

**ВЫСОКОИЗБИРАТЕЛЬНЫЕ ФИЛЬТРЫ В БАЗИСЕ
РАСПРЕДЕЛЕННО-СОСРЕДОТОЧЕННЫХ СТРУКТУР С ДОМИНИРУЮЩИМИ
МАГНИТНЫМИ СВЯЗЯМИ МЕЖДУ СМЕЖНЫМИ РЕЗОНАТОРАМИ**

© 2017 г. О.В. АРИНИН, Г.М. АРИСТАРХОВ

Московский технический университет связи и информатики
e-mail: g.aristarkhov2010@yandex.ru, bishounen99@gmail.com

В настоящее время значительное внимание уделяется разработке СВЧ и СВЧ элементов в базе распределенно-сосредоточенных цепей, как обеспечивающих существенное уменьшение габаритов радиоэлектронных устройств различного функционального назначения. Распределенно-сосредоточенные цепи также составляют основу создания миниатюрных фильтров, изготавливаемых в рамках как стандартных тонкопленочных технологий, так и по технологии низкотемпературной совместно обжигаемой керамики (LTCC) [1,2]. Схемотехническую основу таких фильтров составляют гребенчатые структуры и Y-звенья, нагруженные на укорачивающие дискретные или пленочные конденсаторы. В этих структурах возможно формирование при определенных условиях полюсов рабочего затухания на конечных частотах, что обеспечивает повышенную их частотную избирательность [3,4]. Однако реализация на их основе фильтров высокого порядка приводит к существенному усложнению конструкций, так как требует дополнительных мер по устранению паразитных электромагнитных связей между звеньями.

В докладе исследуются новые компактные схемы высокоизбирательных СВЧ фильтров в базе распределенно-сосредоточенных цепей с доминирующими магнитными связями между резонаторами, в которых проблема обеспечения электромагнитной совместимости звеньев не возникает в принципе, так как фильтры представляют собой единую многопроводную структуру. При этом полюсы рабочего затухания формируются без организации дополнительных электромагнитных связей между несмежными резонаторами, что существенно упрощает топологию структуры.

На рис. 1 представлена симметричная схема четырехрезонаторного фильтра, в котором свободные концы резонаторов нагружены на укорачивающие конденсаторы C1 и C2. Два центральных резонатора образуют Y-звено, которое возбуждается входным и выходным резонаторами посредством магнитной связи, степень которой определяется расстоянием S01 между ними. Показано, что в этой структуре формируется два полюса рабочего затухания, расположение которых на частотной оси определяется заданием параметров элементов схемы (табл. 1). Один из полюсов рабочего затухания формируется Y-звеном, а второй общим электромагнитным взаимодействием между всеми резонаторами. На рис 2-4 представлены результаты численного электродинамического 3D-моделирования структуры в различных режимах ее работы. При этом, реализуется симметричная амплитудно-частотная характеристика (рис. 2, а), когда один из полюсов затухания располагается в области нижних, а второй в области верхних частот вблизи полосы пропускания. Такое расположение полюсов затухания обеспечивает коэффициент прямоугольности рабочего затухания, определяемый по уровням минус 3 дБ и минус 40 дБ, равный 2. Следует отметить, что в этой структуре обеспечивается разрядка спектра паразитных полос пропускания вплоть до 10-ой гармоники (рис 2, б). В случае повышенной односторонней частотной избирательности, когда оба полюса затухания формируются в одной из полос заграждения (рис. 3, 4),

достижимый односторонний коэффициент прямоугольности, определяемый по уровням минус 3 дБ и минус 50 дБ, составляет менее 2.

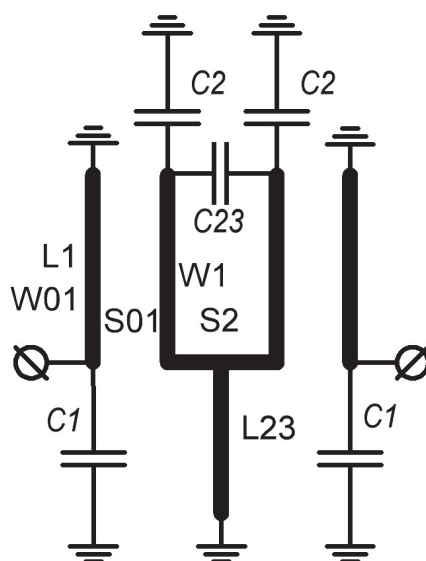


Рис. 1. Схема четырехрезонаторного фильтра.

