
Моделирование и экспериментальное исследование трактового фильтра на встречных стержнях

А.В. Андрианов¹, А.Н. Зикий², А.И. Пустовалов¹

¹Таганрогский научно-исследовательский институт связи, Таганрог

²Южный Федеральный Университет, Таганрог

Аннотация: в статье проведен расчет, моделирование и экспериментальное исследование фильтра на встречных стержнях диапазона 2 – 4 ГГц. Получены потери в полосе пропускания около 1 дБ и заграждение на второй гармонике 50 дБ. Показано хорошее совпадение результатов моделирования и эксперимента.

Ключевые слова: фильтр на встречных стержнях, расчет, моделирование, эксперимент.

При проектировании приемника 10-сантиметрового диапазона длин волн понадобился трактовый фильтр для входной цепи, имеющий следующие характеристики:

- диапазон рабочих частот: 2–4 ГГц;
- потери в полосе пропускания, не более: 3 дБ;
- входное/выходное сопротивление: 50 Ом;
- потери при отстройке вверх от верхней граничной частоты и вниз от нижней граничной частоты на 500 МГц должны быть не менее 50 дБ;
- заграждение на второй гармонике не менее 50 дБ.

Для реализации указанных требований был выбран полосковый фильтр на встречных стержнях. Достоинством такого фильтра является высокая добротность резонаторов, заграждение второй гармонике, доступная методика расчета [1]. К недостаткам такого фильтра следует отнести повышенные массогабаритные параметры по сравнению с фильтром, выполненным по микрополосковой технологии. Расчет геометрических размеров фильтра проводился по методике, приведенной в [1]. Результаты расчета сведены в таблицу 1.

Моделирование фильтра проводилось в пакете прикладных программ AWR DesignEnvironment [2]. Исходные данные для моделирования приведены в таблице 1. При моделировании было использовано допущение, что резонаторы прямоугольные, в то время как в реальной конструкции использовались круглые резонаторы.

Таблица № 1

Геометрические размеры фильтра

Параметр фильтра	Расчет, □мм	Моделирование, □ мм	Макет, ∅ мм	Примечание
W1 – W11	1,65	1,65	1,65	Сечение резонатора
S1	1,35	1,35	1,35	Зазор между соседними резонаторами
S2 – S9	2,35	2,35	2,35	
S10	1,35	1,35	1,35	
L1 – L11	25	25	23,5	Длина резонатора
B	9,6	9,6	9,6	Расстояние между экранами
L	–	–	25	Расстояние между стенками
Er	1	1	1	Диэлектрическая проницаемость среды

Схемотехническая модель фильтра приведена на рисунке 1.

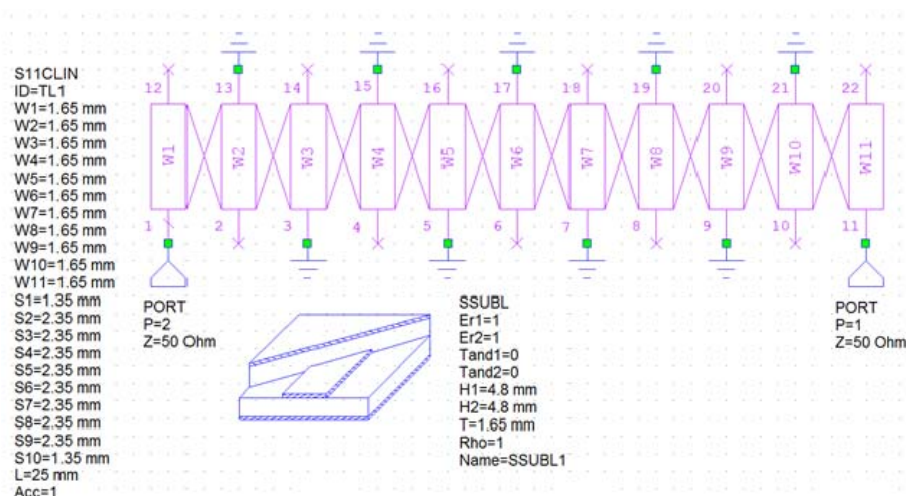


Рис. 1. – Схемотехническая модель фильтра в AWRDE

Результаты моделирования показаны на рисунках 2 и 3.

