

Дёмочкин Андрей Игоревич,
инженер-конструктор 3 категории

Щепетьева Ольга Сергеевна, инженер

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

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПОЛОСКОВОГО ФИЛЬТРА НА ПОЛУВОЛНОВЫХ РЕЗОНАТОРАХ

Аннотация. Проведено исследование микрополоскового фильтра на полуволновых резонаторах с четвертьволновыми связями. Фильтр состоит из двух последовательно соединённых фильтров – полосового и фильтра нижних частот (ФНЧ) – для подавления ложных полос пропускания. В качестве результатов представлены:

- схема и конструкция;
- геометрические размеры топологии;
- модель в Microwave Office (MWO);
- амплитудно-частотная характеристика из MWO в ближней зоне;
- амплитудно-частотная характеристика из MWO в дальней зоне;
- экспериментальные амплитудно-частотные характеристики.

Получены следующие основные результаты:

- центральная частота 9 ГГц;
- ширина полосы пропускания 2,72 ГГц (модель) / 2,522 ГГц (эксперимент);
- потери в полосе пропускания не более 2 дБ;
- потери на частоте $2f_0$ не менее 35 дБ;
- волновое сопротивление 50 Ом.

Ключевые слова: Полосовой фильтр; фильтр нижних частот; микрополосковые линии передачи; полуволновые резонаторы; ложные полосы пропускания; моделирование; эксперимент.

Введение

Микрополосковым фильтрам СВЧ посвящена обширная литература, в том числе монографии [1-3], учебные пособия [4], статьи [5-7], однако из-за разнообразия требований к ним, появления новых материалов и технологий эта тема является неисчерпаемой. Целью данной работы является получение амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) фильтра в ближней и дальней зонах, а также оценка эффективности подавления ложных полос пропускания с помощью фильтра нижних частот.

Объектом исследования является микрополосковый фильтр на полуволновых резонаторах, дополненный фильтром нижних частот. К нему предъявляются следующие требования:

- центральная частота 9 ГГц;
- ширина полосы пропускания на уровне минус 3 дБ от максимума – не уже 2,5 ГГц;
- потери в полосе пропускания не более 2 дБ;
- подавление ложной полосы пропускания $2f_0$ не менее 20 дБ;
- волновое сопротивление 50 Ом.



Подобные фильтры широко используются в радиорелейной связи, спутниковой связи и спутниковом телевидении, где требуется эффективное подавление высших гармоник и ложных полос пропускания.

Схема и конструкция

Объект исследования представляет собой два последовательно соединённых фильтра – полосовой и фильтр нижних частот (ФНЧ). При этом полосовой фильтр на полуволновых резонаторах имеет близкорасположенные ложные полосы пропускания – на $2f_0$, $3f_0$, $4f_0$ и т.д. Для подавления ложных полос пропускания служит ФНЧ.

Конструкция фильтра представляет собой печатную плату из поликора размером $15 \times 48 \times 0,5$ мм, помещённую в корпус рамочного типа из титана. Для защиты от механических и климатических воздействий корпус закрывается двумя крышками, припаянными по контуру.

В качестве соединителей используются коаксиальные микрополосковые переходы типа СРГ50-751ФВ [8]. Фото фильтра со снятой крышкой можно видеть на рисунке 1.

Полосовой фильтр удобно рассчитать, пользуясь книгой [1]. Результаты расчёта приведены в таблице 1. Там же приведены геометрические размеры фильтра нижних частот. Они рассчитаны по книге [2].

