

Дёмочкин Андрей Игоревич,
инженер-конструктор 3 категории

Зикий Анатолий Николаевич,
к.т.н., с.н.с.

Щепетьева Ольга Сергеевна,
инженер

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОПОЛОСКОВОГО ФИЛЬТРА НА ПОЛУВОЛНОВЫХ РЕЗОНАТОРАХ

Аннотация. Проведено моделирование микрополоскового фильтра на полуволновых резонаторах с четвертьволновыми связями. В качестве результатов представлены:

- принципиальная схема;
- описание конструкции;
- модель в Microwave Office (MWO);
- амплитудно-частотная характеристика из MWO в ближней зоне;
- амплитудно-частотная характеристика из MWO в дальней зоне.

Получены следующие основные результаты:

- центральная частота 9 ГГц;
- ширина полосы пропускания 0,6 ГГц;
- потери в полосе пропускания не более 3дБ;
- потери на частотах заграждения 9 ± 1 ГГц, не менее 20 дБ;
- волновое сопротивление 50 Ом.

Ключевые слова: Полосовой фильтр; микрополосковые линии передачи; полоса пропускания; полоса заграждения; моделирование.

Введение

Микрополосковым фильтрам СВЧ посвящена обширная литература, в том числе монографии [1,2], учебные пособия [4], статьи [6-7], диссертации [8], однако из-за разнообразия требований к ним, появления новых материалов и технологий эта тема является неисчерпаемой. Целью этой работы является получения амплитудно-частотных характеристик (АХЧ) фильтра в ближней и дальней зонах.

Объектом исследования является трёхзвенный микрополосковый фильтр. К нему предъявляются следующие требования:

- центральная частота 9 ГГц;
- ширина полосы пропускания 0,6 ГГц;
- потери в полосе пропускания не более 3 дБ;
- потери на частотах заграждения 9 ± 1 ГГц, не менее 20 дБ;
- волновое сопротивление 50 Ом.

Подобные фильтры широко используются в радиорелейной связи, спутниковой связи и спутниковом телевидении [9].

Схема и конструкция

Принципиальная схема фильтра приведена на рисунке 1. Из этого рисунка видно, что фильтр содержит три резонатора. Такой фильтр можно рассчитать по методике из книги [1].



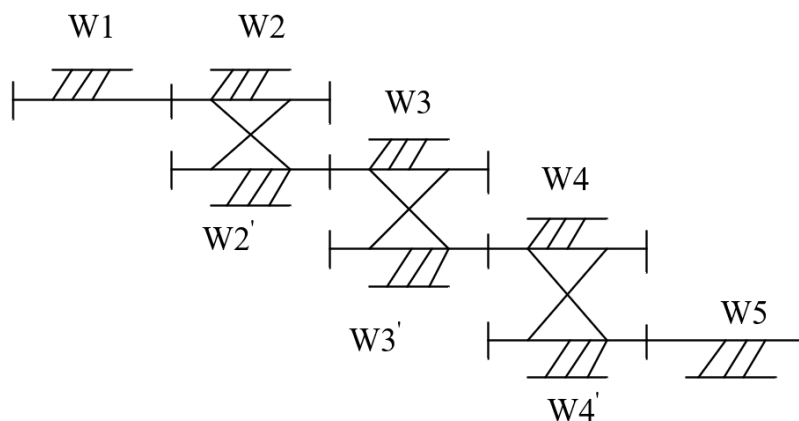


Рисунок 1. Принципиальная схема полосового фильтра на полуволновых резонаторах

На рисунке 2 приведена топология этого фильтра, а в таблице 1-геометрические размеры топологии.

