

**СВЕРХМИНИАТЮРНЫЕ ВЫСОКОИЗБИРАТЕЛЬНЫЕ ФИЛЬТРЫ СВЧ  
НА ОСНОВЕ ШПИЛЕЧНЫХ РЕЗОНАТОРОВ, НАГРУЖЕННЫХ  
НА УКОРАЧИВАЮЩИЕ КОНДЕНСАТОРЫ**

© 2016 г. О.В. АРИНИН, Г.М. АРИСТАРХОВ

Московский технический университет связи и информатики

В последнее время значительное внимание уделяется разработке СВЧ и СВЧ устройств в базе распределено-сосредоточенных цепей, как обеспечивающих существенное уменьшение их габаритов. Распределено-сосредоточенные цепи также составляют основу создания сверхминиатюрных фильтров, изготавливаемых в рамках, как стандартных тонкопленочных технологий, так и по технологии низкотемпературной совместно обжигаемой керамики (LTCC). Схемотехнической основой таких фильтров являются гребенчатые- и Y-звенья, нагруженные на укорачивающие дискретные или пленочные конденсаторы. В этих структурах возможно формирование значительного числа полюсов рабочего затухания на конечных частотах, что обеспечивает повышенную их частотную избирательность [1-3.]. Однако, одним из существенных технологических недостатков этих схем является необходимость реализации режима короткого замыкания на одном из концов каждого из резонаторов, что усложняет технологию их изготовления и обуславливает значительный разброс параметров СВЧ схем.

В данной работе исследуются в базе распределенно-сосредоточенных СВЧ цепей высокоизбирательные двух- и четырехрезонаторные компактные структуры нового типа, которые не содержат короткозамкнутых на экран элементов, что определяет их высокую технологичность.

Схемотехническую основу рассматриваемых фильтров составляют микрополосковые структуры на сонаправленных шпилечных резонаторах, нагруженных на укорачивающие конденсаторы. Как показано в [4], в микрополосковых фильтрах на сонаправленных шпилечных резонаторах также возможно формирование значительного числа полюсов рабочего затухания за счет определенного выбора электромагнитного взаимодействия между полуволновыми резонаторами на разных участках их длин. В рассматриваемых же структурах электрическая длина отрезков линий передачи, образующих резонаторы, на порядок меньше четверти длины волны, и поэтому развитые в [5] способы управления частотными свойствами структур становятся неприменимыми для распределенно-сосредоточенных цепей. Это обуславливает необходимость определения иных условий формирования полюсов рабочего затухания в этих структурах, а также исследования их потенциальных селективных возможностей. Решению этих задач и посвящена данная работа

На рис. 1 представлена двухрезонаторная структура с укорачивающими конденсаторами  $C_1$ ,  $C_2$  и конденсаторами связи  $C_{12}$  и  $C_{23}$ . Эта структура может работать в двух режимах:

- все полюсы рабочего затухания формируются в области верхних частот, и фильтр обладает характеристикой, обеспечивающей повышенную одностороннюю частотную избирательность;

- часть полюсов затухания формируются в области нижних, а вторая часть – в области верхних частот и фильтр реализует характеристику квазисимметричного типа.

Реализация того или иного типа частотной характеристики определяется выбором параметров элементов, которые приведены, в качестве примера, в табл. 1. При

этом микрополосковая структура является симметричной, а ее геометрические длина  $L$  и ширины  $W$  микрополосковых линий (МПЛ) в этих режимах одинаковы. Здесь и далее в качестве подложки использовался диэлектрик с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon=2.5$  и толщиной, равной  $H=0.508$  мм.

