

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

Дёмочкин Андрей Игоревич,
инженер-конструктор 3 категории

ФИЛЬТР НА ВСТРЕЧНЫХ СТЕРЖНЯХ 2,5-3 ГГц

Аннотация. Проведено моделирование и экспериментальное исследование полосового фильтра дециметрового диапазона. В качестве результатов исследования представлены:

- Геометрические размеры фильтра;
- Фото макета фильтра;
- Модель и амплитудно-частотная характеристика фильтра из Microwave Office;
- Экспериментальная амплитудно-частотная характеристика фильтра.

Достигнуты следующие параметры фильтра:

- Диапазон рабочих частот от 2,5 до 3,0 ГГц;
- Потери в полосе пропускания не более 5 дБ;
- Потери на частотах заграждения около 40 дБ;
- Волновое сопротивление 50 Ом.

Фильтр рекомендуется использовать во входной цепи приёмника СВЧ.

Ключевые слова: Фильтр на встречных стержнях; симметричная воздушно-полосковая линия передачи; моделирование; эксперимент; амплитудно-частотная характеристика.

Введение

Проектированию фильтров на встречных стержнях посвящено огромное число работ, среди которых упомянем монографии [1, 2], учебное пособие [3], статьи [4-7].

Целью данной работы является описание результатов моделирования и экспериментального исследования фильтра, к которому предъявляются следующие требования:

- Диапазон рабочих частот от 2,5 до 3,0 ГГц;
- Потери в полосе пропускания не более 5 дБ;
- Заграждение на частотах $f_1 = 2273$ МГц и $f_2 = 3261$ МГц не менее 40 дБ;
- Волновое сопротивление 50 Ом;
- Применить симметричную воздушно-полосковую линию передачи.

Схема и конструкция

Принципиальная схема фильтра показана на рисунке 1. Фильтр содержит 10 четвертьволновых резонаторов W1-W10, 8 подстроечных конденсаторов, представляющих собой ёмкость между торцом резонатора и подстроечным винтом МЗ. Для включения в тракт фильтр содержит два гнезда X1, X2.

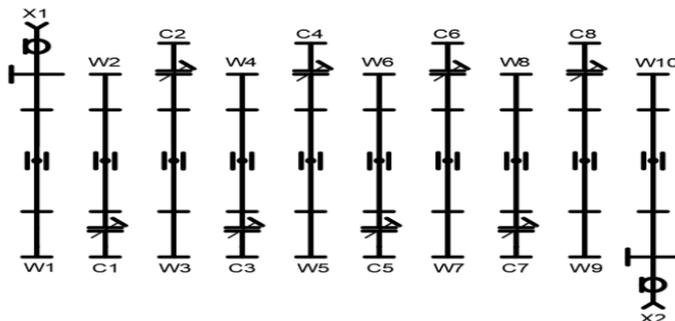


Рисунок 1. Принципиальная схема фильтра



Геометрические размеры фильтра можно рассчитать по методике из книги [1]. Исследованы два варианта: с круглыми стержнями и с прямоугольными. Их выбор связан с доступной технологией изготовления. Круглые стержни используют, когда предпочтительны токарные работы. Прямоугольные стержни используют, когда предпочтительным является обработка на фрезерном станке. Результаты расчёта для круглых стержней приведены в таблице 1. Результаты расчёта для прямоугольных стержней помещены в таблицу 2.

Таблица 1

Геометрия фильтра с круглыми стержнями

Позиц. обознач.	Длина, мм	Диаметр, мм	Наименование
W1, W10	27,2	4	Резонатор
W2, W9	27,2	3	Резонатор
W3, W8	27,2	3	Резонатор
W4, W7	27,2	3	Резонатор
W5, W6	27,2	3	Резонатор
S1, S9	1,5		Зазор. мм
S2, S8	6		Зазор. мм
S3, S7	6		Зазор. мм
S4, S6	6		Зазор. мм
S5	6		Зазор. мм
ϵ_r	1		Относительная диэлектрическая проницаемость
b	10		Расстояние между крышками
$\text{tg}\delta$	0		Тангенс угла диэлектрических потерь

Таблица 2

Геометрия фильтра с прямоугольными стержнями

Позиц. обознач.	Длина, мм	Ширина, мм	Наименование
W1, W10	27,2	12,1	Резонатор
W2, W9	27,2	3,4	Резонатор
W3, W8	27,2	3,0	Резонатор
W4, W7	27,2	3,0	Резонатор
W5, W6	27,2	3,4	Резонатор
S1, S9	1,8		Зазор. мм
S2, S8	0,6		Зазор. мм
S3, S7	0,1		Зазор. мм
S4, S6	0,8		Зазор. мм
S5	4,3		Зазор. мм
ϵ_r	1		Относительная диэлектрическая проницаемость
b	10		Расстояние между крышками
t	2		Толщина резонаторов, мм