Таблица 1

Параметры элементов структуры для разных режимов ее работы

Параметр элемента	Вид АЧХ		
	Симметричная	С повышенной односторонней частотной избирательностью	
		рис. 2	рис. 3
L1, мм	6,83	4,61	4,17
W01 / S01, мм	1,59 / 0,45	0,5 / 0,26	0,5 / 0,54
W1 / S2, мм	1,12 / 2,84	1,97 / 2	1,33 / 0,15
C1 / C2, пФ	16,5 / 6,92	13,53 / 8,04	14,92 / 21,75
L23 / W23, мм	2,58 / 1,89	5,9 / 1,92	0
C23, пФ	4,46	10,1	4,5

Анализ табл. 1 показывает, что расположение полюсов затухания относительно полосы пропускания определяется в основном четырьмя параметрами структуры: S01, S2, L23 и C23. Если принять за основу структуру, у которой оба полюса затухания располагаются в области нижних частот (рис. 3), то их формирование в области верхних частот достигается усилением магнитной связи между плечами Y-звена (S2↓), уменьшением магнитной связи входного и выходного резонаторов (S01↑), а также уменьшением длины отрезка L23 и электрической связи между плечами Y-звена (C23↓).

В свою очередь, для формирования структуры с симметричной амплитудно-частотной характеристикой необходимо переместить только один полюс затухания в область верхних частот, что может быть достигнуто за счет уменьшения магнитной связи входного и выходного резонаторов (S01↑), длины отрезка L23 и электрической связи между плечами Y-звена (C23↓).

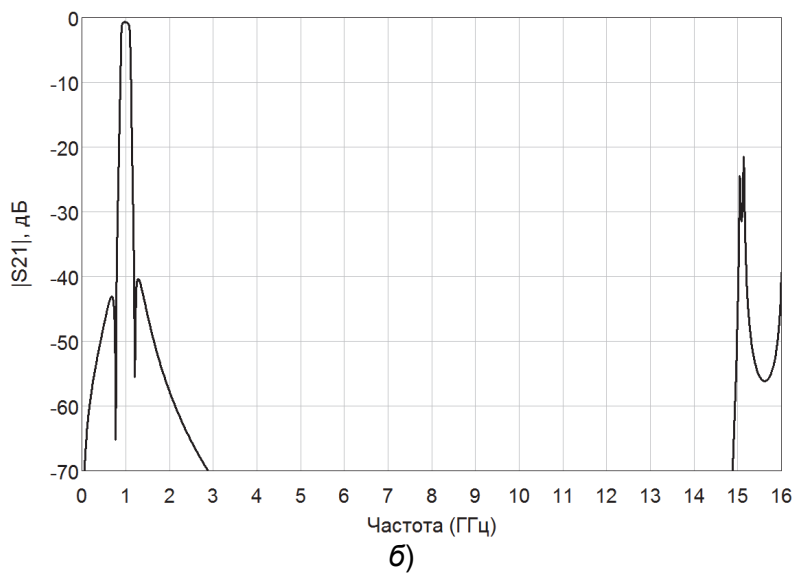
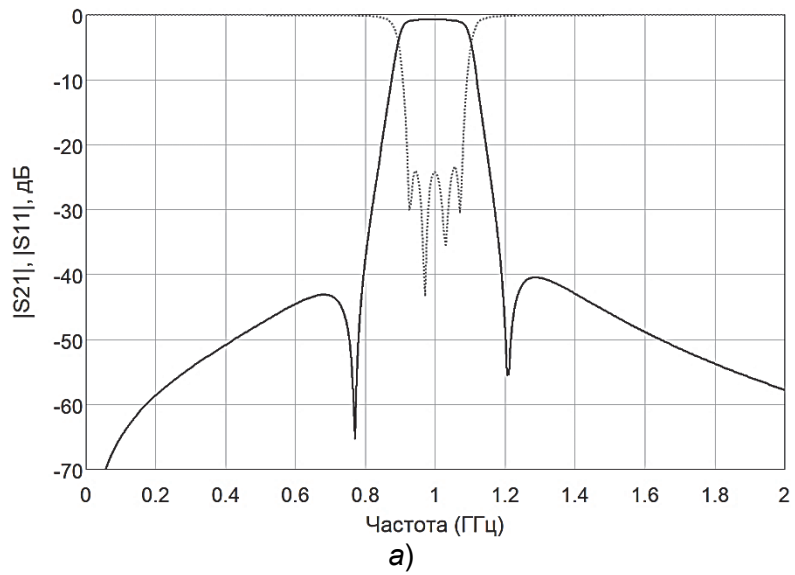


Рис. 2. Рабочее затухание фильтра с симметричной АЧХ:
 а) в узкой полосе обзора; б) в широкой полосе обзора.