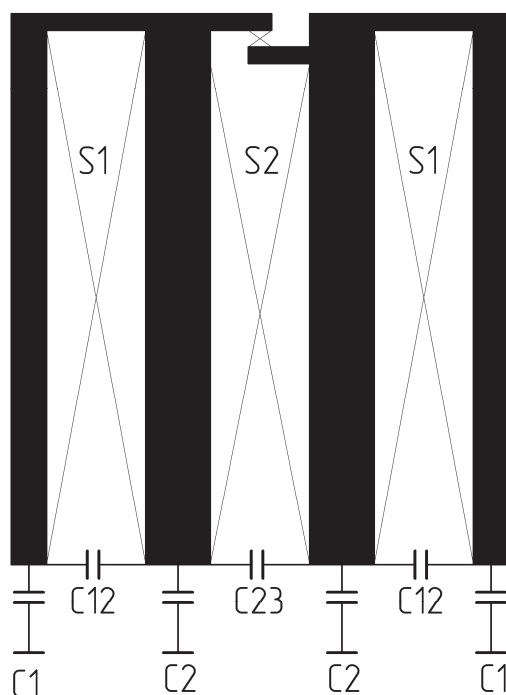


Рис. 1. Топология двухрезонаторной структуры.

Таблица 1

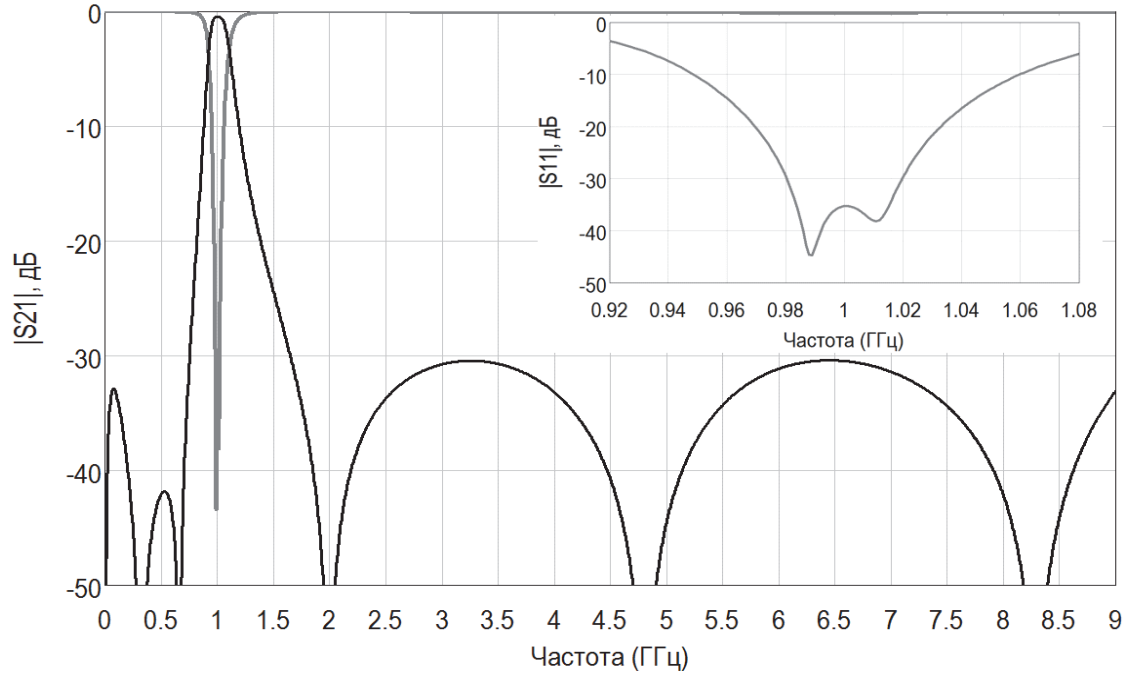
Параметры элементов структуры для разных режимов ее работы

Параметры элементов	Вид АЧХ	
	Квазисимметричная (рис. 2, а)	С повышенной односторонней частотной избирательностью (рис. 2, б)
C1, пФ	33,1	2,9
C2, пФ	4,6	8,75
C12, пФ	0	0,8
C23, пФ	0,9	35,5
S1, мм	0,3	1,7
S2, мм	1,9	1,7
L, мм	10	10
W1, мм	0,6	0,6
W2, мм	1,1	1,1

