

## Моделирование и экспериментальное исследование узкополосного фильтра на встречных стержнях

А.В. Андрианов<sup>1</sup>, А.Н. Зикий<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Таганрогский научно-исследовательский институт связи, Таганрог

<sup>2</sup> Южный Федеральный Университет, Таганрог

**Аннотация:** Проведено моделирование и экспериментальное исследование узкополосного фильтра на встречных стержнях. Центральная частота 1010 МГц. Фильтр в дальней зоне имеет загораживание более 100 дБ. Ширина полосы пропускания на уровне минус 3 дБ от максимума составляет 13 МГц, а потери в полосе пропускания составляют 8 дБ.

**Ключевые слова:** Фильтр на встречных стержнях, моделирование, эксперимент, амплитудно-частотная характеристика, полоса пропускания.

При создании приёмника дециметрового диапазона понадобился узкополосный фильтр с большим затуханием в полосе заграждения. Среди серийных фильтров на поверхностных акустических волнах такой найти не удалось, поэтому было принято решение о самостоятельной разработке.

К фильтру предъявляются следующие требования:

- волновое сопротивление входа и выхода 50 Ом;
- центральная частота 1010 МГц;
- ширина полосы пропускания 10 МГц;
- потери в полосе пропускания не более 5 дБ;
- потери в полосе заграждения при отстройке  $\pm 100$  МГц не менее 75 дБ;
- заграждение на второй гармонике не менее 60 дБ.

Такие требования можно реализовать в фильтре на встречных стержнях [1]. Фильтр на полуволновых резонаторах [2] не обеспечивает подавление второй гармоники и не может быть применён.

Выбираем фильтр на встречных стержнях с четырьмя резонаторами и расстоянием между крышками  $b=10$  мм. Расчёт проведён по методике,

изложенной в [1]. Результат расчёта приведён в таблице 1. Эти результаты были использованы при моделировании как первое приближение. Моделирование фильтра проводилось в пакете прикладных программ AWR Design Environment [3].

Модель фильтра показана на рисунке 1. Амплитудно-частотная характеристика фильтра (АЧХ) приведена на рисунке 2.

