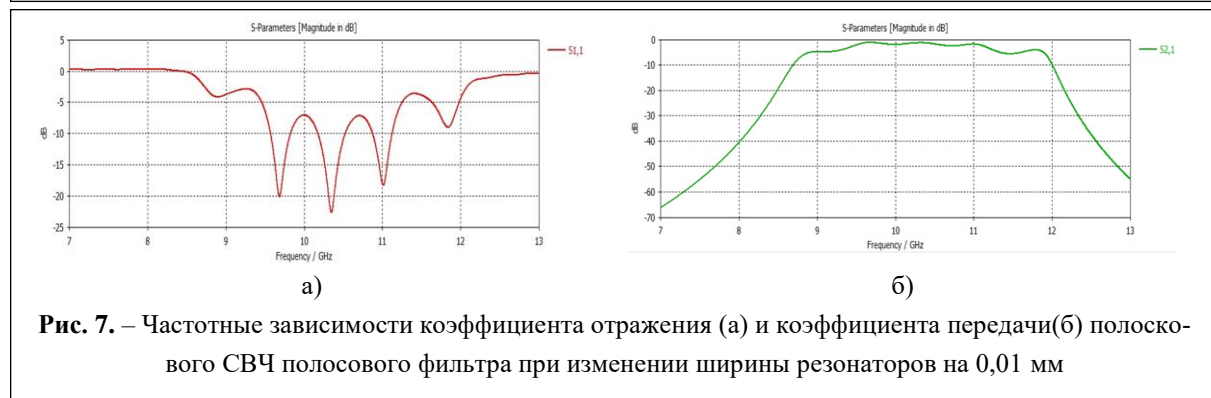
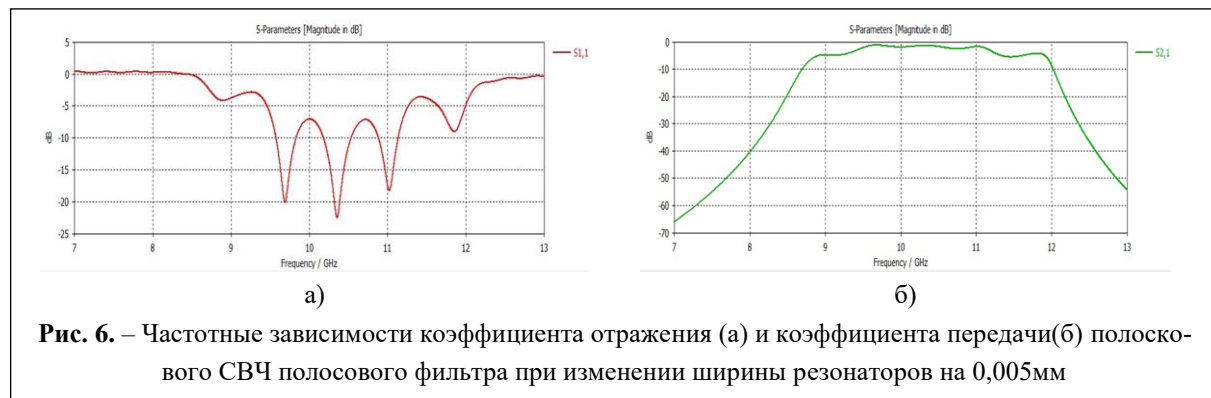
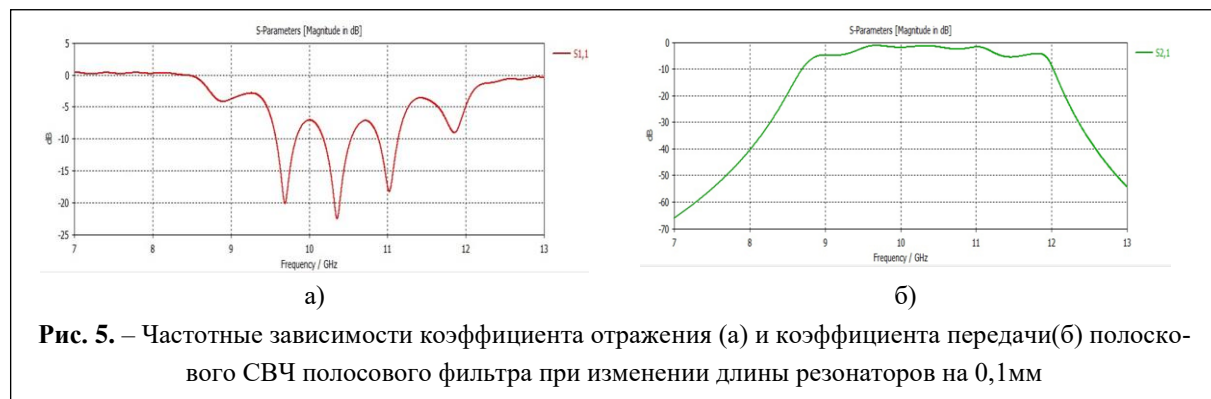
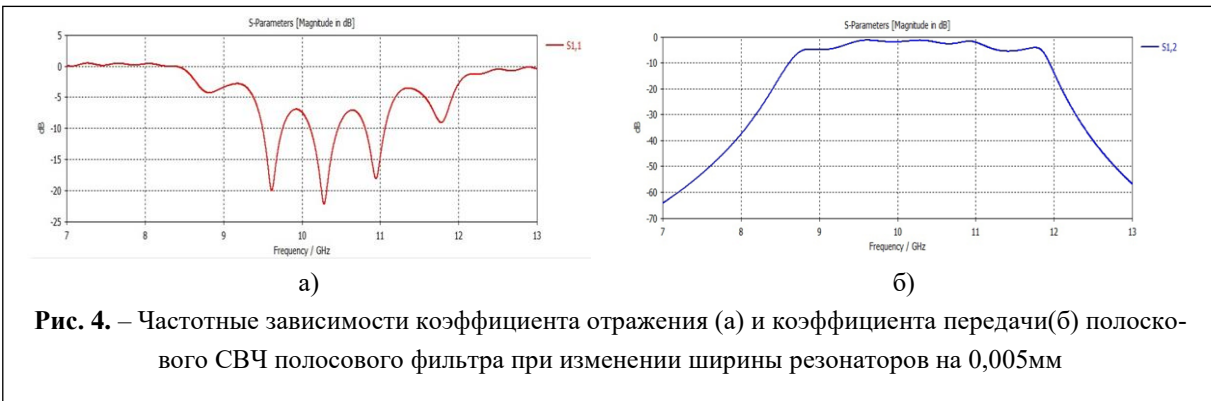
Рис. 3. – Частотные зависимости коэффициента отражения (а) и коэффициента передачи(б) полосового СВЧ полосового фильтра