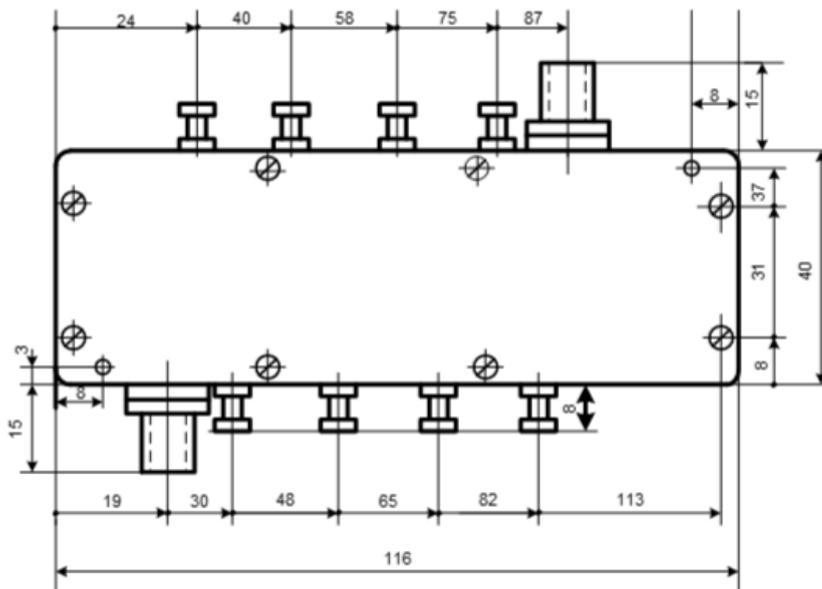


Рисунок 2. Габаритный чертёж фильтра 2,5-3 ГГц

На рисунке 2 приведён габаритный чертёж фильтра с круглыми стержнями. На рисунке 3 можно видеть фото фильтра со снятой крышкой. Из этого фото видно, что корпус и стержни фильтра покрыты слоем серебра.

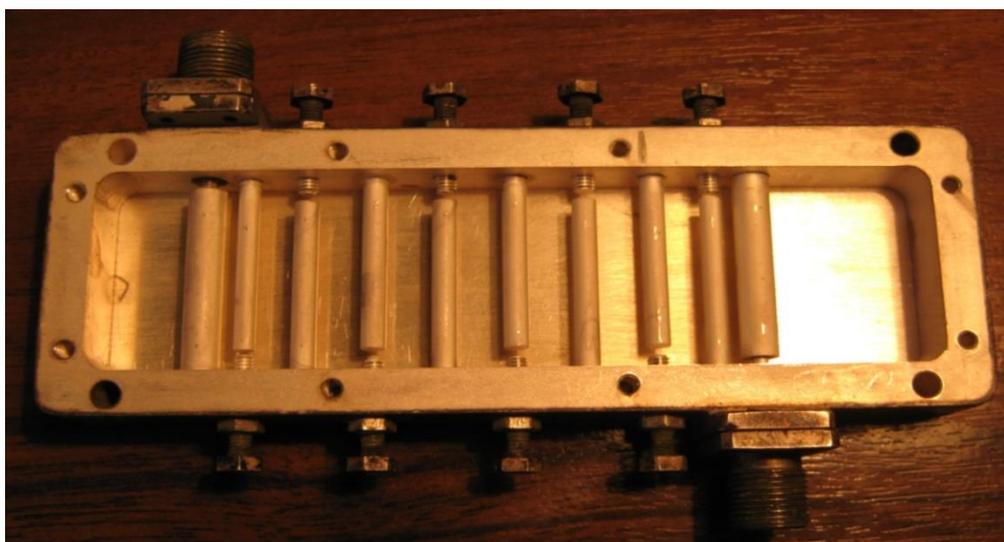


Рисунок 3. Фото фильтра со снятой крышкой

Моделирование

Моделирование фильтра проводилось в пакете прикладных программ Microwave Office (далее – MWO) [8, 9]. Модель фильтра из MWO показана на рисунке 4. Используются прямоугольные стержни. Геометрические размеры фильтра взяты из таблицы 2.