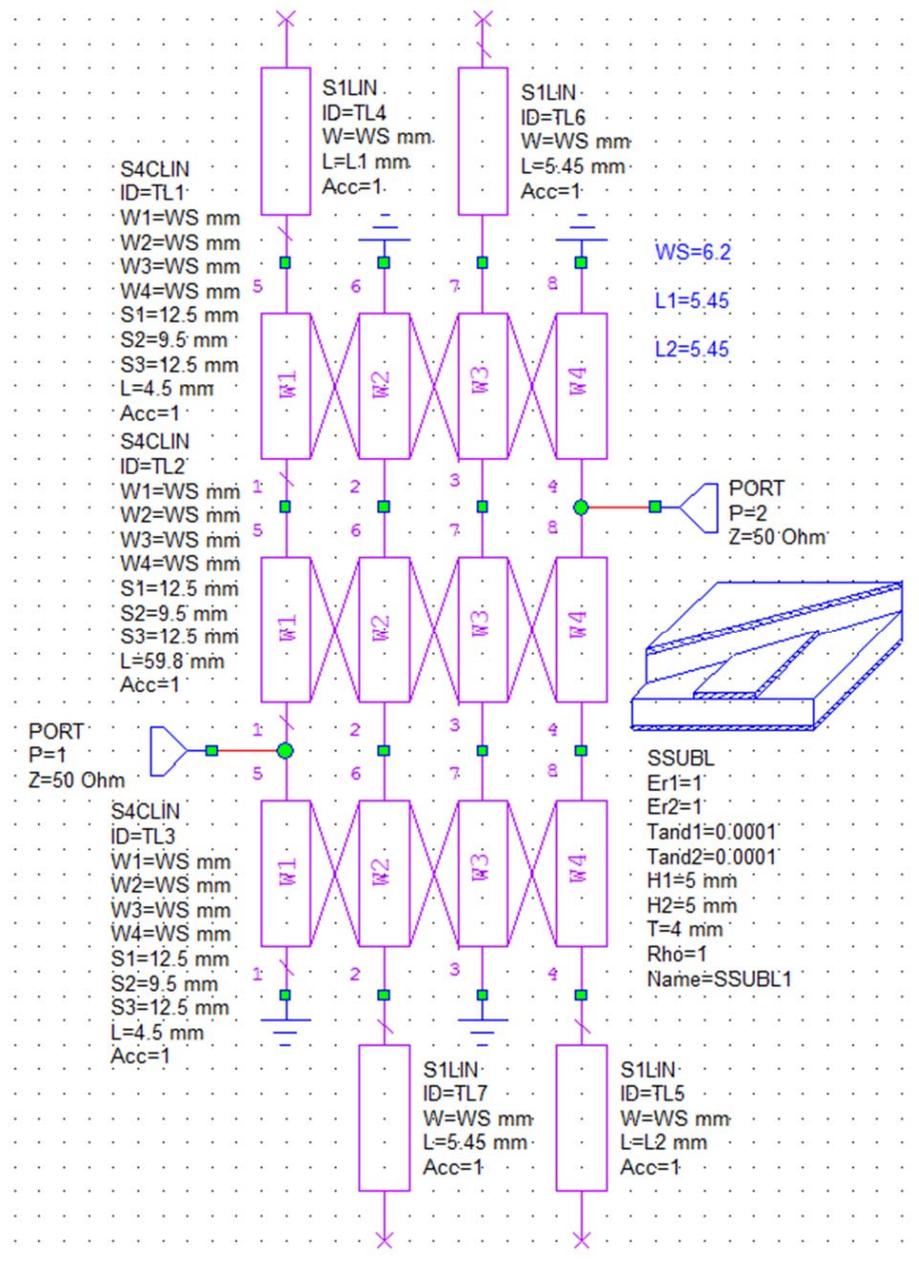


Рис. 1. – Модель узкополосного фильтра 1010 МГц в AWR Design Environment

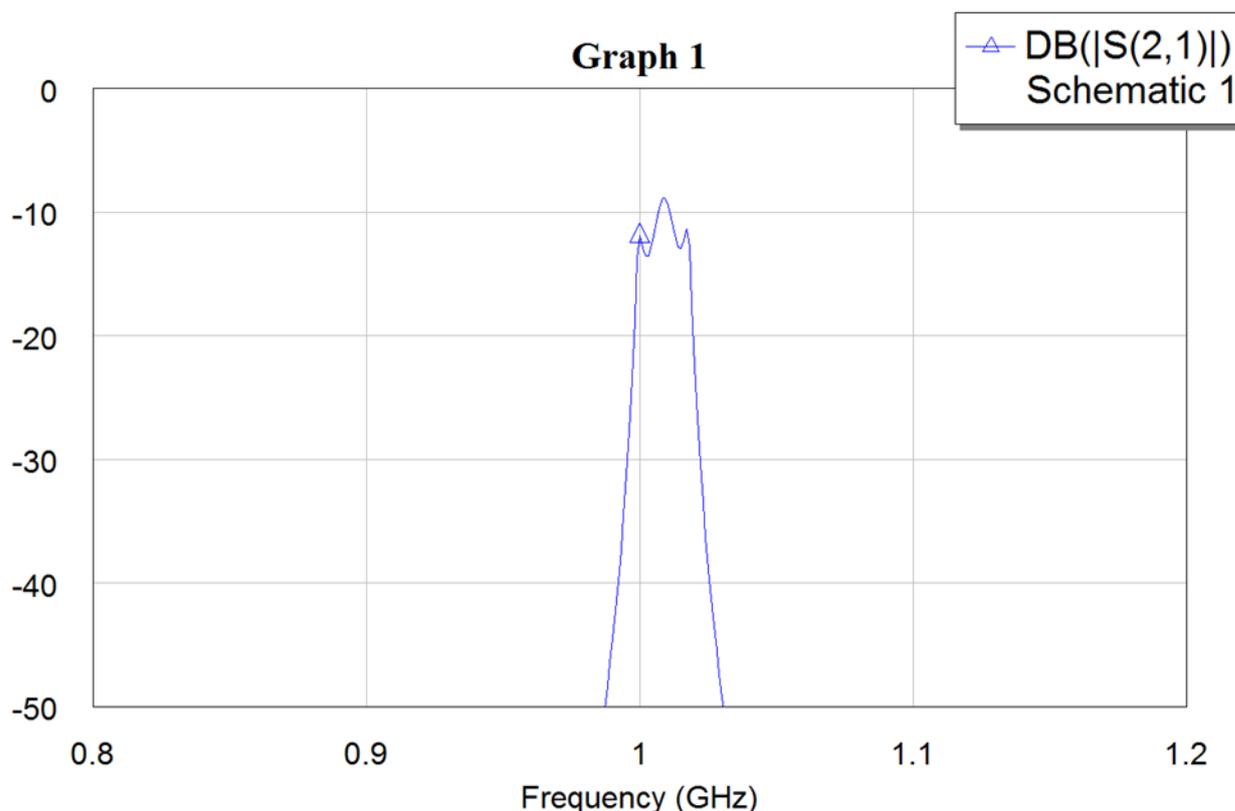


Рис. 2. – АЧХ узкополосного фильтра 1010 МГц в AWR DE

Модель узкополосного фильтра 1010 МГц в AWR Design Environment имеет следующие особенности:

- в модели применены прямоугольные резонаторы, а в расчёте и эксперименте-круглые;
- длину связанных 4-х полосковых линий возможно изменять только синхронно, поэтому введены 4 отрезка не связанных полосковых линий, длину которых возможно менять асинхронно.

По результатам моделирования и расчёта был изготовлен макет фильтра, представленный на рисунке 3. Фильтр изготовлен из латуни, корпус выполнен методом фрезерования. Цилиндрические стержни выточены на токарном станке и запаяны в корпус. Корпус, резонаторы и крышки покрыты сплавом олово-висмут. Настройка фильтра проводится с помощью четырех винтов М4 длиной 20мм. После настройки винты фиксируются

контргайками. В качестве соединителей использованы вилка и розетка тип III по ГОСТ 13317-89 [4].

