

Тюменцев А.И., Тимошенко Т.С., Ипатов А.А.
АО Омский научно-исследовательский институт приборостроения

Малогабаритный интегральный диплексер

Рассмотрены вопросы построения диплексеров СВЧ диапазона. Приведены расчетные соотношения для элементов схемы. Показана возможность трансформации элементов схемы с целью достижения необходимых номиналов.

Ключевые слова: диплексер, LTCC, трансформации элементов, трансформатор Нортон.

Для обеспечения работы на одну антенну приемного и передающего тракта радиоаппаратуры применяют диплексеры. Как правило такие диплексеры реализуются на основе дискретных LC-фильтров. Однако, достаточно большие массогабаритные показатели, выполненных подобным образом фильтров, существенно ограничивают их применение в современной приемно-передающей аппаратуре. В наибольшей степени, предъявляемым к современной аппаратуре связи требованиям (уровень входной мощности, широкий диапазон рабочих частот, малые габаритные размеры), отвечают интегральные LC-фильтры.

При этом существует ряд особенностей, которые необходимо учитывать при проектировании такого типа фильтров, как при выборе схем, так и при разработке конструкции.

При достаточно большой расстройке между приемным и передающим каналами, в качестве схем диплексеров, используются параллельно включенные со стороны входных зажимов комбинации фильтров нижних и верхних частот (рис. 1 а) или полосовых и режекторных фильтров (рис. 1 б). [1].

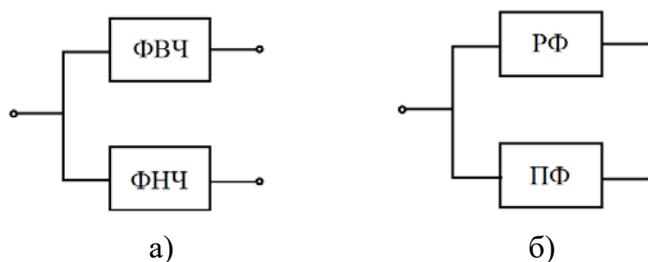


Рис. 1. Структурные схемы диплексеров в виде ФНЧ-ФВЧ (а), ПФ-РФ (б).

Однако для реализации интегральных диплексерных фильтров такие структуры оказываются малоприменимыми. Прежде всего это связано с трудностями реализации заданных номиналов элементов схем, а также их конструктивной реализацией, в частности, незаземленных конденсаторов в продольных ветвях схем фильтров верхних частот и режекторных фильтров.

Поэтому для реализации интегральных диплексеров наиболее предпочтительным является использование полосовых фильтров (рис. 2). При этом для исключения взаимного шунтирования каналов характеристическое сопротивление фильтров должно монотонно увеличиваться при отстройке от центральной частоты.

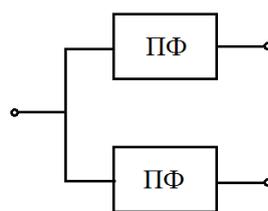


Рис. 2. Структурная схема диплексера в виде ПФ-ПФ.

Несмотря на то, что в настоящее время известно достаточно большое число схем фильтров, отвечающих этому условию, лишь немногие из них оказываются пригодными для реализации в виде интегральных структур [2, 3, 4].

Проведенный анализ схемотехнических решений интегральных полосовых фильтров, выполненных по ЛТСС технологии, и их предварительные расчеты показали, что для реализации полосовых фильтров диплексера в наибольшей степени подходят модифицированные схемы квазиполиномиальных полосовых фильтров (рис. 2).

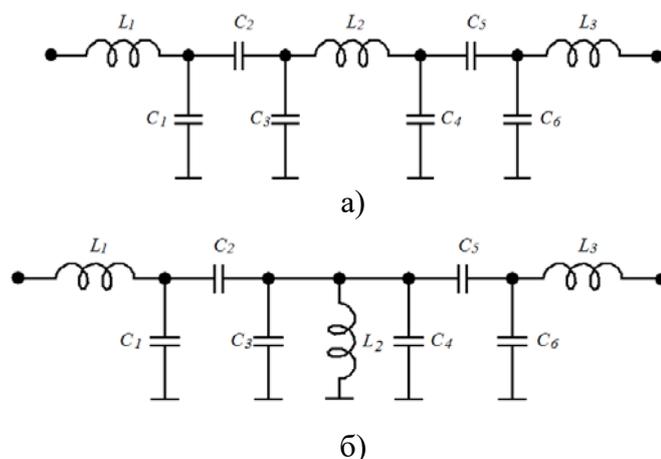


Рис. 2. Преобразованные схемы полосовых фильтров на связанных контурах с емкостной связью (а), на последовательных и параллельном контуре (б)

Эти схемы могут быть получены преобразованием широко известной схемы полосового фильтра (рис. 3), с помощью инверторов сопротивлений или преобразований Нортона [5, 6].