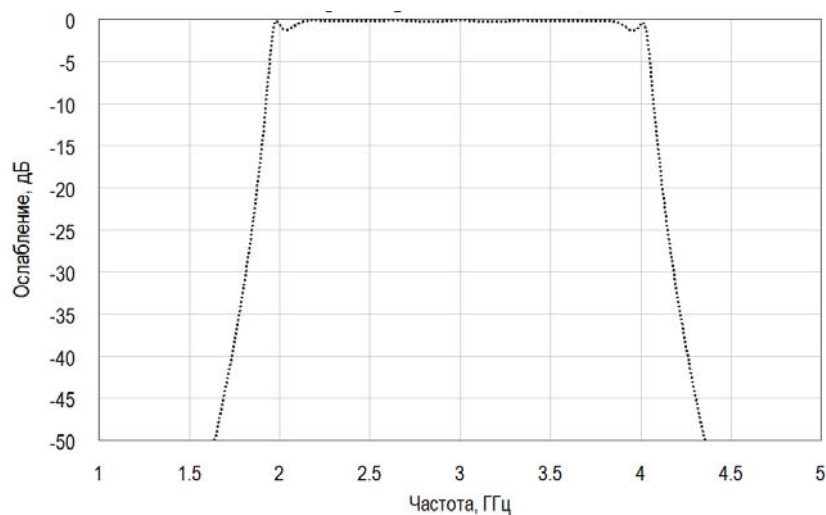


Рис. 2. – Расчетная амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)

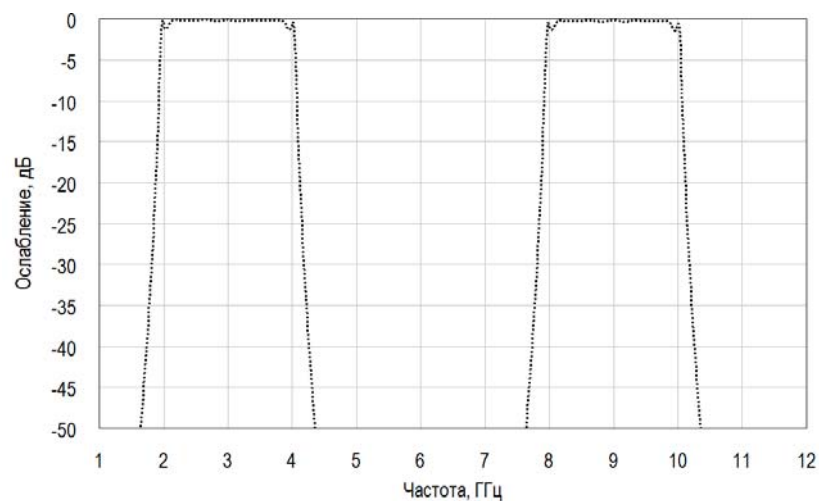


Рис. 3. – Расчетная АЧХ фильтра в дальней зоне

Из рисунков 2 и 3 видно, что фильтр удовлетворяет заданным требованиям, ложная полоса пропускания находится в диапазоне от 8 до 10 ГГц.

Геометрические размеры фильтра использованы для изготовления макета. Корпус фильтра имеет П-образную форму и выполнен методом фрезерования из латунной плиты. Резонаторы, в количестве 11 штук, представляют собой цилиндры диаметром 1,65 мм и длиной 23,5 мм.

Крепление 9 из 11 резонаторов производится с помощью стопорных винтов М2 в отверстиях корпуса. Крайние резонаторы впаяны в СВЧ-соединители. Один из соединителей имеет тип N (гнездо) с диаметром резьбы 16 мм. Другой соединитель – типа SMA(вилка) имеет диаметр резьбы 6 мм [3]. Все детали фильтра имеют серебряное антикоррозийное покрытие. Соединители покрыты никелем.

Корпус фильтра закрыт П-образной крышкой, согнутой из 3-мм листовой латуни. Крышка привинчивается к корпусу семью винтами М3.

