



Микрополосковый фильтр на полуволновых резонаторах

А.В. Андрианов¹, С.А. Быков¹, А.Н. Зикий², А.И. Пустовалов¹

¹Таганрогский научно-исследовательский институт связи, Таганрог

²Южный Федеральный Университет, Таганрог

Аннотация: в статье проведено моделирование и экспериментальное исследование микрополоскового фильтра на полуволновых резонаторах с четвертьволновыми связями. Получены следующие экспериментальные результаты:

- центральная частота 3,7 ГГц;
- ширина полосы пропускания 230 МГц;
- потери в полосе пропускания не более 4 дБ;
- заграждение при отстройке ± 200 МГц не менее 40 дБ.

Фильтр рекомендуется использовать во входной цепи приемника СВЧ.

Ключевые слова: микрополосковый фильтр, моделирование, эксперимент, сантиметровые волны.

При проектировании приемника СВЧ сигналов понадобился фильтр со следующими параметрами:

- центральная частота полосы пропускания 3,7 ГГц;
- ширина полосы пропускания не менее 130 МГц;
- потери в полосе пропускания не более 4 дБ;
- заграждение при отстройке на ± 200 МГц не менее 40 дБ;
- допускается ложная полоса пропускания на удвоенной центральной частоте (7,4 ГГц);
- волновое сопротивление входа и выхода 50 Ом.

Перечисленные выше требования возможно реализовать в микрополосковом полосовом фильтре с полуволновыми резонаторами и четвертьволновыми связями [1]. Для получения первого приближения геометрических размеров был проведен расчет, методика которого изложена в книге [1]. При этом были приняты следующие исходные данные:

- относительная диэлектрическая проницаемость подложки $\epsilon_r = 9,6$;
- толщина подложки 1 мм (поликор);



- число резонаторов $n = 6$;
- неравномерность потерь в полосе пропускания 1 дБ;
- относительная ширина полосы пропускания $\Delta f/f_0 = 3,5\%$.

Для этого случая получаем нормированные параметры полосковых линий:

$$\begin{aligned} W_1/h = W_7/h = 0,956; & & S_1/h = S_7/h = 0,282; \\ W_2/h = W_6/h = 1,206; & & S_2/h = S_6/h = 1,44; \\ W_3/h = W_5/h = 1,22; & & S_3/h = S_5/h = 1,91; \\ W_4/h = 1,222; S_4/h = 1,995; & & \end{aligned}$$

Учитывая, что толщина подложки $h = 1$ мм, получаем денормированные параметры топологии, приведенные в таблице 1, второй столбец.

Таблица № 1

Геометрические размеры полосковых линий

Параметр	Размер в мм по расчету	Размер в мм в модели	Размер в мм в эксперименте	Наименование параметра
W_1, W_7	0,956	0,956	$0,956 \pm 0,02$	Ширина резонатора
W_2, W_6	1,206	1,206	$1,206 \pm 0,02$	
W_3, W_5	1,22	1,22	$1,22 \pm 0,02$	
W_4	1,222	1,222	$1,222 \pm 0,02$	
S_1, S_7	0,282	0,282	$0,282 \pm 0,02$	Зазор между резонаторами
S_2, S_6	1,44	1,44	$1,44 \pm 0,02$	
S_3, S_5	1,91	1,91	$1,91 \pm 0,02$	
S_4	1,995	1,995	$1,995 \pm 0,02$	
l	13	15,6	$15,6 \pm 0,02$	Длина резонатора

Эти данные были использованы как первое приближение при моделировании фильтра в MWO [2, 3]. Окончательный вариант размеров резонаторов помещен в третий столбец таблицы 1. Модель фильтра в MWO приведена на рисунке 1.

Амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) фильтра, полученные в MWO, показаны на рисунках 2 и 3.