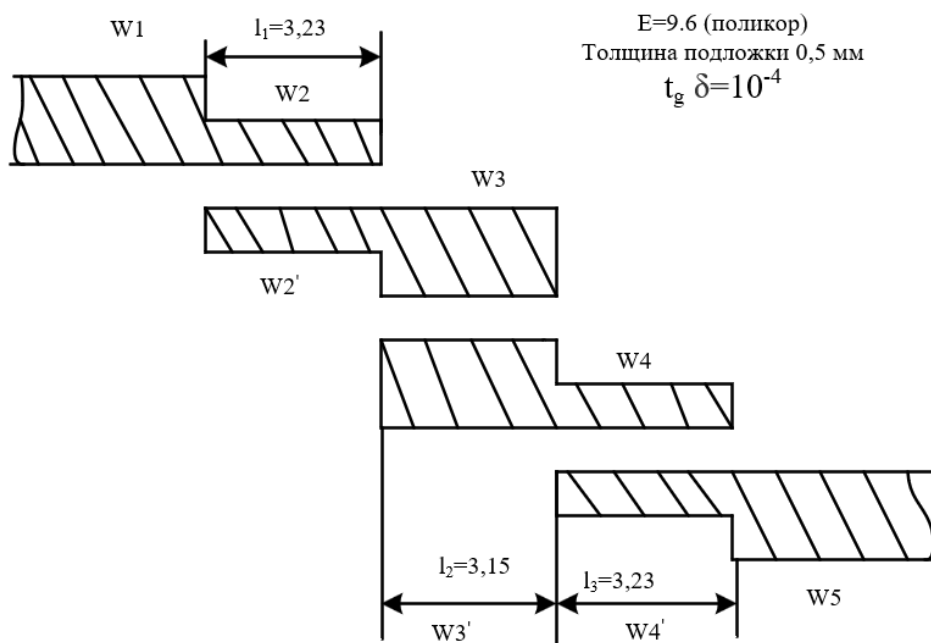


Рисунок 2. Топологическая схема микрополоскового ППФ

Таблица 1

Геометрические размеры фильтра

Позиц. Обозначения	Длина мм	Ширина, мм	Наименования
W1	1	0,485	Регулярная линия 50 Ом
W2, W2'	3,23	0,445	Резонатор
W3, W3'	3,15	0,48	Резонатор
W4, W4'	3,23	0,445	Резонатор
W5	1	0,485	Регулярная линия 50 Ом
S1, S3		0,265	Зазор, мм



S2	0,85	Зазор, мм
-	поликор	Материал подложки
h	0,5	Толщина подложки, мм
Er	9,6	Относительная диэлектрическая проницаемость подложки
t	50	Толщина металлизации, мкм
$t_g \delta$	10^{-4}	Тангенс угла диэлектрических потерь в подложке

Такой фильтр можно изготовить на подложке размером 15x24x0,5 мм. Плата размещается в корпусе рамочного типа из титана, и закрывается с обеих сторон крышками. В качестве соединителей обычно используют коаксиально-полосковые переходы типа СРГ50-751фВ.

Моделирование фильтра

Моделирование фильтра проводилось в среде Microwave Office [10]. В качестве исходных данных для моделирования были взяты размеры из таблицы 1. На рисунке 3 приведена модель полоскового фильтра из MWO. На рисунке 4 приведена амплитудно-частотная характеристика фильтра в полосе от 8 до 10 ГГц. Из этого рисунка видно, что центральная частота равна 8995 МГц, а ширина полосы пропускания на уровне минус 3дБ равна 489 МГц.