Конструктивной особенностью данного фильтра является наличие подстройки зазора между парами резонаторов 1-2 и 10-11. Эта подстройка осуществляется перемещением двух узлов, содержащих соединитель, часть стенки, крайний резонатор. При этом подвижная часть корпуса имеет овальное крепежное отверстие с размерами 3x5,5мм. Окончательная фиксация положения крайних резонаторов осуществляется после настройки с помощью штифтов. Для плотного прилегания крышки к корпусу в стенке корпуса фрезеруется канавка глубиной 1 мм.

Экспериментальное исследование фильтра проводилось на установке, содержащей анализатор цепей типа N5234 [4], комплект кабелей и переходов.

На рисунке 4 можно видеть АЧХ фильтра в диапазоне частот от 1 до 5 ГГц.

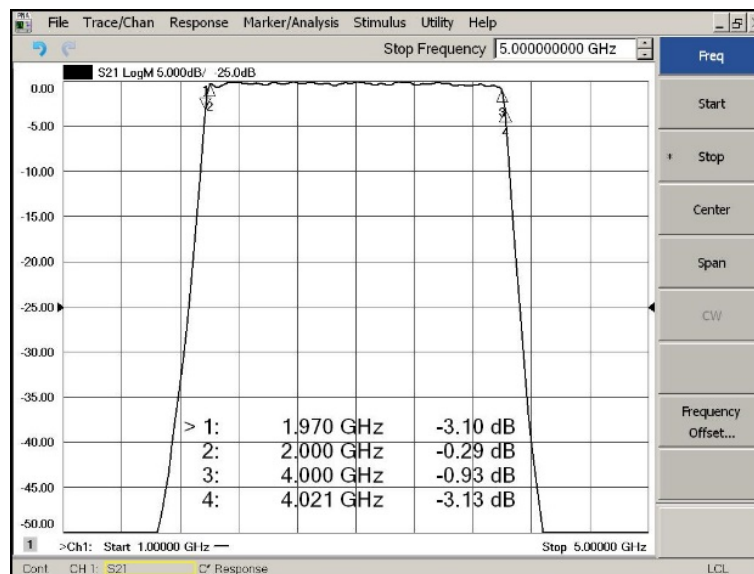


Рис. 4. – Экспериментальная амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) фильтра в ближней зоне

На рисунке 5 изображена АЧХ фильтра в диапазоне частот от 1 до 12 ГГц, откуда видно, что режекция на второй гармонике составляет не менее 50 дБ, а на третьей гармонике имеется ложная полоса пропускания.

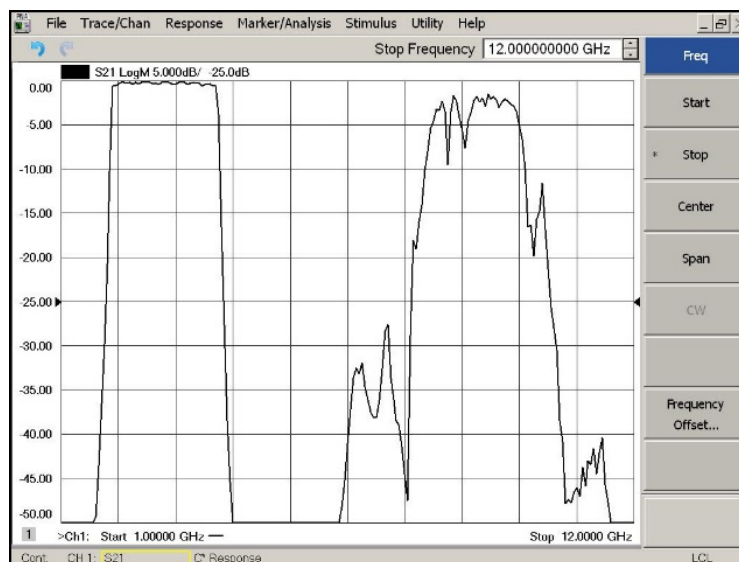


Рис. 5. – Экспериментальная амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) фильтра в дальней зоне

Для сопоставления расчетных и экспериментальных данных приведем на рисунках 6 и 7 две АЧХ: расчетную и полученную с помощью векторного анализатора цепей N5234 (данные в формате Touchstone экспортируются в среду разработки NI AWR DesignEnvironment).

