ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩИЙ ФИЛЬТР С ПОДАВЛЕНИЕМ В ПОЛОСЕ ЗАГРЯЖДЕНИЯ НА 50 ДБ ПРИ ОТСТРОЙКЕ НА 50 МГц

И.Н. Урусов, А.А. Белоусов

Центральное конструкторское бюро автоматики, Омск, Российская Федерация

Представлены результаты моделирования полосно-пропускающего фильтра с узкой полосой пропускания, крутыми скатами и жестким подавлением в полосе заграждения, его масштабное макетирование и изготовление.

Ключевые слова: полосно-пропускающий фильтр, фильтрация, фильтр низких частот, фильтр высоких частот, полоса заграждения.

BAND-PASS FILTER WITH SUPPRESSION IN REJECTION BAND OF 50 DB WITH THE OFFSET 50 MHZ

I.N. Urusov, A.A. Belousov

Central Design Bureau of Automation, Omsk, Russian Federation

This article presents the results of modeling band-pass filter with narrow bandwidth, steep slope and severe suppression in stopband, his scale prototyping and making a filter.

Keywords: band-pass filter, filtration, low pass filter, high pass filter, rejection band.

Цель данной работы – провести моделирование, схемотехнический анализ и разработать фильтр с заданными техническими характеристиками:

- центральная частота: 300 МГц;
- ширина полосы пропускания: 150 МГц;
- вносимые потери в полосе пропускания: 3 дБ, не более;
- затухание в диапазонах частот до 175 МГц ниже и от 425 МГц и выше: 50 дБ, не менее;
- относительная разность фаз в группе фильтров: 15 град. электр., не более;
- коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) входа/выхода: 2, не более.

В процессе моделирования были проработаны различные типы фильтров: Бесселя, Баттерворта, Чебышёва, эллиптический. Среди них был выбран эллиптический фильтр, так как он отвечал всем необходимым параметрам: крутизна скатов, подавление в полосе затухания, минимальные пульсации в полосе пропускания и полосе затухания [1].

Схема эллиптического фильтра была разработана в системе автоматизированного проектирования AWR Microwave Office [2; 3]. В процессе моделирования сначала был разработан фильтр низких частот (ФНЧ) 7-го порядка, но он не удовлетворял крутизне скатов, поэтому было решено его продублировать. В итоге получился ФНЧ 13-го порядка, удовлетворяющий требованию по крутизне скатов. Далее было проведено моделирование фильтра высоких частот (ФВЧ) 7-го порядка, который сразу удовлетворил требованиям по крутизне ската и коэффициенту передачи. После этого происходила стыковка двух ФНЧ 7-го порядка и одного ФВЧ 7-го порядка, создав при этом полосно-пропускающий фильтр (ППФ) 20-го порядка [4]. Схема электрическая принципиальная представлена на рис. 1.

Рис. 1. Схема электрическая принципиальная ППФ на идеальных элементах

Параллельные индуктивности в ФНЧ и ёмкости в ФВЧ обеспечивают наибольшую крутизну ската.

1. Макетирование фильтра

Следующим шагом стала сборка макета ППФ. В качестве подложки решили использовать ФЛАН ФР-7,2-2,0 ТУ16-503.148-80, внешний вид макета приведен на рис. 2. При изготовлении макета использовались следующие элементы: конденсаторы фирм-изготовителей «YAGEO», «Samsung», «KOME»; катушки индуктивности, изготовленные из провода ПЭВТЛ-2 0,315 ТУ16-502.023-82 с диаметром поперечного сечения 0,315 мм.

Рис. 2. Внешний вид макета ППФ

Для упрощения настройки сначала настраивался ФНЧ 13-го порядка, после этого настраивался ФВЧ 7-го порядка. После настройки ФНЧ и ФВЧ стыковались, образуя таким образом ППФ 20-го порядка.

В процессе настройки ёмкость конденсаторов была взята за неизменную величину. Расчетное значение индуктивности не совпало при первом включении макета фильтра, поэтому настройка отдельных фильтров велась путем изменения межвиткового пространства катушек индуктивности, а также их диаметров.

Изготовленный макет ППФ устанавливался в приспособление с коаксиальными разъёмами, далее проводилось измерение зависимости вносимых потерь и КСВН при помощи векторного анализатора цепей Р4М-18.

Графики АЧХ и КСВН макета ППФ приведены на рис. 3 и 4 соответственно.