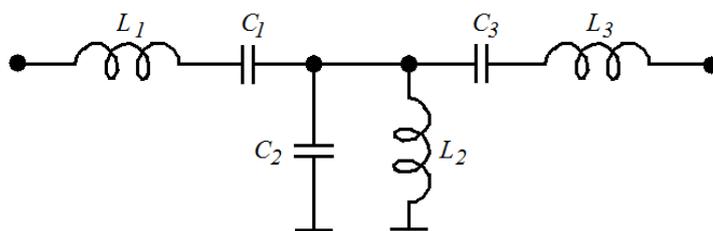
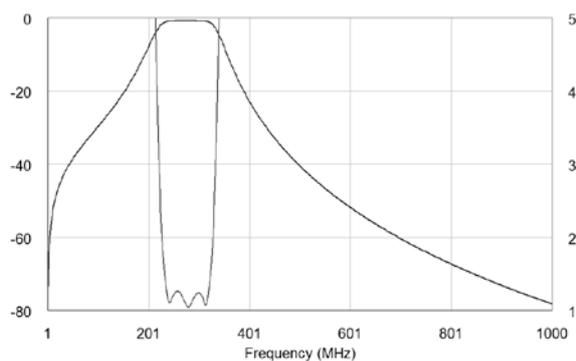
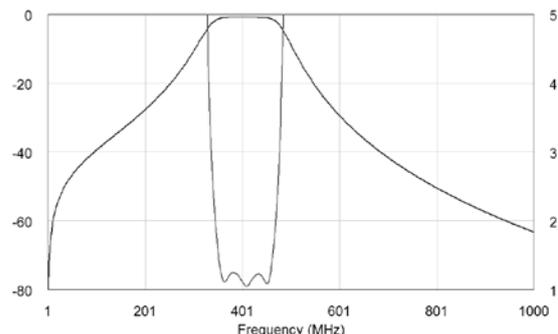


Рис. 3. Схема полосового фильтра

Проведенные расчеты и схемотехническое моделирование этих схем, результаты которого приведены на рис. 4 и рис. 5 показали, что схемы фильтров, полученные путем преобразования Нортона, позволяют обеспечить более симметричную характеристику относительного затухания по сравнению с фильтрами, реализованными на инверторах сопротивления, у которых крутизна частотной характеристики справа выше.

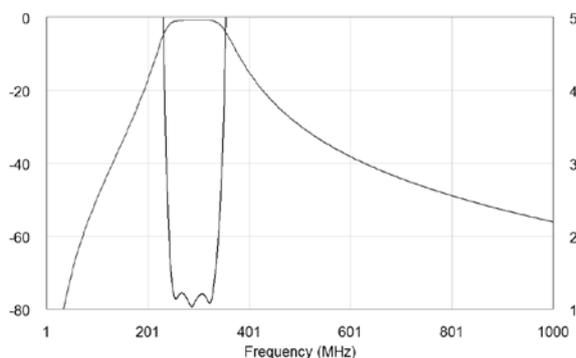


а)

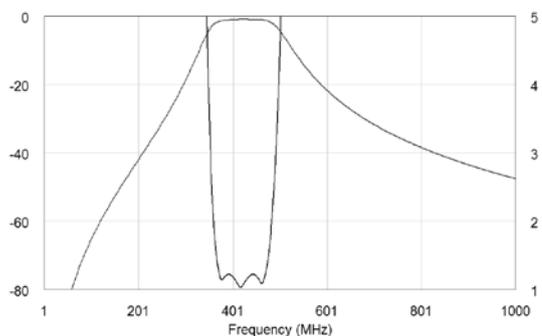


б)

Рис. 4. Расчетные АЧХ полосовых фильтров для схемы рис. 2а с полосой пропускания от 230 до 350 МГц (а), пропускания от 370 до 470 МГц (б)