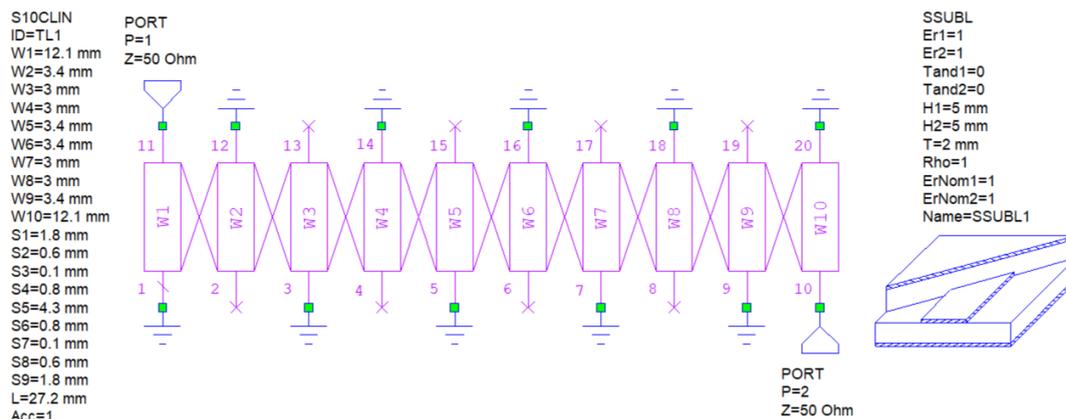


Рисунок 4. Модель фильтра в MWO

Результатом моделирования в MWO является амплитудно-частотная характеристика (далее – АЧХ) на рисунке 5.

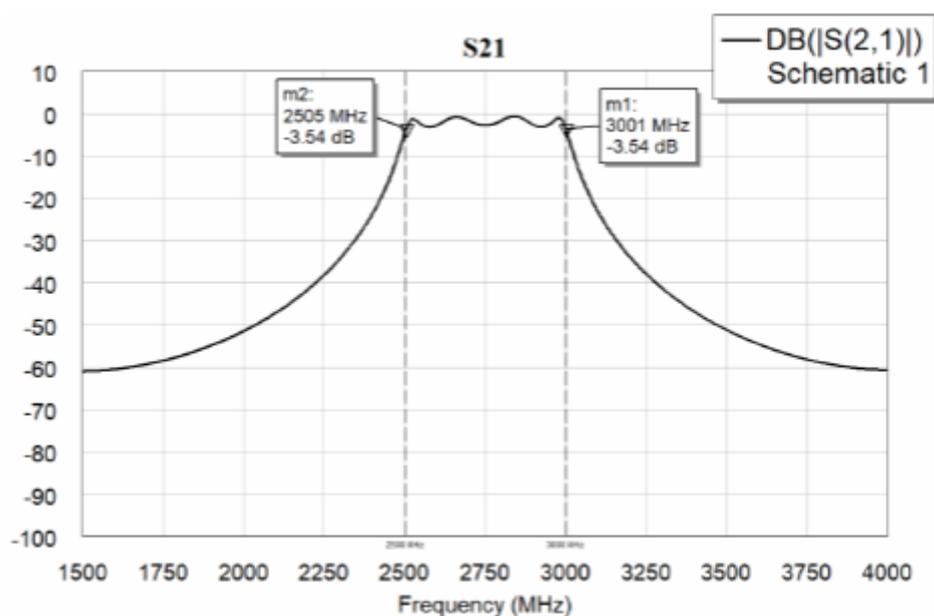


Рисунок 5. АЧХ фильтра из MWO

Эксперимент

Эксперимент проводился на установке, структурная схема которой показана на рисунке 6. Основным инструментом на ней является измеритель КСВН и ослабления типа Р2-78. Кроме этого, использован набор кабелей и переходов. Измерение АЧХ проводилось в диапазоне частот от 2273 до 3358 МГц с неравномерным шагом. Результаты измерений занесены в таблицу 3.