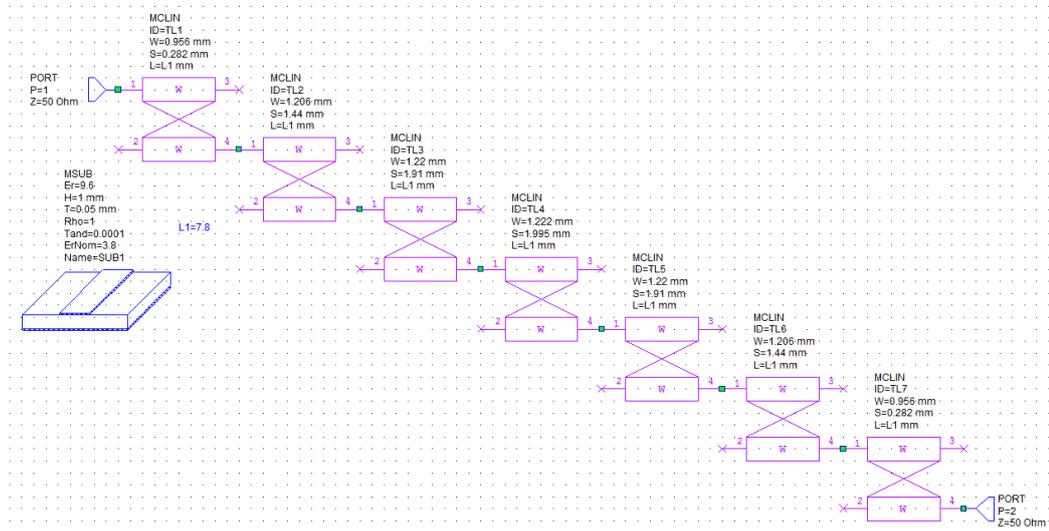


Рис. 1. – Модель фильтра на полуволновых резонаторах с четвертьволновыми связями

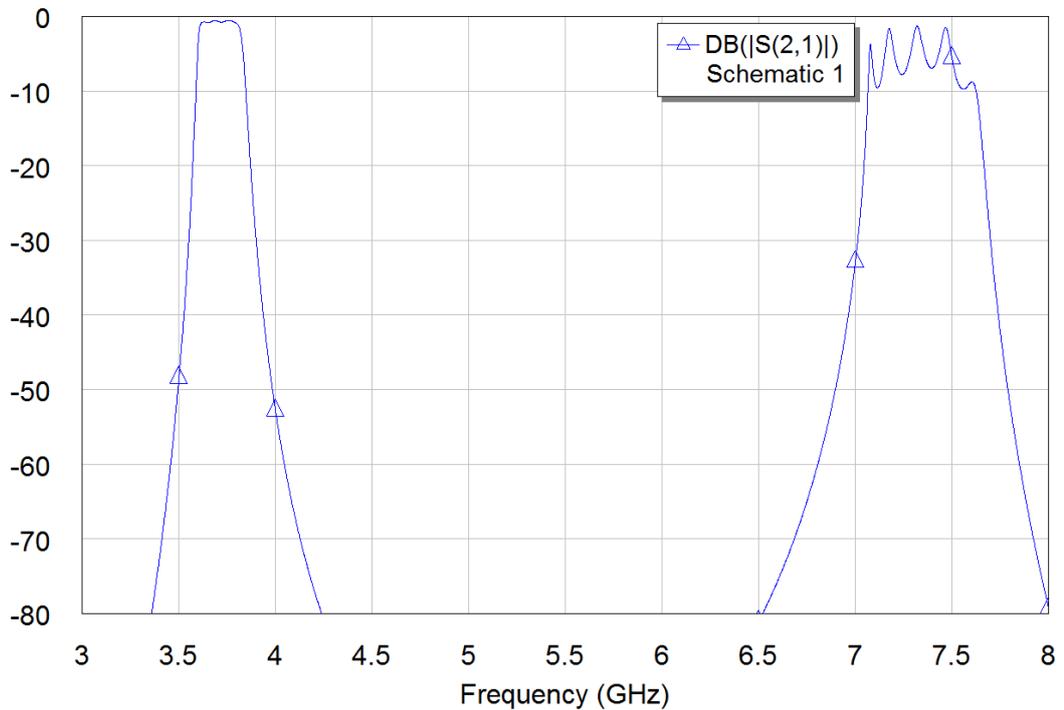


Рис. 2. – АЧХ фильтра в MWO

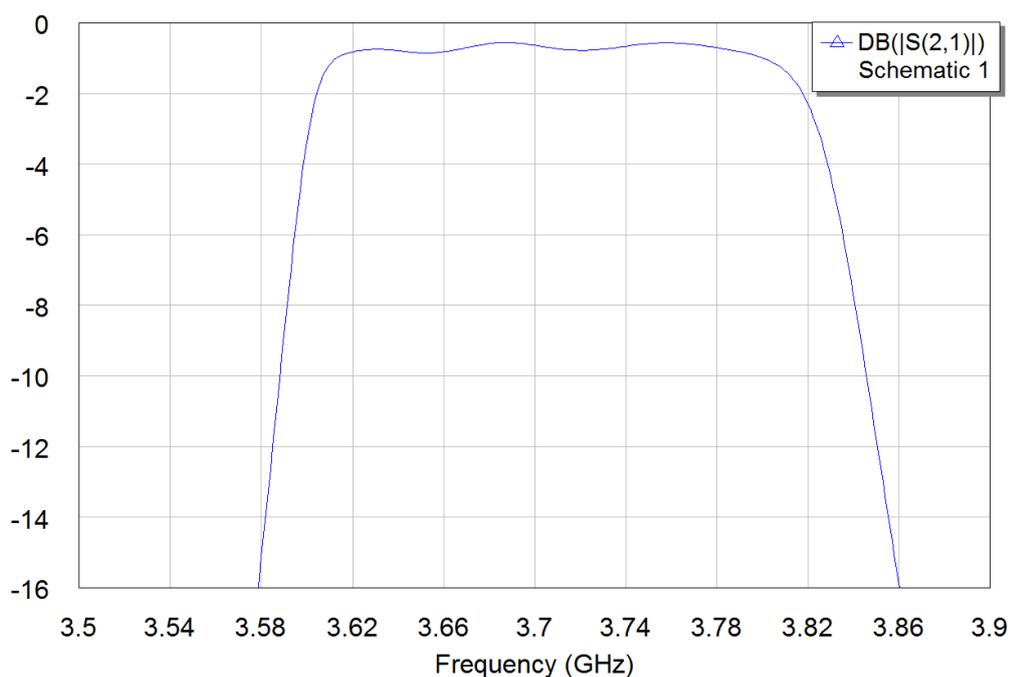


Рис. 3. – АЧХ фильтра в МВО в ближней зоне

Для оценки точности методики расчета был изготовлен макет фильтра и проведено его экспериментальное исследование. Макет состоит из корпуса рамочного типа, в который помещена плата из поликора размером 24x60x1 мм. Для подключения к измерительной установке фильтр имеет два соединителя типа СРГ50-751ФВ [4].

Эксперимент проводился на установке, содержащей векторный анализатор цепей типа PNA-LN5234A [10], набор кабелей и переходов. АЧХ фильтра в дальней зоне приведена на рисунке 4. АЧХ фильтра в ближней зоне показана на рисунке 5. Из этих рисунков можно сделать выводы, записанные в таблицу 2, четвертый столбец.