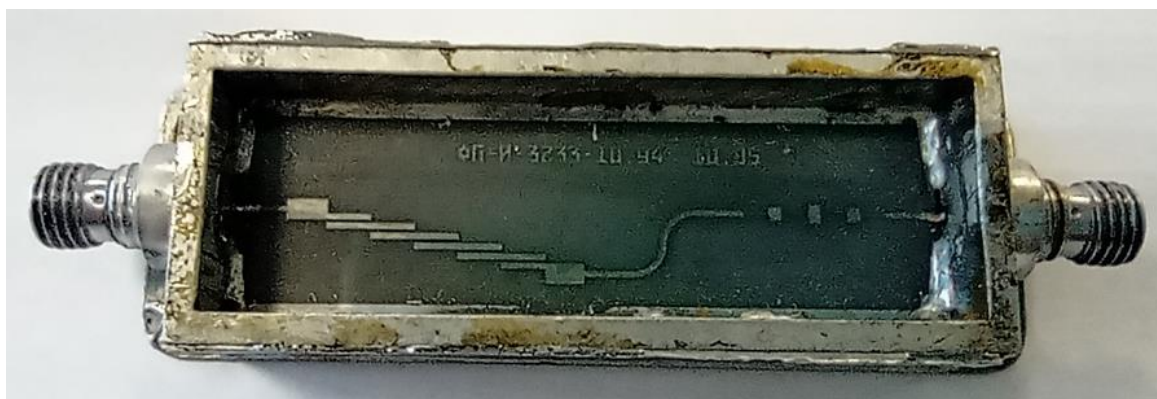


Рисунок 1. Фото фильтра со снятой крышкой

Таблица 1

Геометрические размеры фильтра

Позиц. обозн.	Длина, мм	Ширина, мм	Волновое сопротивление, Ом	Наименование
W0	4	0,5	50	Регулярная линия
W1, W7	3,5	1,6	50	Элемент связи
W2	3	0,3	50	Резонатор
W3	3,3	0,8	50	Резонатор
W4	2,7	0,7	50	Резонатор
W5	3,4	0,3	50	Резонатор
W6	3,1	0,2	50	Резонатор
W8, W16	1	0,5	50	Регулярная линия
W9	1,5	0,2	50	Высокоомная линия
W10	1,3	1,7	50	Низкоомная линия
W11	1,5	0,1	50	Высокоомная линия



W12	1,3	1,9	50	Низкоомная линия
W13	1,5	0,1	50	Высокоомная линия
W14	1,4	1,4	50	Низкоомная линия
W15	1,5	0,2	50	Высокоомная линия
S12	0,3			Зазор между резонаторами
S23	0,1			Зазор между резонаторами
S34	0,1			Зазор между резонаторами
S45	0,2			Зазор между резонаторами
S56	0,2			Зазор между резонаторами
h	0,5			Толщина подложки, мм
ϵ_r	10			Относительная диэлектрическая проницаемость
t	10			Толщина металлизации, мкм
a×b	15×48			Размер подложки, мм

Моделирование фильтра

Моделирование фильтра проводилось в среде Microwave Office (MWO) [9,10]. На рисунке 2 можно видеть модель полосового фильтра из MWO. В этой модели использованы геометрические размеры, взятые из таблицы 1. В процессе моделирования были подобраны длины резонаторов, что отражено на рисунке 2.

На рисунке 3 показана АЧХ полосового фильтра в ближней зоне, а на рисунке 4 – в дальней зоне. Из рисунка 4 видно, что одиночный полосовой фильтр (без ФНЧ) не удовлетворяет предъявленным требованиям по загораждению второй и третьей гармоники.

На рисунке 5 показана модель ФНЧ из MWO. Геометрические размеры для рисунка 5 взяты из таблицы 1. На рисунке 6 изображена АЧХ ФНЧ в полосе от 8 до 16 ГГц. На рисунке 7 можно видеть АЧХ ФНЧ в полосе от 10 до 40 ГГц. Из этого рисунка можно сделать вывод, что загораждение частоты $2f_0$ составляет -28,37 дБ, а частоты $3f_0$ – 8,88 дБ. Этот результат удовлетворяет предъявленным требованиям.