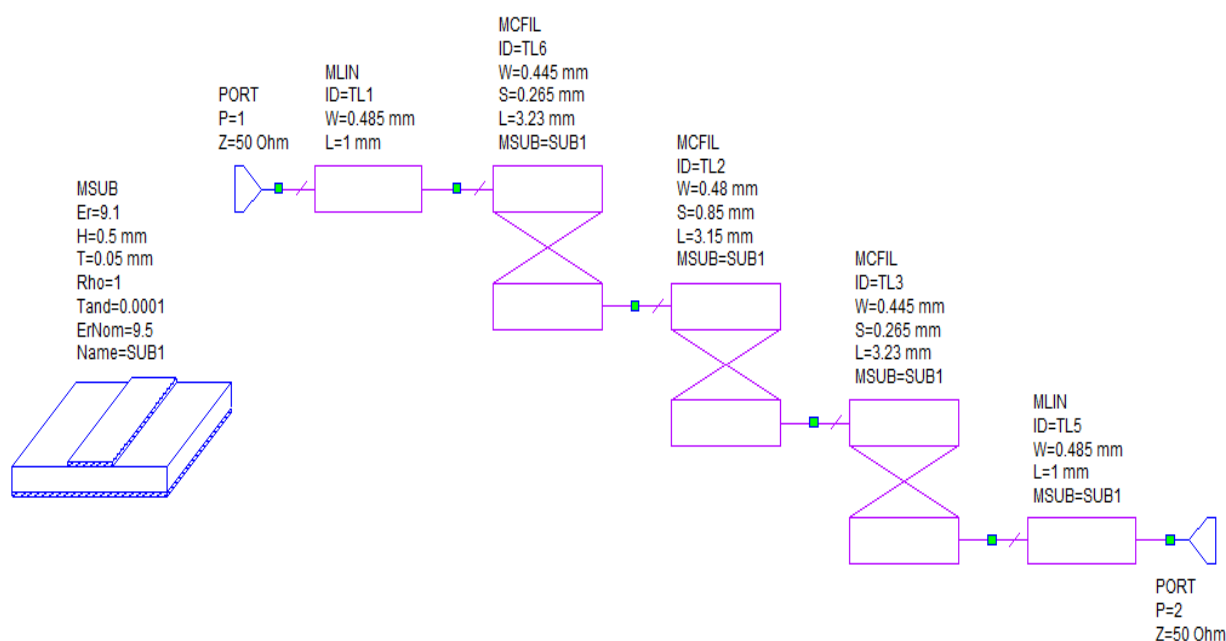


Рисунок 3. Модель фильтра из MWO

На рисунке 5 показана амплитудно-частотная характеристика фильтра в полосе от 8 до 20 ГГц. Из этого рисунка видно, что ложная полоса пропускания расположена около частоты 17991 МГц



