

Моделирование фильтра нижних частот

А.В. Андрианов¹, Д.Е. Губарев¹, А.Н. Зикий², А.С. Кочубей¹

¹Таганрогский научно-исследовательский институт связи, Таганрог

²Южный Федеральный Университет, Таганрог

Аннотация: Приведены результаты моделирования и экспериментального исследования фильтра нижних частот с частотой среза 4 ГГц. Моделирование фильтра проводилось в пакете прикладных программ Microwave Office (MWO). Эксперимент проводился на векторном анализаторе цепей типа PXA. Результаты моделирования и эксперимента соответствуют предъявленным требованиям, а именно:

- частота среза 4 ГГц;
- потери в полосе пропускания не более 3 дБ;
- загораживание на второй гармонике частоты среза не менее 60 дБ;
- волновое сопротивление входа и выхода 50 Ом.

Ключевые слова: фильтр нижних частот; частота среза; потери в полосе пропускания; потери в полосе заграждения; моделирование; эксперимент.

Введение

Моделирование фильтров можно проводить в пакетах прикладных программ Serenade, MicrowaveOffice, HFSS, FEKO, CST. Авторы выбрали пакет Microwave Office благодаря его доступности и наличию методической литературы.

Фильтры нижних частот (ФНЧ) широко используются в выходных каскадах передатчиков для подавления гармоник основной частоты, поэтому их часто называют фильтрами гармоник. Имеется большое многообразие ФНЧ по диапазону рабочих частот, типу применяемой линии передачи, технологии изготовления. Объектом исследования в данной работе является ФНЧ коаксиального типа. К фильтру предъявляются следующие требования:

- частота среза 4 ГГц;
- потери в полосе пропускания не более 3 дБ;
- потери на частоте второй гармонике частоты среза не менее 60 дБ;
- волновое сопротивление входа и выхода 50 Ом.

Схема и конструкция

Схема фильтра нижних частот приведена на рисунке 1. Из этого рисунка видно, что фильтр состоит из 21 отрезка коаксиальной линии. Волновое сопротивление отрезков коаксиальной линии меняется ступенчато, а именно, за отрезком с низким волновым сопротивлением следует отрезок с высоким волновым сопротивлением. Геометрические размеры фильтра приведены в таблице 1. Они были рассчитаны по методике из книги [1]. Волновое сопротивление коаксиальной линии рассчитано по формуле:

$$W = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon}} \lg \frac{D}{d}$$

где D- диаметр наружного проводника коаксиала;

d- диаметр внутреннего проводника коаксиала;

ε - относительная диэлектрическая постоянная пластмассовых колец на низкоомных отрезках линии.

На рисунке 2 можно видеть фото фильтра в разобранном виде. Корпус фильтра состоит из двух симметричных половинок, в каждой из которых профрезерована канавка цилиндрической формы. Внутри корпуса размещается центральный проводник фильтра со ступенчато изменяемым волновым сопротивлением. Изоляция центрального проводника от корпуса производится с помощью пластмассовых колец, одетых на низкоомные отрезки линии передачи. Вход и выход ФНЧ оформлены в виде соединителей по типу IX ГОСТ13317-89, вариант 3. К этому ряду принадлежит розетка SMA-F [2].