Эксперимент проводился на установке, содержащей анализатор цепей «Обзор-103» [5], персональный компьютер, комплект кабелей и переходов. Результаты эксперимента представлены на рисунках 4-6. Из рисунка 4 следует, что фильтр в дальней зоне имеет загораживание более 100 дБ. Узкая полоса достигнута благодаря высокой добротности резонаторов и слабой связи между ними. На рисунке 5 видно, что требование загораживания при отстройке на 100 МГц выполняется. Из рисунка 6 следует, что ширина полосы пропускания на уровне минус 3 дБ от максимума составляет 13 МГц, а потери в полосе пропускания составляют 8 дБ.

Т а б л и ц а 1. Геометрические размеры фильтра

Параметр фильтра	Расчёт	Моделирование	Эксперимент	Наименование параметра
$W1 = W2 = W3 = W4$	$\varnothing 5,7$	$T=4$ , ширина 6,2	$\varnothing 5,7$	Сечение резонаторов
$S1=S3$	12,5	12,5	12,5	Размер зазоров между резонаторами
$S2$	9,5	9,5	9,5	Размер зазора между двумя центральными резонаторами
$d$	10	10	10	Расстояние между крышками
$L1 = L2 = L3 = L4$	74,25	74,25	68,8 + винт + зазор	Длина резонаторов
	—	—	74	Расстояние между стенками
	4,5	4,5	4,5	Место подключения входа и выхода от заземлённого конца резонатора.