Рис. 3. АЧХ макета ППФ

Рис. 4. КСВН макета ППФ

Результаты полученных значений коэффициента передачи и КСВН макета ППФ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Полученные значения коэффициента передачи и КСВН макета ППФ

Наименование	175 МГц	225 МГц	300 МГц	328 МГц	375 МГц	425 МГц
Кр, дБ	-63,6	-1,6	-1,2	-1,5	-1,6	-63,34
КСВН	10	1,25	1,6	1,98	1,36	10

Полученные характеристики соответствуют заданным требованиям, единственный параметр, проконтролировать который не представляется возможным, это относительная разность фаз между группой фильтров в полосе пропускания, так как для этого необходим дополнительный аналогичный фильтр. Поэтому следующим шагом стало изготовление ППФ.

2. Изготовление фильтра

Для изготовления ППФ была разработана топология на подложке из поликора ПК₂ Ще7.817.010-07 ТУ 6366-000-07593894-2013, внешний вид которого приведен на рис. 5.

Рис. 5. Прототип ППФ

ППФ устанавливались на отдельные оснастки с коаксиальными выводами и проводились соответствующие измерения при помощи векторного анализатора цепей Р4М-18. Исходя из полученных данных настройки масштабного макета были проведены аналогичные операции настройки двух ППФ на плате из поликора толщиной 1 мм.

Путем подстройки (изменения межвиткового расстояния) были получены характеристики, соответствующие требованиям технического задания.

Графики АЧХ, КСВН и фазочастотной характеристики макетов ППФ после подстройки приведены на рис. 6–9 соответственно.

Результаты полученных значений коэффициента передачи и КСВН ППФ приведены в табл. 2.

Рис. 6. АЧХ прототипов ППФ

Рис. 7. КСВН входа прототипов ППФ

Рис. 8. КСВН выхода прототипов ППФ

Рис. 9. Разность фаз ППФ № 2 относительно ППФ № 1

Таблица 2

Технические характеристики ППФ

	Требуемые значения	ППФ № 1	ППФ № 2
Полоса пропускания, МГц	300 ± 75	300 ± 75	300 ± 75
Неравномерность в полосе пропускания, дБ, не более	2	0,2	0,4
Вносимые потери в полосе пропускания, дБ, не более	3	1,5	1,6
Затухание в полосе от 175 МГц и ниже, дБ, не менее	50	более 50	более 50
Затухание в полосе от 425 МГц и выше, дБ, не менее	50	более 50	более 50
КСВН входа/выхода, не более	2	1,83	1,69
Разность фаз в группе фильтров, град. электр., не более	15	0	11,4

Следует отметить, что изготовленный фильтр соответствует уровню ведущих мировых фирм-изготовителей, таких как KR Electronics 2979-SMA. Параметры фильтра 2979-SMA представлены на рис. 10 и в табл. 3.

Рис. 10. АЧХ ППФ фирмы KR Electronics 2979-SMA

Таблица 3

Электрические характеристики ППФ фирмы KR Electronics 2979-SMA.

Параметр	Значения
Полоса пропускания, МГц	300±75
Вносимые потери в полосе пропускания, дБ	1
Затухание в полосе от 175 МГц и ниже, дБ, не менее	более 65
Затухание на 225 МГц	1
Затухание на 375 МГц	2
Затухание в полосе от 425 МГц и выше, дБ, не менее	более 65

Выводы

В ходе работы был смоделирован и разработан эллиптический полосно-пропускающий фильтр 20-го порядка. Данный фильтр полностью соответствует заданным техническим требованиям. В ходе настройки подобраны подходящие межвитковые расстояния катушек индуктивности для достижения требований технического задания. Изготовленный фильтр соответствует уровню ведущих мировых фирм-изготовителей, таких как KR Electronics.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маттей Г.Л., Янг Л., Джонс Е.М.Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи / пер. с англ. под ред. Л.В. Алексеева, Ф.В. Кушнера. М.: Связь, 1972. Том 1. 443 с.
2. Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Курушин А.А. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office / под ред. В.Д. Разевига. М.: СОЛОН-Пресс, 2003. 496 с.
3. Дмитриев Е.Е. Проектирование фильтров в Microwave Office с помощью iFilter. 2010. 53 с.
4. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств / С.И. Бахарев [и др.]; под ред. В.И. Вольмана. М.: Радио и связь, 1982. 382 с.