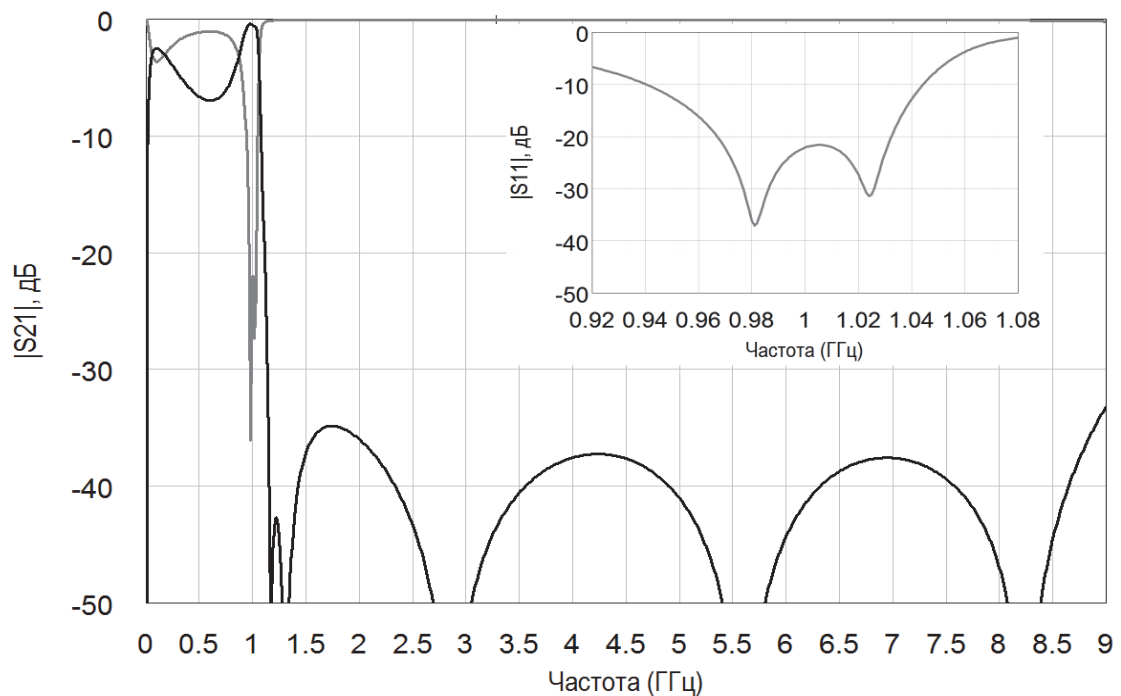
Принципиальным отличием в реализации этих режимов является то, что в случае формирования АЧХ квазисимметричного типа (рис. 2, а) доминирующей связью между плечами резонаторов является магнитная связь, а в случае формирования АЧХ с повышенной односторонней частотной избирательностью – электрическая (рис. 2, б).

Повышение порядка фильтра и его частотной избирательности достигается увеличением числа резонаторов в структуре. Один из вариантов четырехрезонаторного фильтра представлен на рис. 3. Входной и выходной трансформирующие резонато-

ры формируют полюсы рабочего затухания в области верхних частот. Центральный резонатор формирует в зависимости от выбора емкости конденсатора  $C_3$  полюс рабочего затухания вблизи полосы пропускания или в области верхних (рис. 4), или нижних (рис. 5) частот. Решетчатые секции структуры формируют полюсы рабочего затухания в области нижних частот и их существенное расщепление обусловлено доминирующей магнитной связью между секциями.



а)



б)

Рис. 2. Частотные характеристики двухрезонаторного фильтра при различных режимах его работы.