Рис. 3. – Макет фильтра на четырёх встречных стержнях круглого сечения ( $f_0=1010$  МГц), верхняя крышка снята

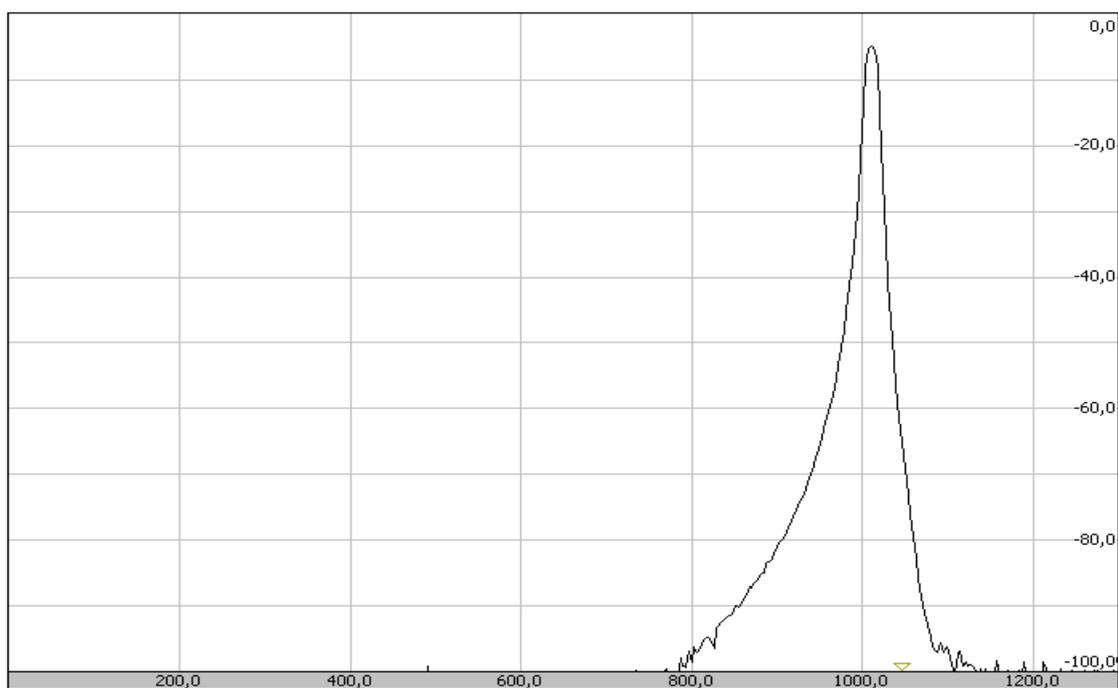


Рис. 4. – АЧХ фильтра в полосе от 0,3 до 1300 МГц (дальняя зона)