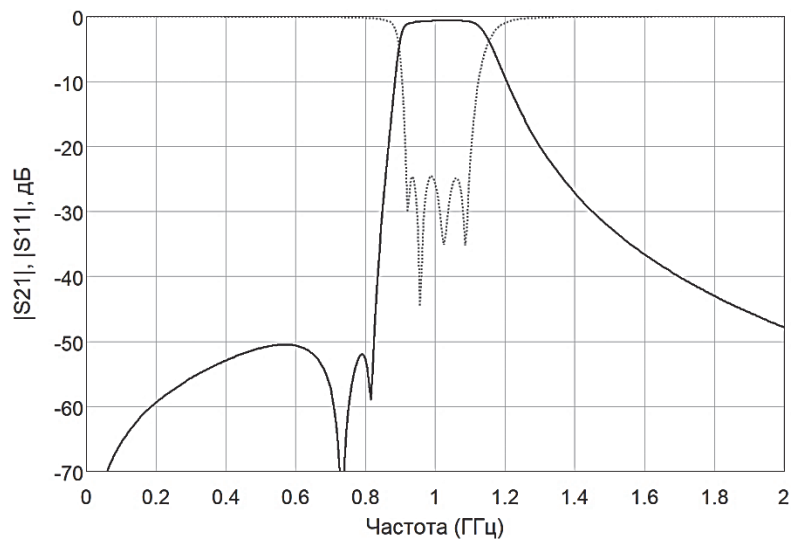


Рис. 3. Рабочее затухание фильтра с повышенной частотной избирательностью в области нижних частот.

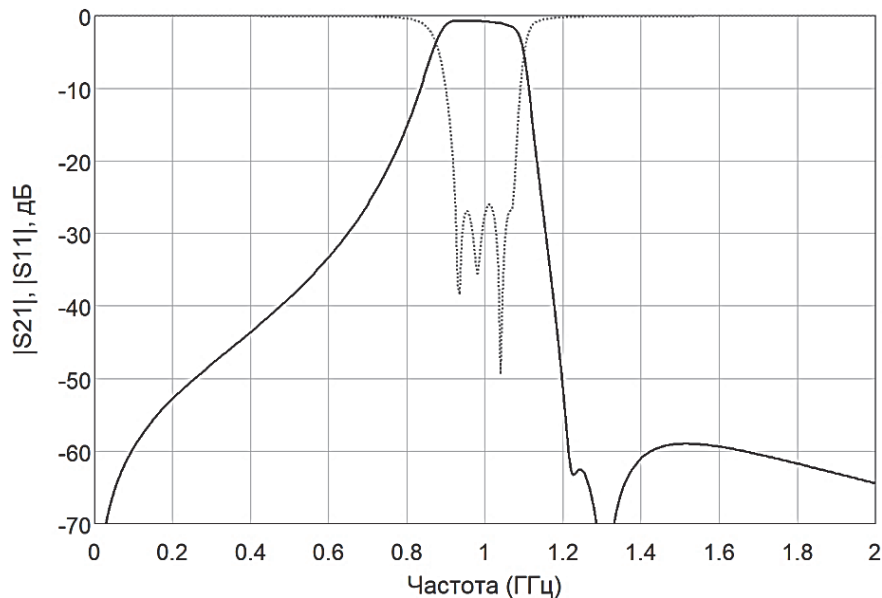


Рис. 4. Рабочее затухание фильтра с повышенной частотной избирательностью в области верхних частот.

Таким образом, в данной работе показана возможность реализации компактных высокоизбирательных четырехрезонаторных фильтров в базе распределенно-сосредоточенных цепей с доминирующими магнитными связями между резонаторами, с различными типами частотных характеристик, обеспечивающих уровень затухания не менее 40 дБ при коэффициенте прямоугольности рабочего затухания не более 2 и в которых не требуется дополнительных мер по обеспечению электромагнитной совместимости звеньев и организации дополнительных параллельных электромагнитных связей между несмежными резонаторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вендик И.Б., Холодняк Д.В., Симин А. Многослойные интегральные схемы сверхвысоких частот на основе керамики с низкой температурой обжига // Компоненты и технологии. 2005. № 5.
2. Kuang K., Kim F., Cahill S.S. RF and Microwave Microelectronics Packaging, - NY: Springer, 2010. – 284.
3. Аристархов Г.М., Арсенин А.В. Сверхминиатюрные высокоизбирательные фильтры СВЧ в базе распределенно-сосредоточенных структур // Антенны, 2007. Вып. 7 (122). С.49-58.
4. 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.