отражения СВЧ полосового фильтра. Они показаны на рис. 3.

Далее рассмотрено влияние погрешности исполнения топологии на частотные характеристики фильтра. Погрешность реализации

рассчитанного варианта топологии обусловлена точностью исполнения масок для напы-

предельного значения погрешности выполнения топологии ориентировались на пятый



ления и технологическими особенностями процесса напыления (тенью от маски и подпылением под маску) [4, 5]. Для выбора

класс точности - 0,1 мм. Для оценки влияния неточности выполнения топологии, обусловленной технологиче-

скими допусками были рассмотрены следующие варианты отклонения размеров элементов фильтра:

- изменение длины резонаторов на 0,05 мм и 0,1 мм;
- изменение ширины резонаторов на 0,005 мм и 0,01 мм.

На рис. 4-7 показаны полученные частотные зависимости коэффициентов передачи и отражения полоскового СВЧ полосового фильтра при введенных погрешностях реализации топологии.

Результаты моделирования полоскового СВЧ полосового фильтра с учетом возможных отклонений размеров топологии от расчетной модели показали, что изменение ширины резонаторов к изменению ширины полосы пропускания, а изменение длины резонаторов - к смещению полосы пропускания и изменению ее ширины. Так увеличение длины резонаторов на 0,05 мм приводит к сдвигу полосы пропускания в область низких частот на 80 МГц и уменьшению полосы пропускания на 5%. Увеличение ширины резонаторов на 0,005 мм приводит к несимметричному уменьшению полосы пропускания на 3 % в основном со стороны высоких частот.

### Заключение

Таким образом полученные результаты электродинамического моделирования показали

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-19-00378, <https://rscf.ru/project/21-19-00378/>.*

**Поступила 24 сентября 2022 г.**

This article presents the results of modeling a strip microwave band-pass filter on a symmetrical strip transmission line. Linear limitations on the accuracy of the topology execution during spraying are determined and a variant of taking into account the error of drawing a conductive conductor on the filter characteristics is considered. The results of electrodynamic modeling of the frequency characteristics of a microwave band-pass filter at different values of the linear size error are obtained.

*Key words: strip band-pass filter, electrodynamic modeling, errors in the implementation of topology during spraying.*

*Кузнецов Дмитрий Валерьевич* – студент кафедры радиотехники Муромского института (филиала) Государственного образовательного учреждения высшего образования "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых".

*Матюков Максим Андреевич* – студент кафедры радиотехники Муромского института (филиала) Государственного образовательного учреждения высшего образования "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых".

*Федосеева Елена Валерьевна* – доктор технических наук, профессор кафедры радиотехники Муромского института (филиала) Государственного образовательного учреждения высшего образования "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых".

*E-mail: elenafedoseeva@yandex.ru.*

*Адрес: 602264, г. Муром, ул. Орловская, д. 23.*

необходимость учета влияния технологических допусков на точность исполнения топологии полосковых СВЧ фильтров на их частотные характеристики, что должно быть учтено при проектировании функциональных узлов радиоаппаратуры в состав которых они входят.

### Литература

1. Вендик, И.Б. Микроэлектроника СВЧ. Линии передачи и линейные многополюсники СВЧ: учеб. пособие. для вузов / И.Б. Вендик, Д.В. Холодняк. – Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2001. – 64 с.
2. Матей Д. Л., Янг Л., Джонс Е. М. Т. «Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи». Том 1. - М., Связь, 1972. – 87 с.
3. Маклашов В.А., Пиганов М.Н. Моделирование сверхширокополосных полосковых СВЧ фильтров, встроенных в печатную плату // Информационные технологии и нанотехнологии: IV Международная конференция и молодежная школа. 2018. С. 1689-1697.
4. Седнев М.В., Атрашков А.С. Применение вакуумных методов напыления при формировании топологии элементов микросхем // Прикладная физика, 2017, №4 - С. 78-82.
5. Жаркой М.Ф. Основы конструирования и технологии производства изделий микроэлектронной аппаратуры / Учебное пособие. С.-Петербург, 2008 - 70 с.