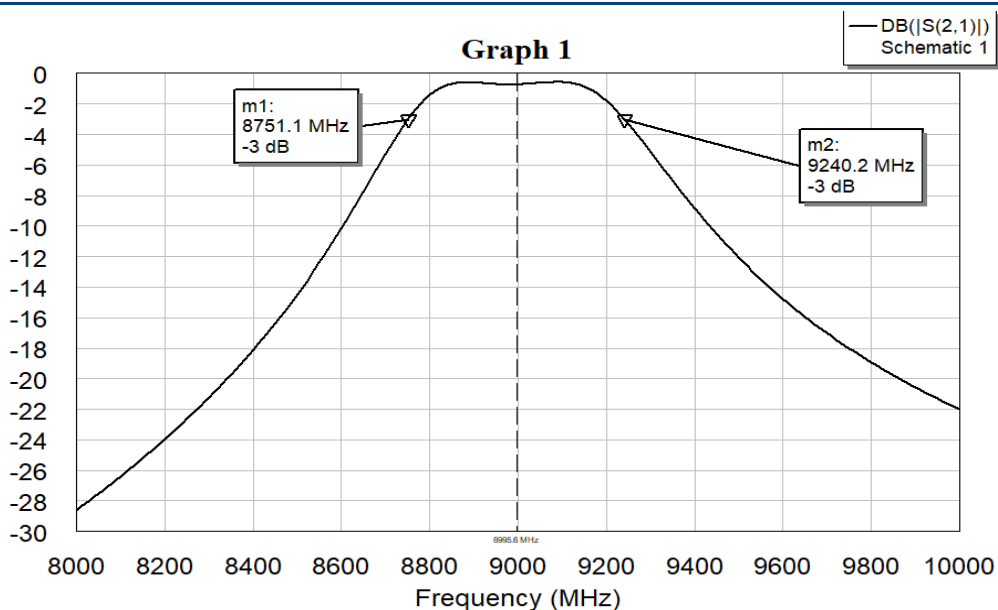


Рисунок 4. АЧХ в диапазоне 8-10 ГГц ($f_0 = 8995.65$ МГц) из MWO

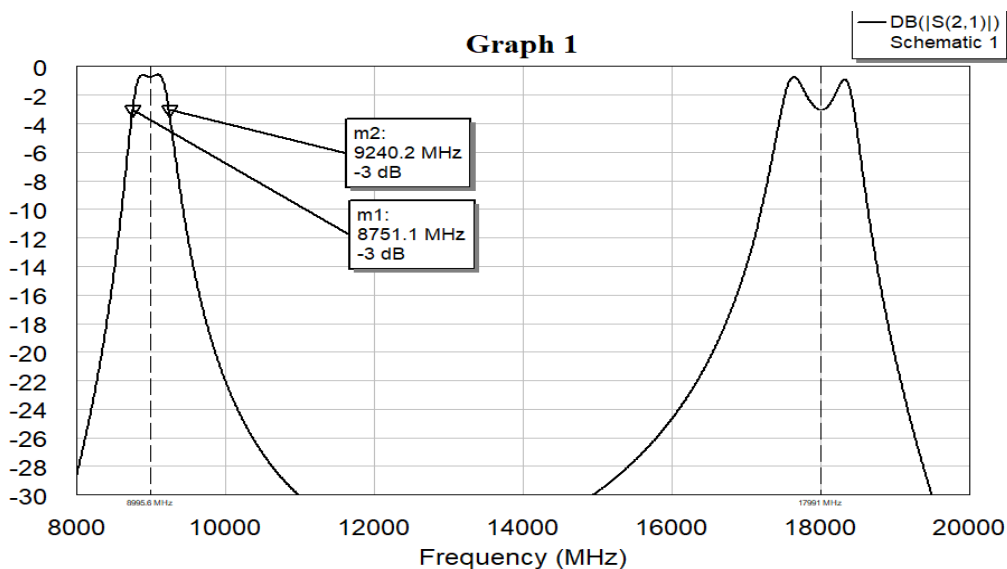


Рисунок 5. АЧХ в диапазоне 8-20 ГГц ($2f_0 = 17991.3$ МГц) из MWO

Выводы

Ниже в таблице 2 проводится сравнения заданных и достигнутых параметров фильтра.
 Таблица 2

Основные параметры фильтра

Наименование параметра, размерность	Задано	Модель
Центральная частота полосы пропускания, ГГц	9,0	9,0
Ширина полосы пропускания ГГц, на уровне минус 3дБ	0,6	0,489
Ширина полосы пропускания ГГц, на уровне минус 3дБ от максимума, ГГц	0,6	0,6



Потери в полосе пропускания, дБ	≤ 5	4
Потери в полосе заграждения при отстройке ± 1 ГГц, дБ	≥ 20	22
Волновое сопротивление, Ом	50	50
Заграждение на $2f_0$	нет	нет
Заграждение на $3f_0$	нет	нет

Фильтр соответствует всем заданным требованиям и может быть использован в приемно-передающей и измерительной аппаратуре СВЧ.

Список литературы:

1. Зелях Э.В., Фельдштейн А.Л., Явич Л.Р., Брилон В.С. Миниатюрные устройства УВЧ и ОВЧ диапазонов на отрезках линий. – М: Радио и связь, 1989. – 136с,
2. Справочник по элементам полосковой техники. Под ред. А.Л. Фельдштейна. -М: Связь, 1979.-336с.
3. Зикий А. Н., Помазанов А. В., Плёнкин А. П. Преобразование частоты радиосигналов в телекоммуникационных системах: учебное пособие. Ростов-на-Дону-Таганрог. Изд-во ЮФУ, 2022. – 195 с.
4. Зикий А.Н., Помазанов А.В., Андрианов А.В., Кочубей А.С. Фильтры СВЧ в телекоммуникационных системах. Учебное пособие. Ростов-на-Дону-Таганрог Изд-во ЮФУ, 2024.-152 с.
5. Андрианов А. В., Зикий А. Н., Зламан П.Н. Моделирование и экспериментальное исследование микрополоскового фильтра на полупроводниковых резонаторах. Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2016, №3, с. 32-35.
6. Андрианов А.В. Микрополосковый фильтр на полуволновых резонаторах [Текст]/ А.В. Андрианов, А.Н. Зикий, С.А. Быков, А.И. Пустовалов.// Инженерный вестник Дона, 2017 -№ 2.
7. Зикий А. Н. Моделирование двух микрополосковых фильтров сантиметрового диапазона [Текст]/ А.Н. Зикий, П.Н. Зламан // Известия ЮФУ. Технические науки. 2020. – №5 (215), с. 68–74.
8. Сержантов А. М. Резонансные полосковые структуры и частотно-селективные устройства на их основе с улучшенными характеристиками. Диссертация д.т.н. Красноярск, Сибирский федеральный университет, 2015. – 316с.
9. Бушминский И.П., Кузнецов Д.И., Романов А.А., Тюхтин М.Ф. Приемные системы спутникового телевидения. – М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.
10. Разевиг В. Д., Потапов Ю.В., Курушин А. А. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office. Солон-пресс, 2003. – 496 с.