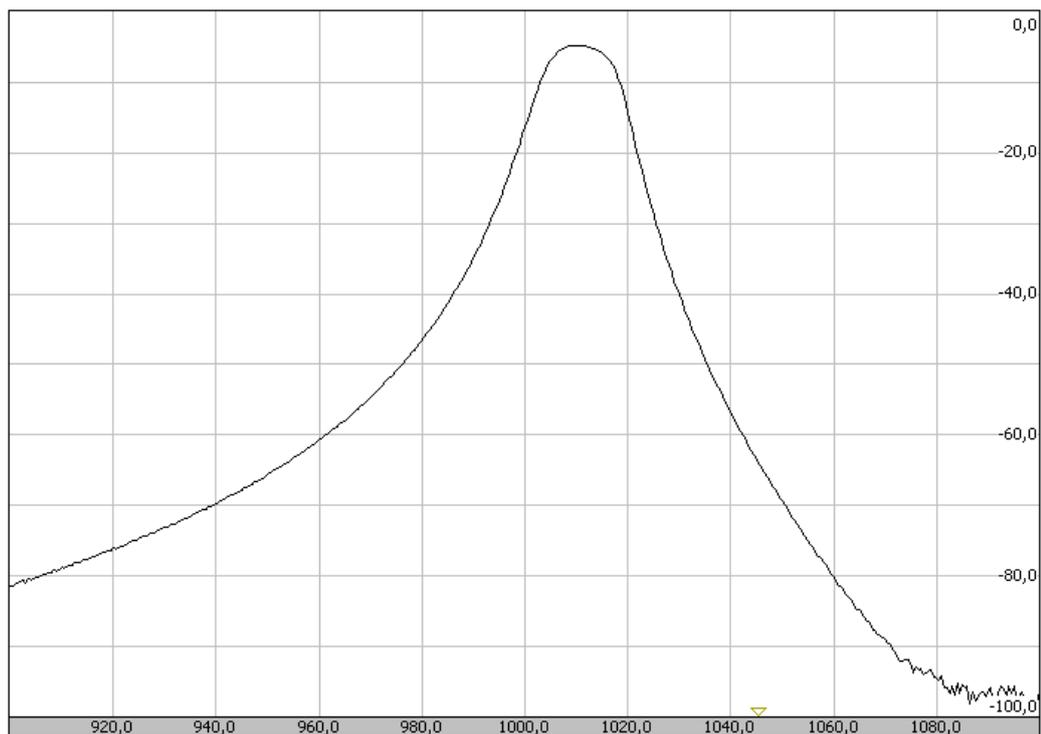


Рис. 5. – АЧХ фильтра в полосе от 900 до 1100 МГц

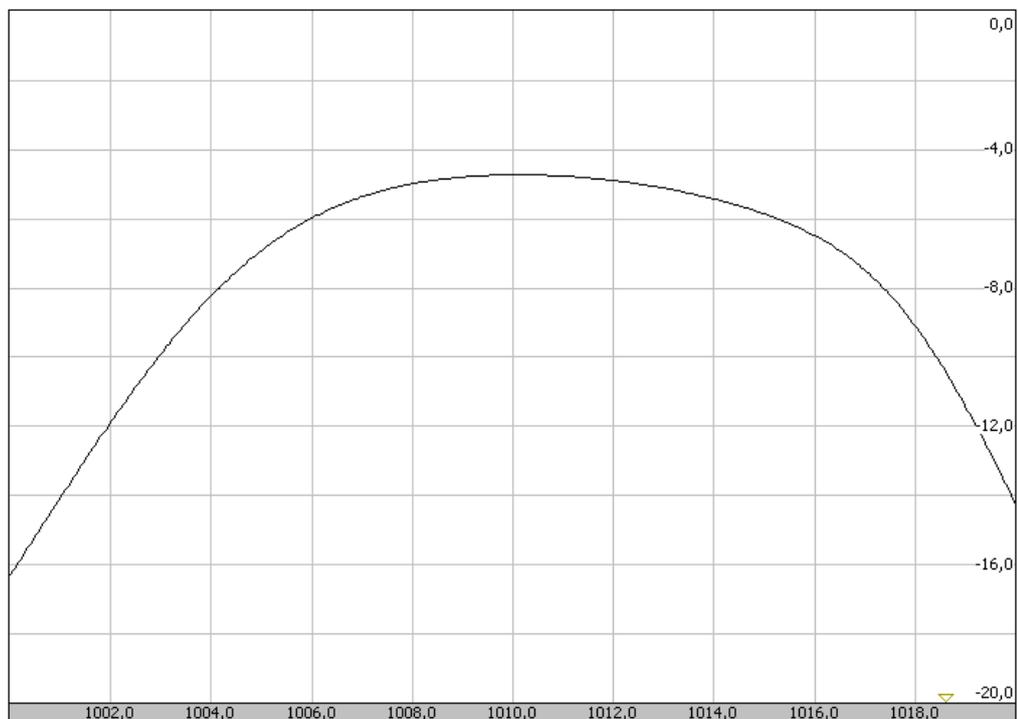


Рис. 6. – АЧХ фильтра в полосе от 1000 до 1020 МГц (ближняя зона)

Основные электрические параметры фильтра на встречных стержнях дециметрового диапазона приведены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2. Результаты моделирования и эксперимента.