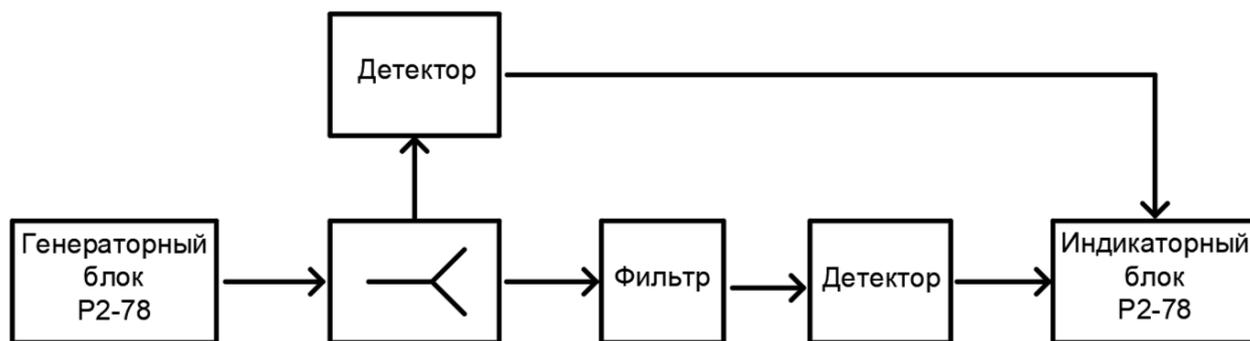


Рисунок 6. Структурная схема измерительной установки

Таблица 3

АЧХ фильтра

F, МГц	2273	2379	2420	2458	2485	2512	2544	2577	2605
P_{вых}, дБм	-40	-31	-19,2	-5,8	-4,57	-4,09	-2,98	-2,33	-2,03
F, МГц	2960	2728	2796	2832	2870	2916	2961	2999	3032
P_{вых}, дБм	-1,14	-1,44	-2,61	-1,83	-4,04	-1,43	-2,77	-1,55	-1,55
F, МГц	3070		3098		3175		3261		3358
P_{вых}, дБм	-11,4		-20,5		-21,1		-40,5		-40,9

По данным таблицы 3 построен график на рисунке 7. Из этого графика можно сделать следующие выводы:

- Нижняя граничная частота 2,5 ГГц;
- Верхняя граничная частота 3,05 ГГц;
- Ширина полосы пропускания на уровне минус 3 дБ от максимума 550 МГц;
- Потери в полосе пропускания около 5 дБ.

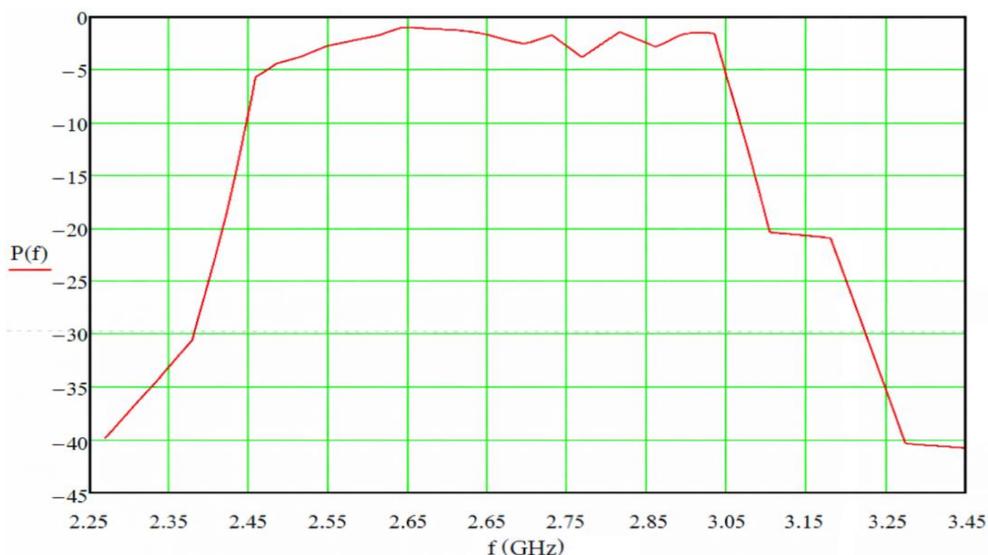


Рисунок 7. Экспериментальная АЧХ фильтра



На рисунках 8 и 9 приведены фото с экрана индикатора Р2-78 с курсором на 2271 МГц и 3032 МГц соответственно.