а)



б)

Рис. 5. Расчетные АЧХ полосовых фильтров для схемы рис. 2б с полосой пропускания от 230 до 350 МГц (а), пропускания от 370 до 470 МГц (б)

Выполненные расчеты и данные, полученные в [2, 3] показывают, что диапазон рабочих частот, в котором выполняются условия физической реализуемости элементов, рассматриваемых схем равноценен и при относительной ширине полос 10...70% пропускания, может достигать 3000...3500 МГц. Однако схема на инверторах сопротивления при относительных полосах пропускания менее 50% обладает более удобными для практической реализации значениями элементов схем. Поэтому ее использование в диплексерных фильтрах является более предпочтительным.

На рис. 6 представлены трехмерная модель интегрального диплексерного фильтра, на основе комбинации ПФ-ПФ с использованием стековых конструкций элементов, а также результаты электромагнитного моделирования их АЧХ и КСВ. Диплексер выполнен в двадцати слоях керамики DuPont Green Tape 951 с диэлектрической проницаемостью 7,8 и толщиной слоя 144 мкм.

Как видно из приведенных рисунков, результаты электромагнитного моделирования АЧХ фильтра в полосе пропускания хорошо коррелируются с данными схемотехнического моделирования, а потери в полосе пропускания не превышают 1,0...1,5 дБ.