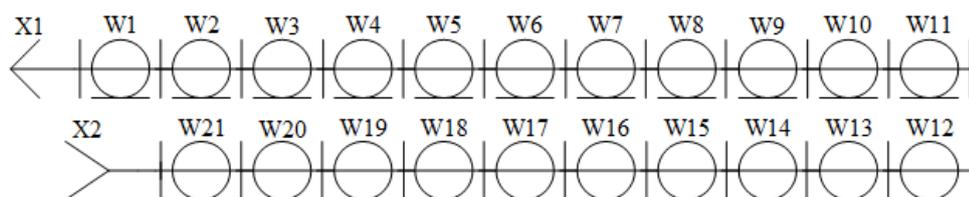


Рис. 1 - Принципиальная схема фильтра

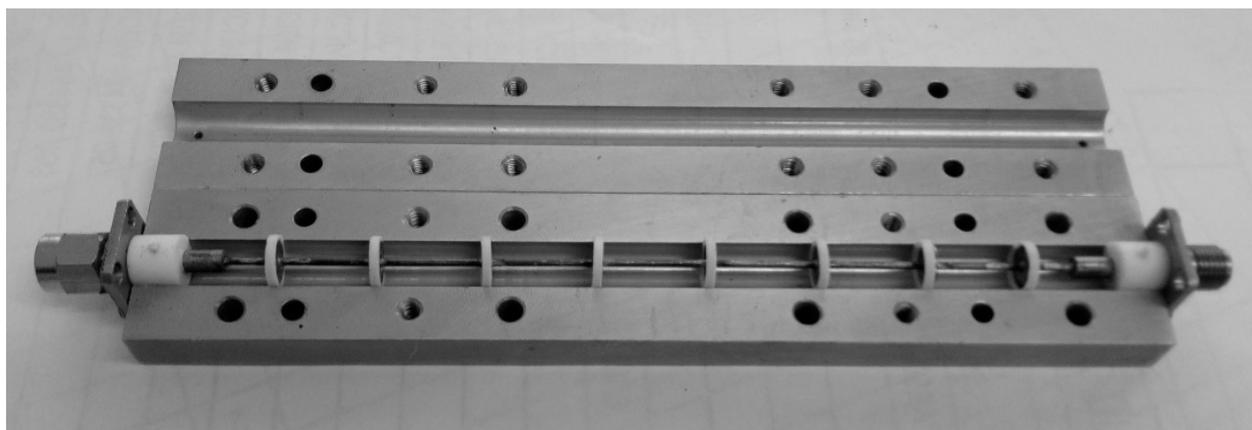


Рис. 2 – Фото фильтра в разобранном виде

Таблица №1

Геометрические размеры ФНЧ

Позиц. обозн.	D, мм	d, мм	ϵ_r	l, мм	W0	Наименование
1	2	3	4	5	6	7
W1	7	3	3	5,6	+	Трансформатор
W2	7	3	1	4,6	+	Трансформатор
W3	7	1	1	6,3	+	Резонатор
W4	7	6	3	0,8		Резонатор
W5	7	1	1	12,4	+	Резонатор
W6	7	6	3	0,8		Резонатор
W7	7	1	1	13,7	+	Резонатор
W8	7	6	3	0,8		Резонатор
W9	7	1	1	15,2	+	Резонатор

1	2	3	4	5	6	7
W10	7	6	2	0,8		Резонатор
W11	7	1	1	14,0		Резонатор
W12	7	6	3	0,8		Резонатор
W13	7	1	1	15,2		Резонатор
W14	7	6	3	0,8		Резонатор
W15	7	1	1	13,7		Резонатор
W16	7	6	2	0,8		Резонатор
W17	7	1	1	12,4		Резонатор
W18	7	6	3	0,8		Резонатор
W19	7	1	1	6,3		Резонатор
W20	7	3	1	4,6		Трансформатор
W21	7	3	3	5,6		Трансформатор
X1						Вилка SMA-M
X2						Гнездо SMA-F

Моделирование

Моделирование фильтра проводилось в пакете прикладных программ MicrowaveOffice [3,4]. Исходные данные для моделирования взяты из таблицы 1. Модель фильтра из MWO можно видеть на рисунке 3.

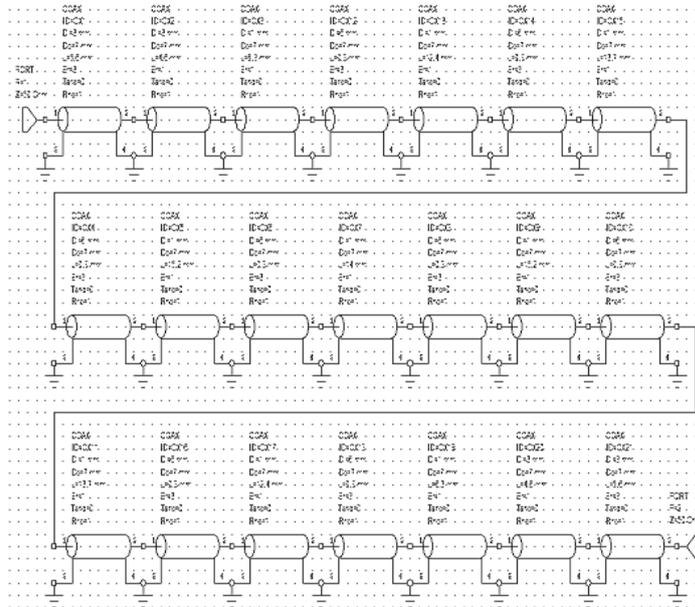


Рис. 3 – Модель фильтра в MWO

Результаты моделирования представлены на рисунках 4 и 5. На рисунке 4 показана амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) фильтра в полосе от 0 до 5 ГГц. На рисунке 5 изображена АЧХ фильтра в полосе от 0 до 12 ГГц.