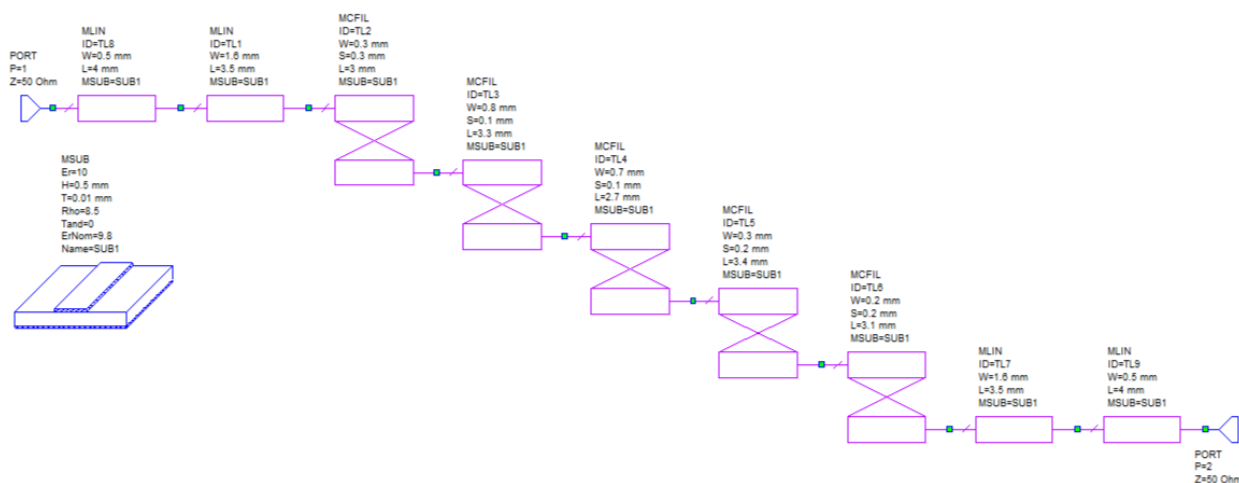


Рисунок 2. Модель полосового фильтра в MWO



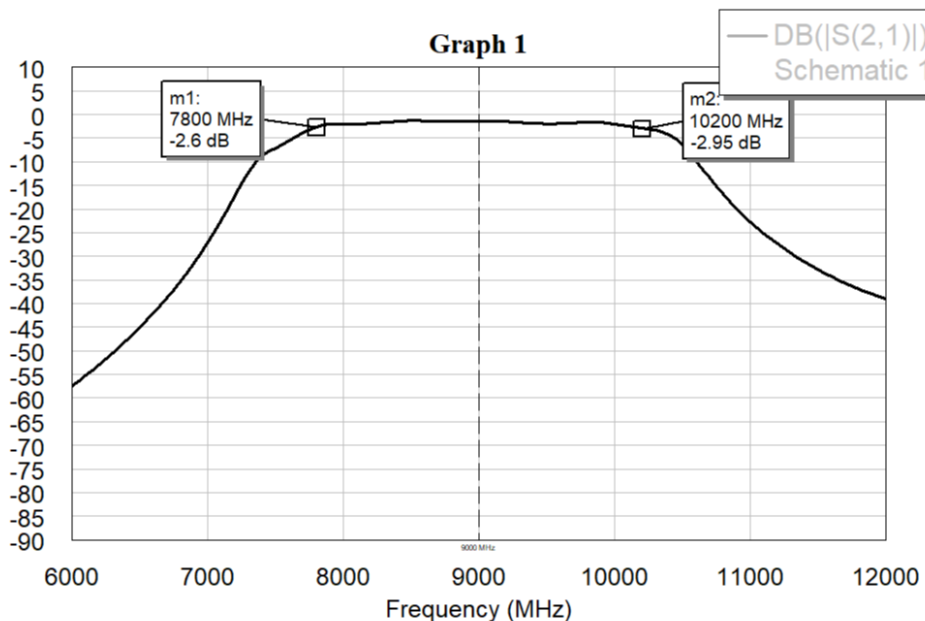


Рисунок 3. АЧХ полосового фильтра из МВО в ближней зоне

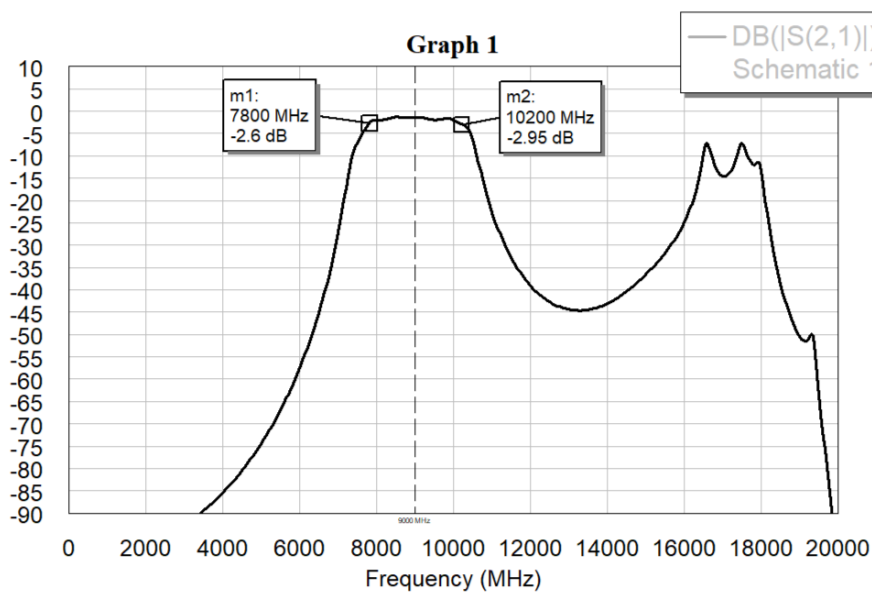


Рисунок 4. АЧХ полосового фильтра из МВО в дальней зоне

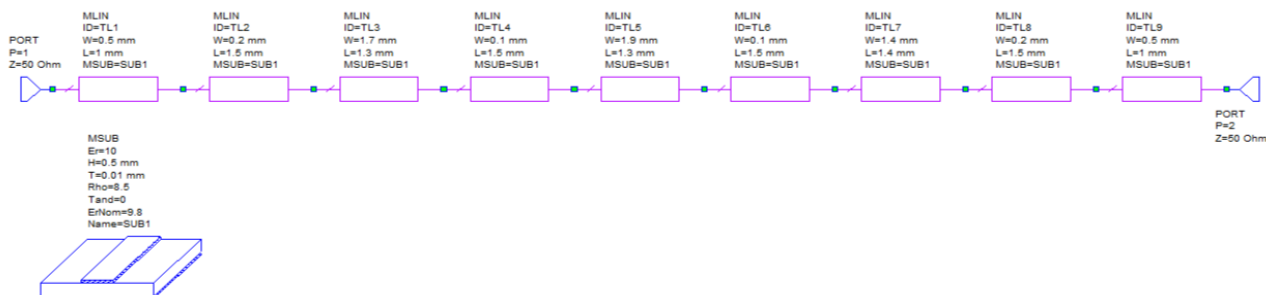