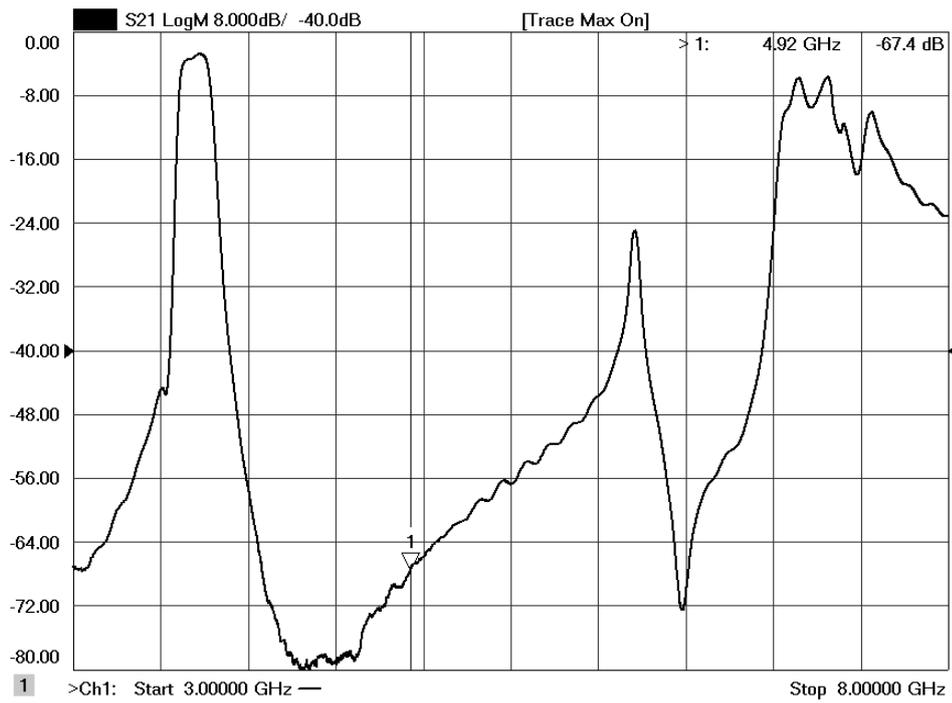


Рис. 4. – Экспериментальная АЧХ фильтра в дальней зоне

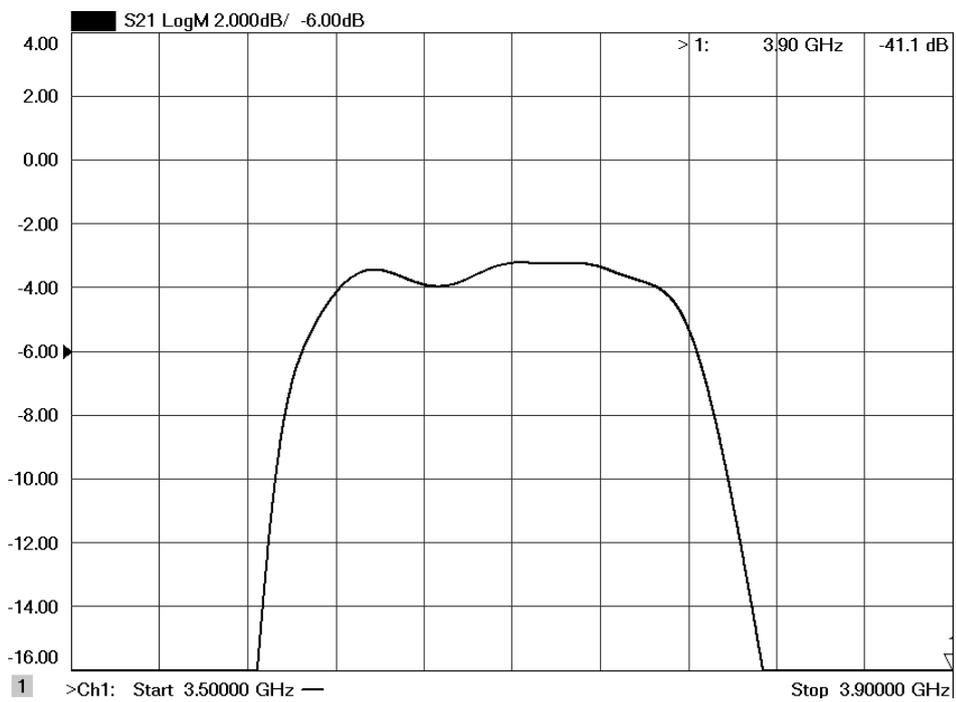


Рис. 5. – Экспериментальная АЧХ фильтра в ближней зоне



Таблица № 2

Основные параметры фильтра

	Задано	Получено при моделировании	Получено при эксперименте
Центральная частота, ГГц	3,7	3,7	3,7
Ширина полосы пропускания, МГц	≥ 130	230 МГц на уровне минус 3 дБ от max	>130
Потери в полосе пропускания, дБ, не более	4	4	4 в диапазоне частот от 3,635 до 3,765
Заграждение при отстройке ± 200 МГц, не менее, дБ	40	>40	45
Волновое сопротивление, Ом	50	50	50
Потери на удвоенной центральной частоте, дБ	>3	2...9	6...12

Из таблицы 2 видно, что все требования к фильтру выполняются. Фильтр рекомендуется использовать в приемниках СВЧ сигналов [6 – 10].

Литература

1. Миниатюрные устройства УВЧ и ОВЧ диапазонов на отрезках линий. // Зелях Э.В., Фельдштейн А.Л., Явич Л.Р., Брилон В.С. – М.: Радио и связь, 1989. 112 с.



2. Бахвалова С.А., Романюк В.А. Основы моделирования и проектирования радиотехнических устройств в MicrowaveOffice. Учебное пособие. – М.: Солон-Пресс, 2016. – 152 с.

3. Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Курушин А.А. Проектирование СВЧ устройств с помощью MicrowaveOffice. – М.: Солон-Пресс, 2003. – 496 с.

4. Джуринский К.Б. Миниатюрные коаксиальные радиокomпоненты для микроэлектроники СВЧ. – М.: Техносфера, 2006. – 216 с.

5. 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.

6. Пустовалов А.И. Двухканальное приемное устройство СВЧ диапазона. Инженерный вестник Дона, 2010, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2010/195.