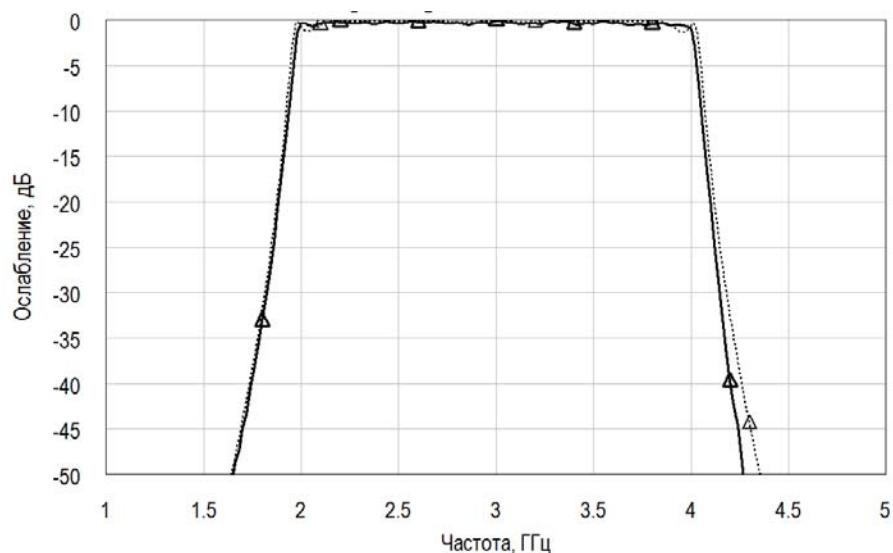


Рис. 6. – Сравнение АЧХ фильтра в ближней зоне, полученных разными способами

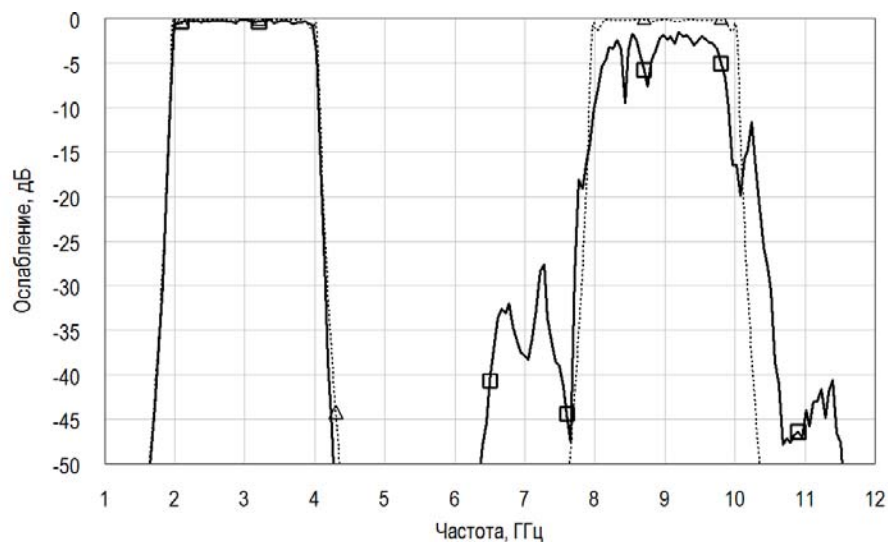


Рис. 7. – Сравнение АЧХ фильтра в дальней зоне, полученных разными способами

На рисунках 6 и 7 сплошной линией изображены экспериментальные кривые, а пунктирной – результаты моделирования. Рисунок 8 показывает некоторое расхождение результатов моделирования и эксперимента для ложной полосы пропускания фильтра.