Рисунок 5. Модель ФНЧ в МВО



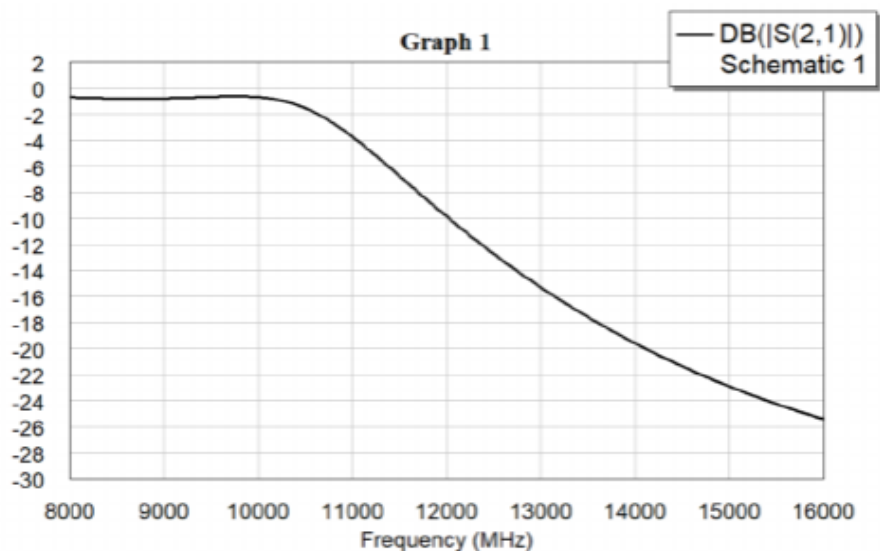


Рисунок 6. АЧХ ФНЧ из MWO в ближней зоне

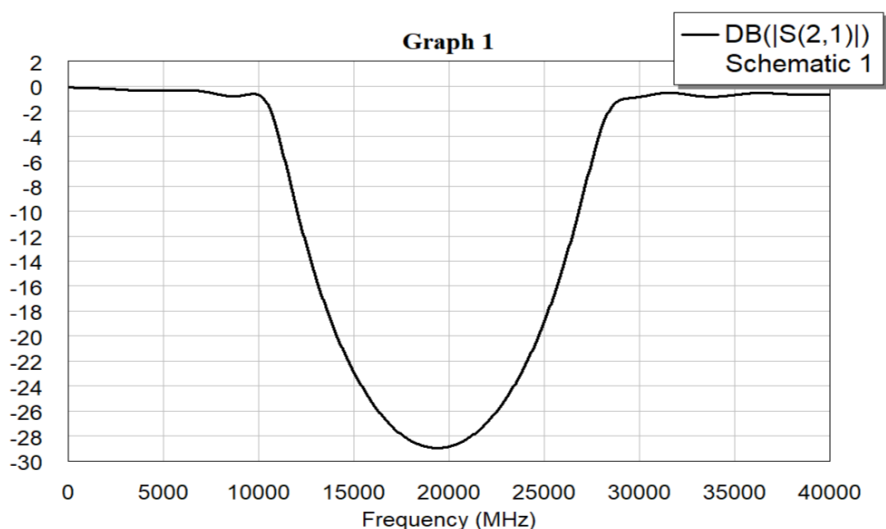


Рисунок 7. АЧХ ФНЧ из MWO в дальней зоне

Эксперимент

Эксперимент проводился на установке, содержащей векторный анализатор цепей типа PNA-L, набор кабелей и переходов.

В первом эксперименте снята АЧХ фильтра в ближней зоне при полосе обзора от 6 до 12 ГГц. Эту АЧХ можно видеть на рисунке 8 (ближняя зона).

Во втором эксперименте снята АЧХ фильтра в дальней зоне при полосе обзора от 0,01 до 20 ГГц. АЧХ фильтра изображена на рисунке 9.