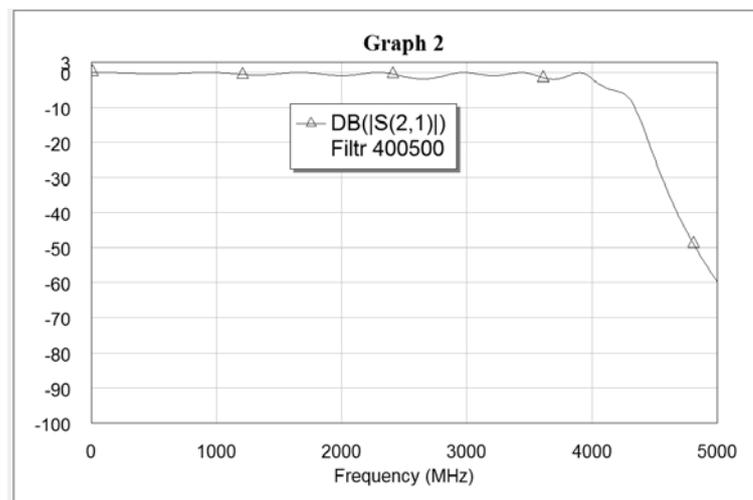


Рис. 4 – АЧХ фильтра в полосе 5 ГГц из MWO

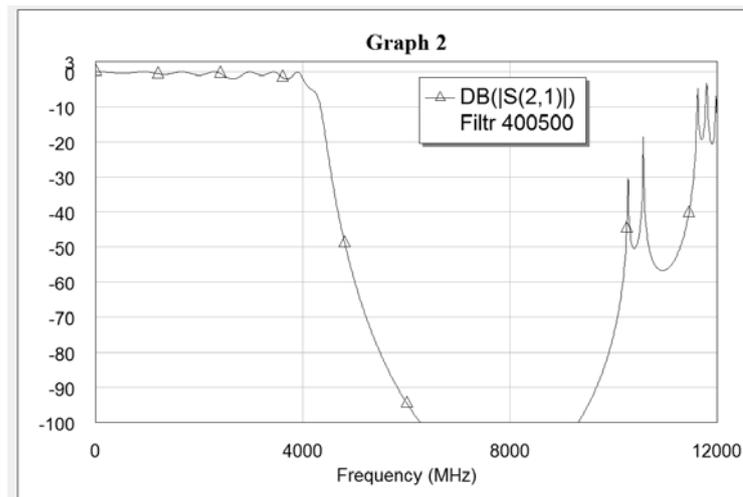


Рис. 5 – АЧХ фильтра в полосе до 12 ГГц из MWO

Из рисунков 4 и 5 следует, что требования к фильтру выполняются.

Эксперимент

Эксперимент проводился на установке, содержащей векторный анализатор цепей типа РХА, набор кабелей и переходов. На рисунке 6 изображена АЧХ фильтра в полосе от 10 МГц до 5 ГГц. На рисунке 7 можно видеть АЧХ фильтра в полосе от 10 МГц до 12 ГГц. Из этих графиков видно, что требования к АЧХ фильтра выполняются. Кроме того, из рисунка 7 видно, что фильтр имеет ложные полосы пропускания на частотах около 10,8 ГГц и выше.



Рис. 6 – АЧХ ФНЧ в полосе от 10 МГц до 5 ГГц

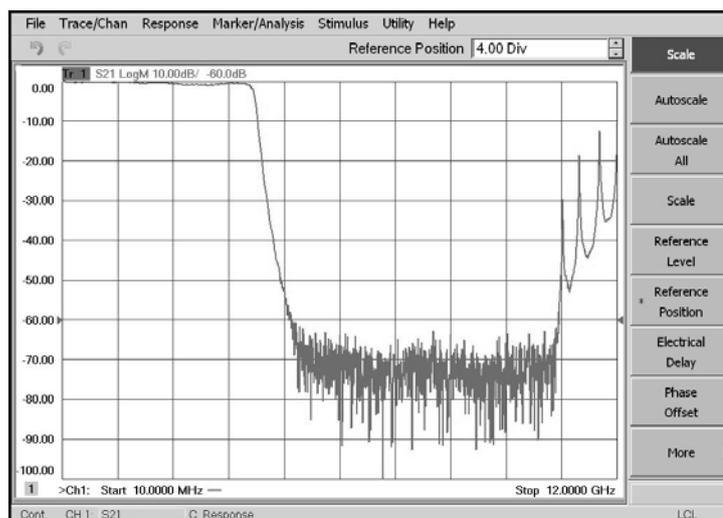


Рис. 7 - АЧХ ФНЧ в полосе от 10 МГц до 12 ГГц

Выводы

Основные параметры фильтра нижних частот, полученные в процессе моделирования, представлены в таблице 2.