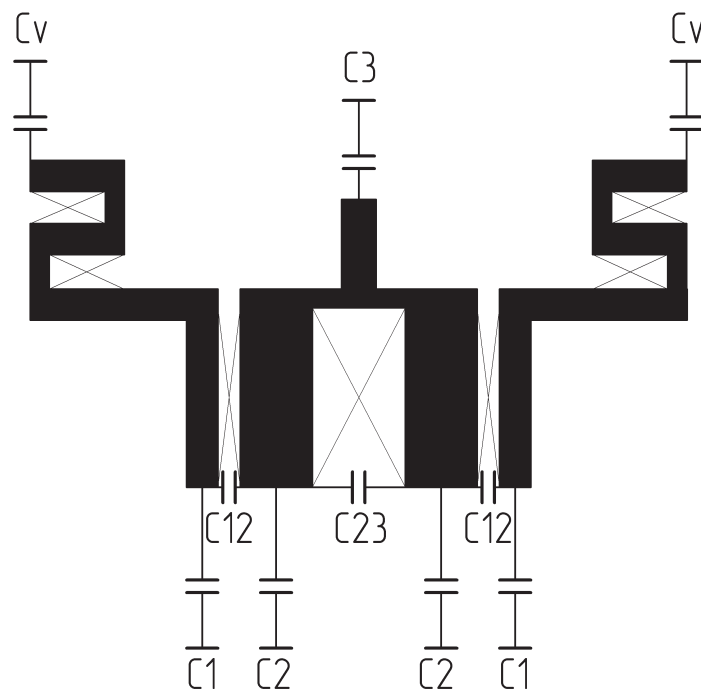


Рис. 3. Топология четырехрезонаторной структуры.

Геометрические размеры элементов структуры и емкости конденсаторов имеют при реализации этих двух типов частотной характеристики следующие значения:

- для АЧХ, представленной на рис. 4: длина решетчатых секций равна  $L=3,2$  мм;  $W_1=0,5$  мм;  $W_2=1,15$  мм;  $S_1=0,36$  мм;  $S_2=1,49$  мм;  $C_1=55,3$  пФ;  $C_2=15,4$  пФ;  $C_3=48,2$  пФ;  $C_v=7,9$  пФ;  $C_{12}=1$  пФ;  $C_{23}=3,5$  пФ;

- для АЧХ, представленной на рис. 5:  $L=3,2$  мм;  $W_1=0,5$  мм;  $W_2=1,15$  мм;  $S_1=0,2$  мм;  $S_2=1,5$  мм;  $C_1=27,6$  пФ;  $C_2=8,2$  пФ;  $C_3=68,5$  пФ;  $C_v=9,4$  пФ;  $C_{12}=1,1$  пФ;  $C_{23}=5,9$  пФ.

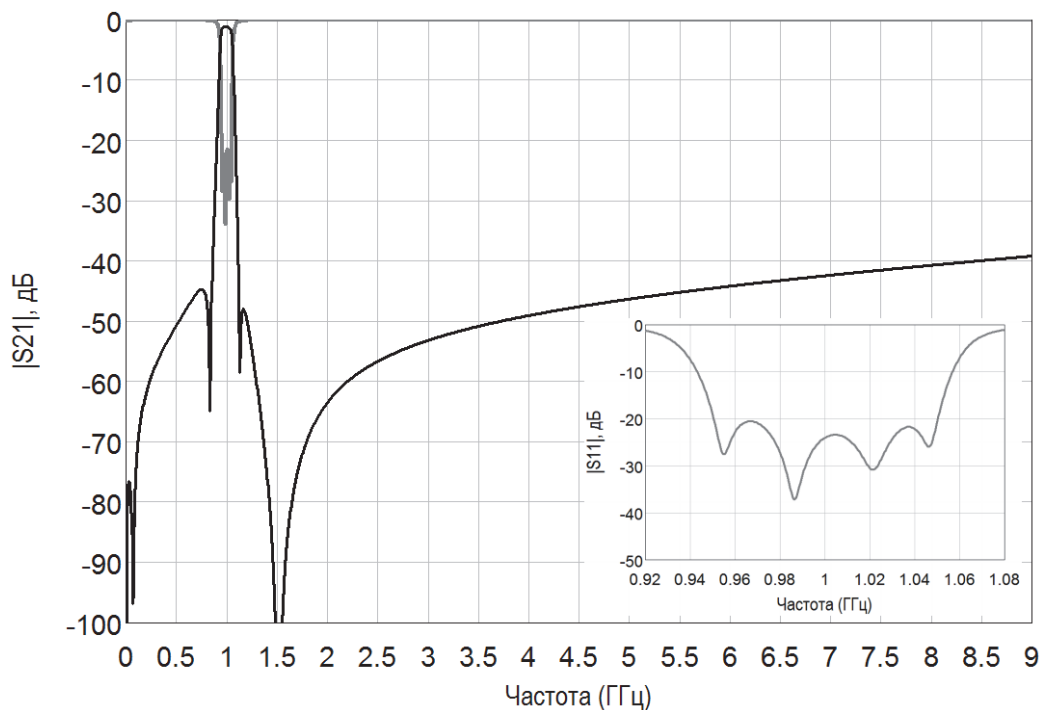


Рис. 4. Рабочее затухание фильтра с повышенной частотной избирательностью в области верхних частот.