7. TSUI J.B.Y. Microwave Receivers with Electronic Warfare Applications. Wiley-Interscience Publication, 1986. – 460 p.

8. Skolnik M.I. Radar Handbook. N.Y., McGraw-Hill Companies, 2008. – 1352 p.

9. Wiley R.G. Electronic Intelligence: The Interception of Radar Signals. 1985. – 451 p.

10. Руководство по эксплуатации анализатора цепей серии PNA, PNA-L, PNA-X компании Agilent Technologies, 2008. – 120 с.

References

1. Zeljah E.V., Feldshtejn A.L., Yavich L.R., Brilon V.S. Miniaturnye ustroystva UVCh i OVCh diapazonov na otrezkah linij [Miniature facilities of VHF and UHF ranges on Line segments]. M.: Radio isvjaz, 1988. 136 p.



2. Bahvalova S.A., Romanjuk V.A. Osnovy modelirovaniya i proektirovaniya radiotekhnicheskikh ustroystv v Microwave Office. Uchebnoe posobie [Basis of modelling and designing of radio technical facilities in Microwave Office. Teaching aid]. M.: Solon-Press, 2016. 152 p.
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. Shurkhovetskiy A.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2010, №4.
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2010/292.
6. Pustovalov A.I. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2010, №2.
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2010/195.
7. TSUI J.B.Y. Microwave Receivers with Electronic Warfare Applications. Wiley-Interscience Publication, 1986. 460 p.
8. Skolnik M.I. Radar Handbook. N.Y., McGraw-Hill Companies, 2008. 1352 p.
9. Wiley R.G. Electronic Intelligence: The Interception of Radar Signals. 1985. 451p.
10. 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. 120p.