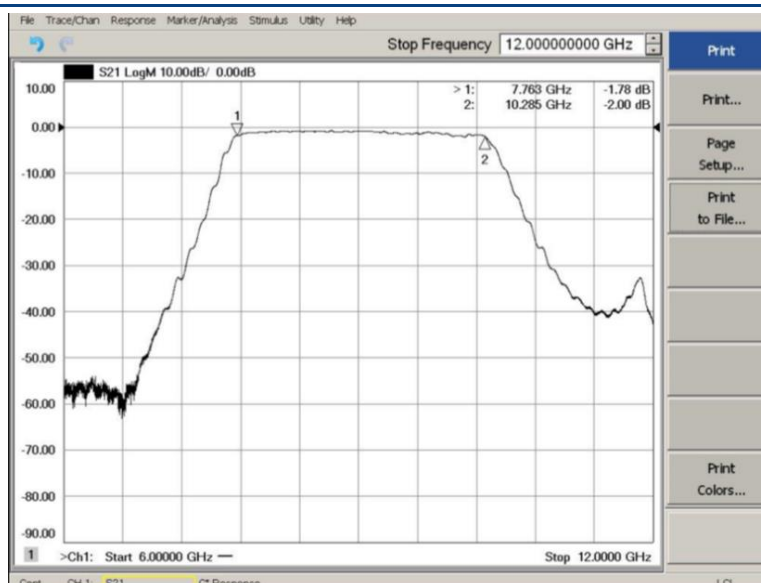


Рисунок 8. АЧХ фильтра в ближней зоне

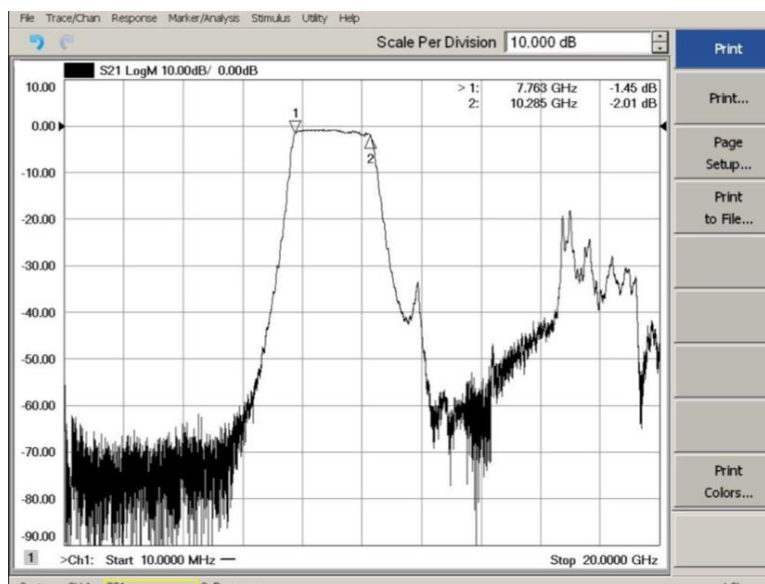


Рисунок 9. Экспериментальная АЧХ в дальней зоне

Выводы

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

Основные параметры фильтра

Наименование параметра, размерность	Задано	Модель	Эксперимент
Центральная частота полосы пропускания, ГГц (f_0)	9	9	9
Ширина полосы пропускания на уровне минус 3 дБ от максимума, не менее, ГГц	2,5	2,72	2,522



Потери в полосе пропускания, дБ	2	2	2
Потери на частоте $2f_0$, дБ	≥ 20	40	35
Волновое сопротивление, Ом	50	50	50

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

Список литературы:

1. Зелях Э.В., Фельдштейн А.П., Явич Л.Р., Брилон В.С. Миниатюрные устройства УВЧ и ОВЧ диапазонов на отрезках линий. – М.: Радио и связь, 1989. – 112 с.;
2. Справочник по элементам полосковой техники. Под ред. А.Л. Фельдштейна. -М.: Связь, 1979.-336с.;
3. Микроэлектронные устройства СВЧ. / Бова Н.Т. и др. Киев, Техника, 1984;
4. Микроэлектронные устройства СВЧ. Учебное пособие. Под ред. Г.И. Веселова. – М.: Высшая школа, 1988. – 280 с.;
5. Андрианов А.В., Быков С.А., Зикий А.Н., Пустовалов А.И. Микрополосковый фильтр на полуволновых резонаторах (3,7 ГГц). Инженерный вестник Дона, 2017, №2;
6. Андрианов А.В., Зикий А.Н., Зламан П.Н. Моделирование и экспериментальное исследование микрополоскового фильтра на полуволновых резонаторах. Электротехнические и информационные комплексы и системы, 2016, №3, с. 32-35;
7. Зикий А.Н., Зламан П.Н. Моделирование двух микрополосковых фильтров сантиметрового диапазона. Известие ЮФУ, серия Технические науки 2020, №5, с. 68-74;
8. Джурицкий К.Б. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. – М.: Техносфера, 2006. – 216 с.;
9. Бахвалова С.А., Романюк В.А. Основы моделирования и проектирования радиотехнических устройств в MicrowaveOffice. Учебное пособие. – М.: Солон-Пресс, 2016. – 152 с.;
10. Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Курушин А.А. Проектирование СВЧ устройств с помощью MicrowaveOffice. – М.: Солон-Пресс, 2003. – 496 с.