Наименование параметра, размерность	Задано	Моделирование	Эксперимент
Центральная частота, МГц	1010	1010	1010
Ширина полосы пропускания по уровню минус 3 дБ от max, МГц	10	18	13
Потери в полосе пропускания, дБ	5	13	8
Потери при отстройке $\pm 100$ МГц от центральной частоты, дБ	$\geq 75$	$>75$	$\geq 75$
Волновое сопротивление входа и выхода, Ом	50	50	50

Из этой таблицы 2 видно, что потери в полосе пропускания превышают заданные.

При выполнении данной работы был полезен предыдущий опыт авторов [6-8], а также опыт других исследователей [9,10].

### Литература

1. Леонченко В.П., Фельдштейн А.Л., Шепелянский Л.А. Расчёт полосковых фильтров на встречных стержнях. Справочник. -М.; Связь,1975-312с.

2. Андрианов А.В., Зикий А.Н., Зламан П.Н. Моделирование и экспериментальное исследование микрополоскового фильтра на полуволновых резонаторах. ЭТИКС, 2016, №3, с.32-35

3. Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Курушин А.А. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office-M.: Солон-Пресс, 2003-496 с.

4. Джурицкий К.Б. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ-M.: Техносфера, 2006-216 с.

5. «Обзор-103», Измеритель комплексных коэффициентов передачи, Руководство по эксплуатации Р7 6687-028-21477812-2004-95с.

6. Андрианов А.В., Зикий А.Н., Быков С.А., Пустовалов А.И. Моделирование и экспериментальное исследование трактового фильтра сантиметрового диапазона. Инженерный вестник Дона, 2017, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y17/4042](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y17/4042)

7. Андрианов А.В., Зикий А.Н., Пустовалов А.И. Моделирование и экспериментальное исследование трактового фильтра на встречных стержнях. Инженерный вестник Дона, 2016, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/№4y2016/3778](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/№4y2016/3778)

8. Зикий А.Н., Сивокоз Е.В., Хлебников А.С. Экспериментальное исследование фильтра дециметрового диапазона. Международная научно-практическая конференция «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия». Новосибирск, 10-11.07.2015, с.146-148.

9. Robert Dixon. Radio Receiver Design. CRC Press, 1998. - 488p.

10. Cornell Drentea. Modern Communications Receivers Design and Technology. Artech House, 2010 -484 p.

### 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. Andrianov A.V., Zikiy A.N. ETIKS, 2016, №3.
3. 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.
4. Dzhurinskiy K.B. Miniatyurnye koaksialnye radiokomponenty dlya mikroelektroniki SVC [Miniature coaxial microwave radio components for microelectronics]. M.: Tekhnosfera, 2006. 216p.
5. «Obzor-103» Izmeritel kompleksnyh koefficientov peredaci, Rukovodstvo po ekspluatatsii [Measuring complex transmission coefficients, operation Manual].
6. Andrianov A.V., Zikiy A.N., Bykov S.A., Pustovalov A.I. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №1. URL:[ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y17/4042](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y17/4042)
7. Andrianov A.V., Zikiy A.N., Pustovalov A.I. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №4. URL:[ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2016/3778](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2016/3778)
8. Zikiy A.N., Sivokoz E.V., Hlebnikov A.S. Nauchnye perspektivy XXI veka. Dostigeniya I perspektivy novogo stoletiya, 2015.
9. Robert Dixon. Radio Receiver Design. CRC Press, 1998. 488p.
10. Cornell Drentea. Modern Communications Receivers Design and Technology. Artech House, 2010 -484 p.