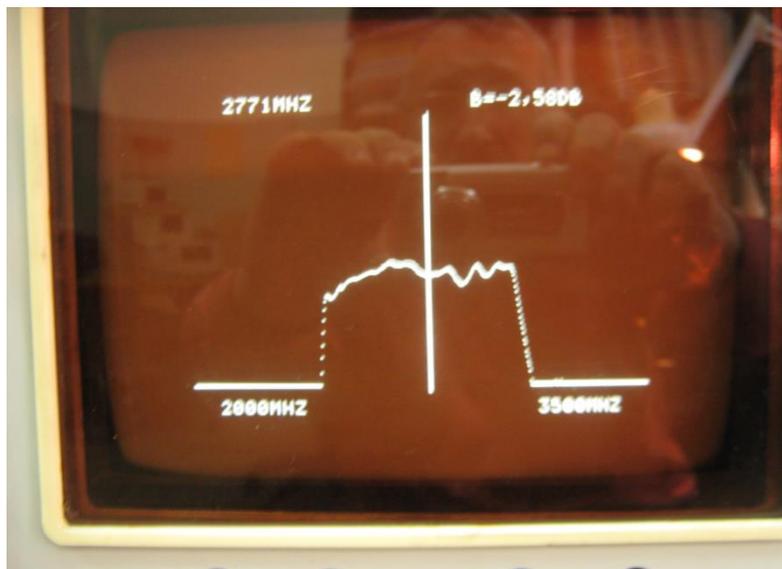


Рисунок 8. АЧХ фильтра с курсором на частоте 2271 МГц (середина полосы пропускания)

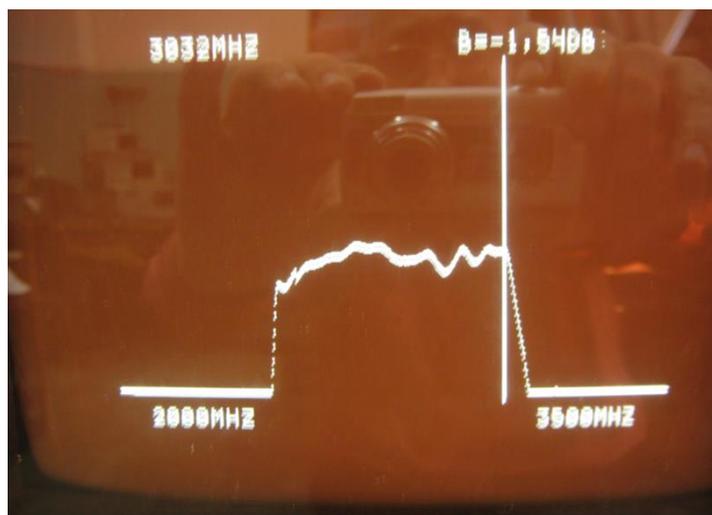


Рисунок 9. АЧХ фильтра с курсором на частоте 3032 МГц

Выводы

Ниже в таблице 4 приводится сравнение заданных и полученных результатов измерения АЧХ фильтра.

Таблица 4

Основные параметры фильтра

Наименование параметра, размерность	Задано	Модель	Эксперимент
Нижняя граничная частота, ГГц	2,5	2,505	2,5
Верхняя граничная частота, ГГц	3,0	3,001	3,05
Ширина полосы пропускания по уровню минус 3 дБ от максимума, МГц	500	496	550



Потери в полосе пропускания не более, дБ	5	3	5
Потери на частоте 2273 МГц, дБ	40	≥ 35	40
Потери на частоте 3261 МГц, дБ	40	40	40
Волновое сопротивление, Ом	50	50	50

Из этой таблицы видно, что все требования к фильтру выполняются.

Список литературы:

1. Леонченко В.П., Фельдштейн А.Л., Шепелянский Л.А. Расчёт полосковых фильтров на встречных стержнях. Справочник. –М: Связь, 1989;
2. Маттей Д.Л., Янг Л., Джонс Е.М.Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. Том 1 –М: Связь, 1971;
3. 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 г.;
4. Литвинов М.С., Зикий А.Н., Дёмочкин А.И. Коммутируемый преселектор многоканального приёмника. Радиотехника, 2024, т. 88, № 11, с. 49-54;
5. Андрианов А.В., Зикий А.Н. Моделирование и экспериментальное исследование узкополосного фильтра на встречных стержнях. Инженерный вестник Дона, 2018, № 3;
6. Андрианов А.В., Быков С.А., Зикий А.Н., Пустовалов А.И. Моделирование и экспериментальное исследование трактового фильтра сантиметрового диапазона. Инженерный вестник Дона, 2017, № 1 (44);
7. Зикий А.Н., Лебедев В.К., Зламан П.Н., Матвиенко Р.Н. Экспериментальное исследование двух фильтров дециметрового диапазона. Известия ЮФУ, сер. Технические науки, 2014, № 8, с. 178-185;
8. Бахвалова С.А., Романюк В.А. Основы моделирования и проектирования радиотехнических устройств в Microwave Office. Учебное пособие. – М.: Солон-Пресс, 2016. – 152 с.;
9. Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Курушин А.А. Проектирование СВЧ-устройств с помощью Microwave Office. – М.: Солон-Пресс, 2003. – 496 с.