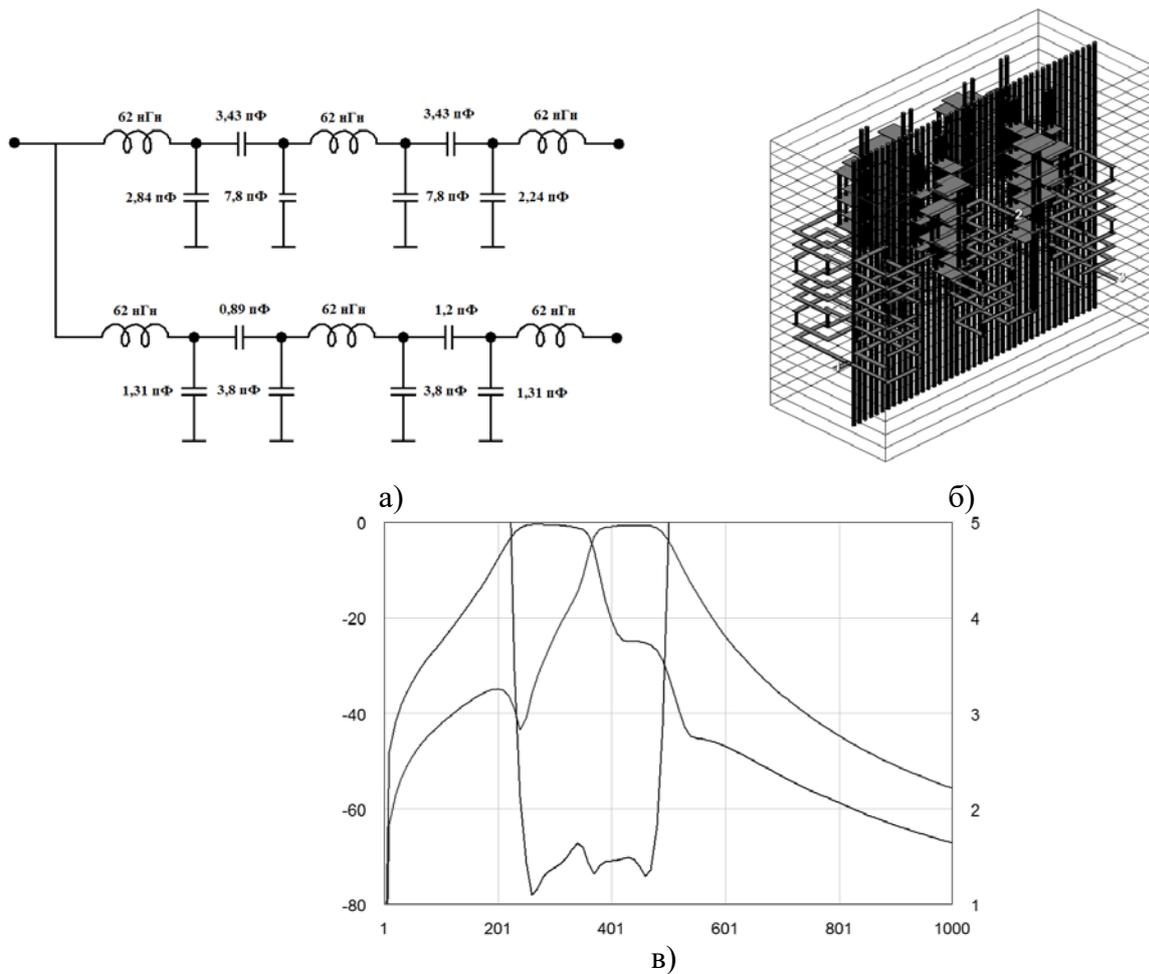


Рис. 6. Схема (а), трехмерная модель (б) и результаты ЭМ (в) диплексера, выполненного на основе квазиполиномиальных полосовых фильтров

Для оптимизации общей компоновки фильтров использовались стекковые конденсаторы и индуктивности. Применение встроенных элементов, выполненных подобным образом, позволило разработать диплексер для поверхностного монтажа на основе комбинации ПФ-ПФ с габаритными размерами $14 \times 6 \times 2,9$ мм. Внешний вид этого диплексера и его амплитудно-частотная характеристика представлены на рисунке 7.

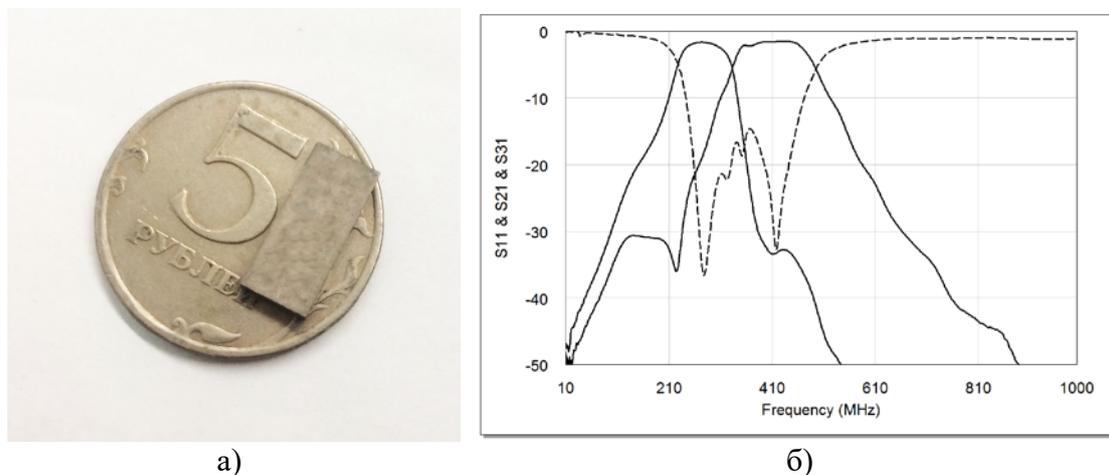


Рис. 7. Внешний вид диплексера (а) и амплитудно-частотная характеристика (б)

Библиографический список

1. Босый Н.Д. Электрические фильтры [текст] – К: Технической литературы, 1957. - 516 с.
2. Тюменцев А.И. Улучшение параметров полосовых LC-фильтров путем преобразования мостовых звеньев в неуравновешенные лестничные: Дис. кан. тех. наук – Омск.–2013. – 156 с.
3. Хроленко Т.С. Интегральные LC-фильтры ВЧ и СВЧ диапазонов на основе современных материалов [текст]. Дис. кан. тех. наук – Омск,– 2013. – 173 с.
4. Шорохова А.В., Тюменцев А.И. Полосовой СВЧ фильтр на основе LTCC технологии [текст]/ Успехи современной радиоэлектроники, 2010, Вып. 12 – С. 62 – 66.
5. Зааль Р. Справочник по расчету фильтров [текст]/ Рудольф Зааль; пер. с нем. Ю. В. Камкина. – М.: Радио и связь, 1983. – 752 с.
6. Черне, Х. И. Индуктивные связи и трансформации в электрических фильтрах [текст]/ Х. И. Черне.– М.:Связьиздат, 1962. –316 с.