Таблица №2

Результаты моделирования

Наименование параметра, размерность	Задано	Моделирование	Эксперимент
1	2	3	4
Частота среза на уровне минус 3дБ от максимума, МГц	4000	4000	4000
Потери в полосе пропускания, не более, дБ	3	3	3

1	2	3	4
Потери в полосе заграждения от 5 ГГц до 10 ГГц, не менее, дБ	60	62	64
Волновое сопротивление входа и выхода, Ом	50	50	50

Из этой таблицы видно, что все требования к фильтру выполнены. При проведении данного исследования использован предыдущий опыт авторов [5-8], а также работы других авторов [9,10].

Литература

1. Маттей Д.Л., Янг Л., Джонс Е.М.Т., Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. Том 1. М.: Связь, 1971. 440 с.
2. Джурицкий К.Б., Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. М.: Техносфера, 2006. 216 с.
3. Бахвалова С.А., Романюк В.А. Основы моделирования и проектирования радиотехнических устройств в Microwave Office. Учебное пособие. М.: Солон-Пресс, 2016. 152 с.
4. Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Курушин А.А. Проектирование СВЧ – устройств с помощью Microwave Office. –М: Солон-Пресс, 2003, - 496 с.
5. Доновская Т.В., Ковалева А.В., Матушко С.Д. Фильтр нижних частот для квадратурного демодулятора. // Современные тенденции в науке и образовании. М.: Олимп, 2017. с.46-48.

6. Гончарова Т.О., Зикий А.Н., Андрианов А.В. Моделирование и экспериментальное исследование микрополоскового ФНЧ. // Сборник материалов 9 международной научно-практической конференции “Научные исследования и разработка 2016”. М.:Олимп, 2016. с.73-76.
7. Андрианов А.В., Зикий А.Н., Пустовалов А.Н. Моделирование и экспериментальное исследование трактового фильтра сантиметрового диапазона // Инженерный вестник Дона. 2017. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4042/.
8. Андрианов А.В., Быков С.А., Зикий А.Н., Пустовалов А.Н. Моделирование и экспериментальное исследование трактового фильтра на встречных стержнях // Инженерный вестник Дона, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3778/.
9. Zverev A.I., 1967. Handbook of Filter Synthesis. N.Y., London, Sydney: John Wiley and Sons, Inc. p. 592.
10. Levi R. and I.E. Rozzi, 1968. Precise design of coaxial low-pass filters. №3 (MTT-16), IEEE Trans: pp. 142-147.

References

1. Matthey D.L., Yang L., Jones E.M.T., Fil'try SVCH, soglasuyushchiye tsepi i tsepi svyazi [Microwave filters, impedance-matching networks, and coupling structures], Tom 1. М.: Svyaz', 1971. 440 p.
 2. Dzhurinskiy K.B., Miniaturnyye koaksial'nyye radiokomponenty dlya mikroelektroniki SVCH [Miniature coaxial radio components for microwave microelectronics]. М.: Tekhnosfera, 2006. 216 p.
 3. Bakhvalova S.A., Romanyuk V.A. Osnovy modelirovaniya i proyektirovaniya radiotekhnicheskikh ustroystv v Microwave Office. Uchebnoye posobiye [Fundamentals of modeling and design of radio engineering devices in Microwave Office]. М.: Solon-Press, 2016. 152 p.
-

4. Razevig V.D., Potapov YU.V., Kurushin A.A. *Proyektirovaniye SVCH – ustroystv s pomoshch'yu Microwave Office* [Design of microwave devices using Microwave Office]. M: Solon-Press, 2003, -496 p.
5. Donovskaya T.V., Kovaleva A.V., Matuzko S.D. *Fil'tr nizhnikh chastot dlya kvadraturnogo demodulyatora. Sovremennyye tendentsii v nauke i obrazovanii*. M.: Olimp, 2017. pp.46-48.
6. Goncharova T.O., Zikiy A.N., Andrianov A.V. *Sbornik materialov 9 mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Nauchnyye issledovaniya i razrabotka 2016"*. M.: Olimp, 2016. pp.73-76.
7. Andrianov A.V., Zikiy A.N., Pustovalov A.N. *Inzhenernyj vestnik Dona (Rus)*, 2017, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4042/.
8. Andrianov A.V., Bykov S.A., Zikiy A.N., Pustovalov A.N. *Inzhenernyj vestnik Dona (Rus)*, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3778/.
9. Zverev A.I., 1967. *Handbook of Filter Synthesis*. N.Y., London, Sydney: John WileyandSons, Inc. p. 592.
10. Levi R. and I.E. Rozzi, 1968. *Precise design of coaxial low-pass filters*. №3(MTT-16), IEEE Trans: pp. 142-147.