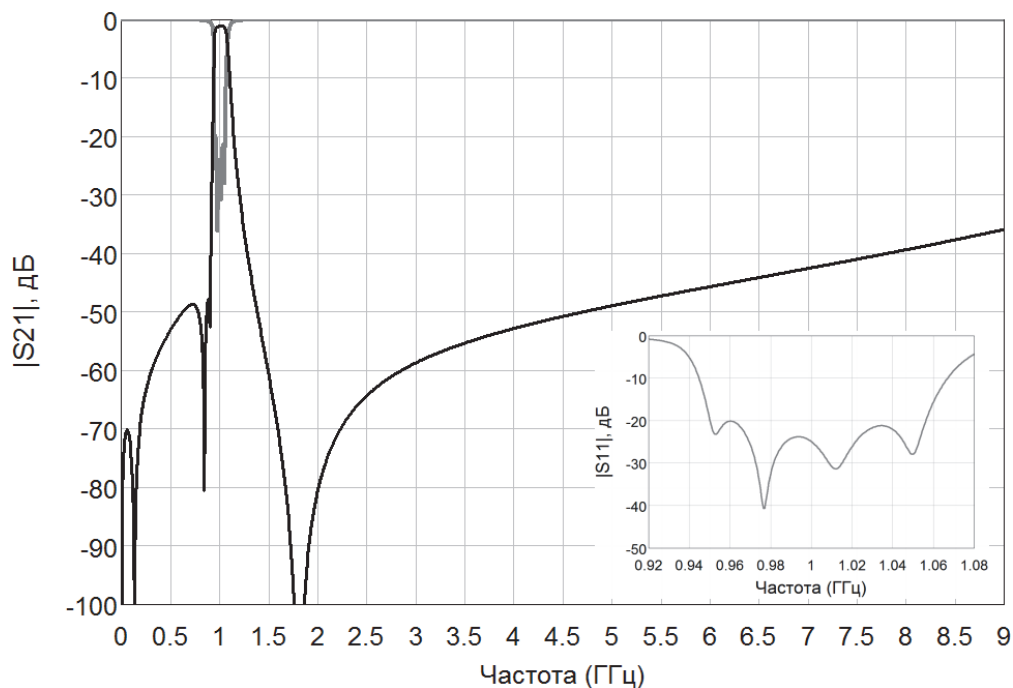


Рис. 5. Рабочее затухание фильтра с повышенной частотной избирательностью в области нижних частот.

Таким образом, в данной работе показана возможность реализации компактных высокоизбирательных фильтров, структуры которых содержат резонаторы, работающие только в режиме холостого хода, что определяет высокую технологичность этих фильтров.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аристархов Г.М., Арсенин А.В.* Сверхминиатюрные высокоизбирательные фильтры СВЧ в базе распределенно-сосредоточенных структур // *Антенны*. – 2007. Вып.7 (122). С. 49-58.
2. *Аристархов Г.М., Арсенин А.В., Аринин О.В.* Схемотехнический базис сверхминиатюрных высокоизбирательных СВЧ фильтров на основе Y-звеньев. Часть 1. Базовые Y-звенья // *Т-Сотт — Телекоммуникации и транспорт*. – 2012. №4. С. 42-45.
3. *Аристархов Г.М., Арсенин А.В., Аринин О.В.* Схемотехнический базис сверхминиатюрных высокоизбирательных СВЧ фильтров на основе Y-звеньев. Часть 2. Y-звенья с дополнительными связями // *Т-Сотт — Телекоммуникации и транспорт*. – 2012. №5. С. 38-40.
4. *Аристархов Г.М., Звездинов Н.В., Чернышев В.П.* Микрополосковые фильтры на сонаправленных шпилечных резонаторах с повышенной частотной избирательностью // *Радиотехника*. – 2014. №10. С. 22-28.
5. *Аристархов Г.М., Звездинов Н.В.* Селективные свойства микрополосковых секций на двух сонаправленных шпилечных резонаторах с неуравновешенными электромагнитными связями // *Антенны*. – 2016. №2. С. 76-82.