Таблица № 2

Параметры фильтра

Наименование параметра, размерность	Задано	Получено в модели	Получено в эксперименте
F_H , ГГц	2	2	2
F_B , ГГц	4	4	4
Потери в полосе пропускания, не более, дБ	3	1,3	1,0
Потери при отстройке F_H-500 МГц, дБ	50	>>50	>>50
Потери при отстройке F_B+500 МГц, дБ	50	>>50	>>50
Потери на второй гармонике, дБ	50	>>50	>>50
Волновое сопротивление входа и выхода, Ом	50/50	50/50	50/50
Граничные частоты ложной полосы пропускания, ГГц	–	8-10 на уровне минус 3 дБ	8-9,9 на уровне минус 10 дБ

Выводы:

1. Проведено моделирование и экспериментальное исследование трактового фильтра на встречных стержнях. Достигнуты параметры, приведенные в таблице 2.
2. Исследованный фильтр рекомендуется использовать во входной цепи широкополосного приемника [5],[6],[7].



Литература

1. Леонченко В.П., Фельдштейн А.Л., Шепелянский Л.А. Расчет полосковых фильтров на встречных стержнях. Справочник. –М.: Связь, 1975. – 312 с.
 2. Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Курушин А.А. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office. – М.: Солон-Пресс, 2003. – 496 с.
 3. Джуринский К.Б. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. – М.: Техносфера, 2006. – 216 с.
 4. Руководство по эксплуатации анализатора цепей серии PNA, PNA-L, PNA-X компании Agilent Technologies, 2008 г.– 120 с.
 5. TSUI J.B.Y. Microwave Receivers with Electronic Warfare Applications. Wiley-Interscience Publication, 1986. – 460 p.
 6. Пустовалов А.И. Двухканальное приемное устройство СВЧ диапазона // Инженерный вестник Дона, 2010, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2010/195.
 7. Шурховецкий А.Н. Многоканальная частотно-избирательная система СВЧ диапазона на основе направленных фильтров бегущей волны //Инженерный вестник Дона, 2010, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2010/292.
 8. Skolnik M. Radar Handbook. N. Y. McGraw-Hill Companies. 2008 г. – 1352 с.
 9. Контрольно-измерительная аппаратура и элементы СВЧ тракта. Томск, ЗАО НПФ «Микран». – 131 с.
 10. Коаксиальные, волноводные и оптические устройства. Каталог НИИПИ «Кварц». Нижний Новгород, «Кварц», 2002. – 81 с.
-



References

1. Leonchenko V.P., Feldshtein A.L., Shepelyansky L.A. Raschet poloskovih filtrov na vstrechnih sterzhnyah. Spravochnik. [Calculation of the strip-line filters on quarter-wave resonators. Handbook].M.: Svyaz, 1975. 312 p.
2. Razevig V.D., Potapov Y.V., Kurushin A.A. Proektirovanie SVCH ustrojstv s pomoschyu Microwave Office [Designing of microwave devices using Microwave Office]. M.: Solon-Press, 2003. 496 p.
3. Dzhurinskiy K.B. Miniatyurnie coaxialniye radiokomponenty dlya microelektroniki SVCH. [Miniature coaxial microwave radio components for microelectronics]. M.: Technosfera, 2006. 216 p.
4. Rukovodstvo po expluatacii analizatora tcepey serii PNA, PNA-L, PNA-X company Agilent Technologies [Operating manual of circuit analyzer of PNA, PNA-L, PNA-X series of Agilent Technologies company], 2008. 120 p.
5. TSUI J.B.Y. Microwave Receivers with Electronic Warfare Applications. Wiley-Interscience Publication, 1986.460 p.
6. Pustovalov A.I. Inzhenernyj vestnik Dona, 2010, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2010/195.
7. Shurkhovetskiy A.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2010, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2010/292.
8. Skolnik M. Radar Handbook. N. Y. McGraw-Hill Companies. 2008. 1352 p.
9. Kontrolno – izmeritelnaya apparatura i element SVCH trakta [Instrumentation equipment and components of microwave transmission line]. Tomsk, ZAO NPF «Micran». 131 p.



10. Coaxialniye, volnovodniye i opticheskiye ustroistva. Catalog NSRII «Kvarc» [Coaxial, waveguide and optical devices. Catalog of NSRII «Kvarts»], 2002.81 p.