

**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ВЫСОКОИЗБИРАТЕЛЬНЫХ
МИКРОПОЛОСКОВЫХ ФИЛЬТРОВ НА ОСНОВЕ СТРУКТУР С ПРЕДЕЛЬНО
МИНИМАЛЬНЫМ ЧИСЛОМ РЕЗОНАТОРОВ**

© 2016 г. Н.В. ЗВЕЗДИНОВ, И.Н. КИРИЛЛОВ

Московский технический университет связи и информатики

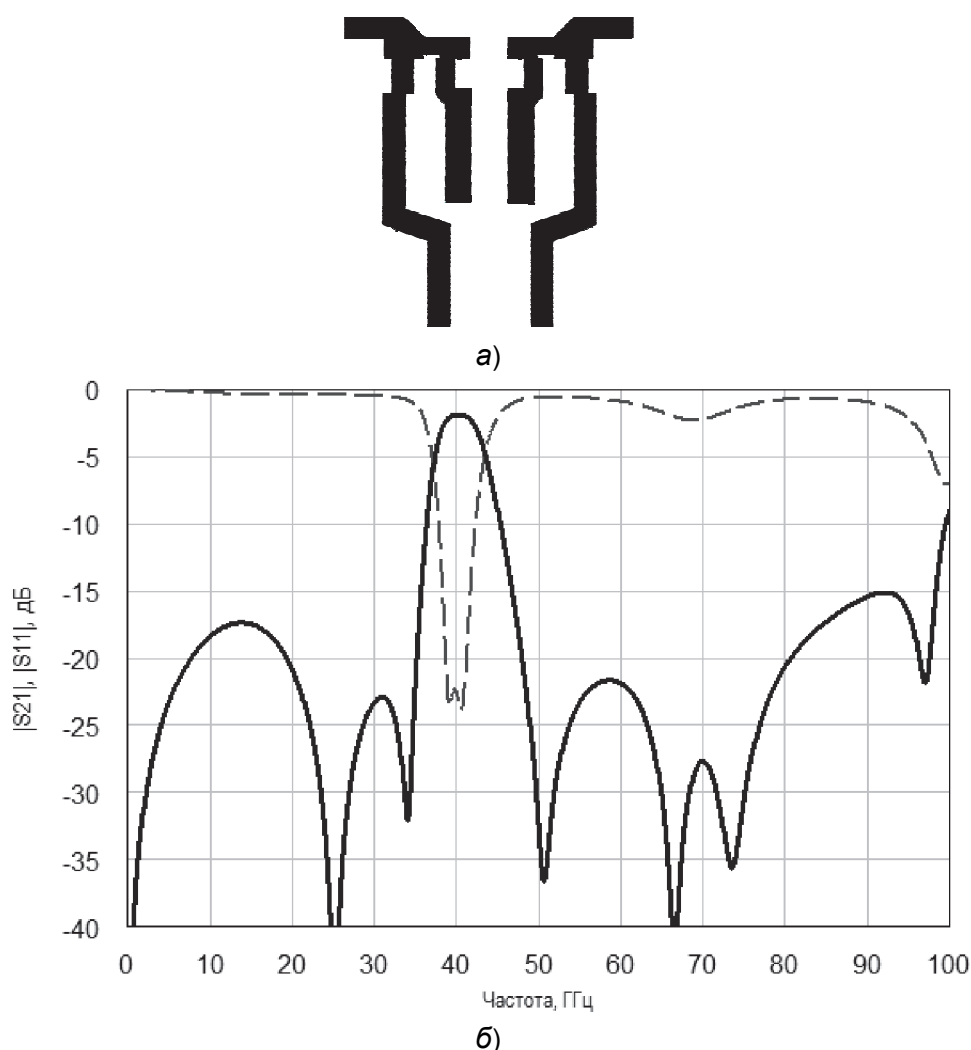


Рис. 1. Двухрезонаторный МПФ (а) и частотные зависимости его S-параметров (б).

Микрополосковые фильтры (МПФ) находят самое широкое применение в технике СВЧ, что обусловлено их совместимостью с технологиями создания гибридных и монокристаллических интегральных схем. Вместе с тем общая тенденция к существенному уменьшению массо-габаритных показателей радиоэлектронных средств различного функционального назначения приводит к необходимости поиска более компактных структур МПФ, которые одновременно должны обеспечивать высокую частотную избирательность и низкий уровень потерь в полосе пропускания. Сочетание этих качеств

оказалось исключительно сложной проблемой, т.к. традиционные решения подошли к границам предельных значений физической реализуемости. Особенно остро эта проблема проявляется в микрополосковых структурах с повышением диапазона их рабочих частот, т.к. в них возможно возбуждение волн высших типов. Как известно, реализация одномодового режима достигается уменьшением толщины подложек и их относительной диэлектрической проницаемости. Однако с уменьшением толщины подложки существенно растут потери в микрополосковых линиях (МПЛ), что, в свою очередь, обуславливает низкую предельную частотную избирательность МПФ, которая в этом случае наступает при трех - четырех резонаторах в их структуре [1]. Дальнейшее увеличение числа резонаторов с целью повышения частотной избирательности МПФ становится бессмысленным. Представляется, что решение этой задачи возможно за счет применения базовых одно- или двухрезонаторных секций, в которых возможно формирование значительного числа полюсов рабочего затухания на конечных частотах [2, 3], в несколько раз превышающего количество резонаторов в структуре.

В данной работе этот подход к созданию высокоизбирательных фильтров на основе структур с минимальным числом резонаторов развивается применительно к реализации МПФ в диапазоне 20 - 40 ГГц, выполненных на подложках малой толщины с различными значениями относительной диэлектрической проницаемости.

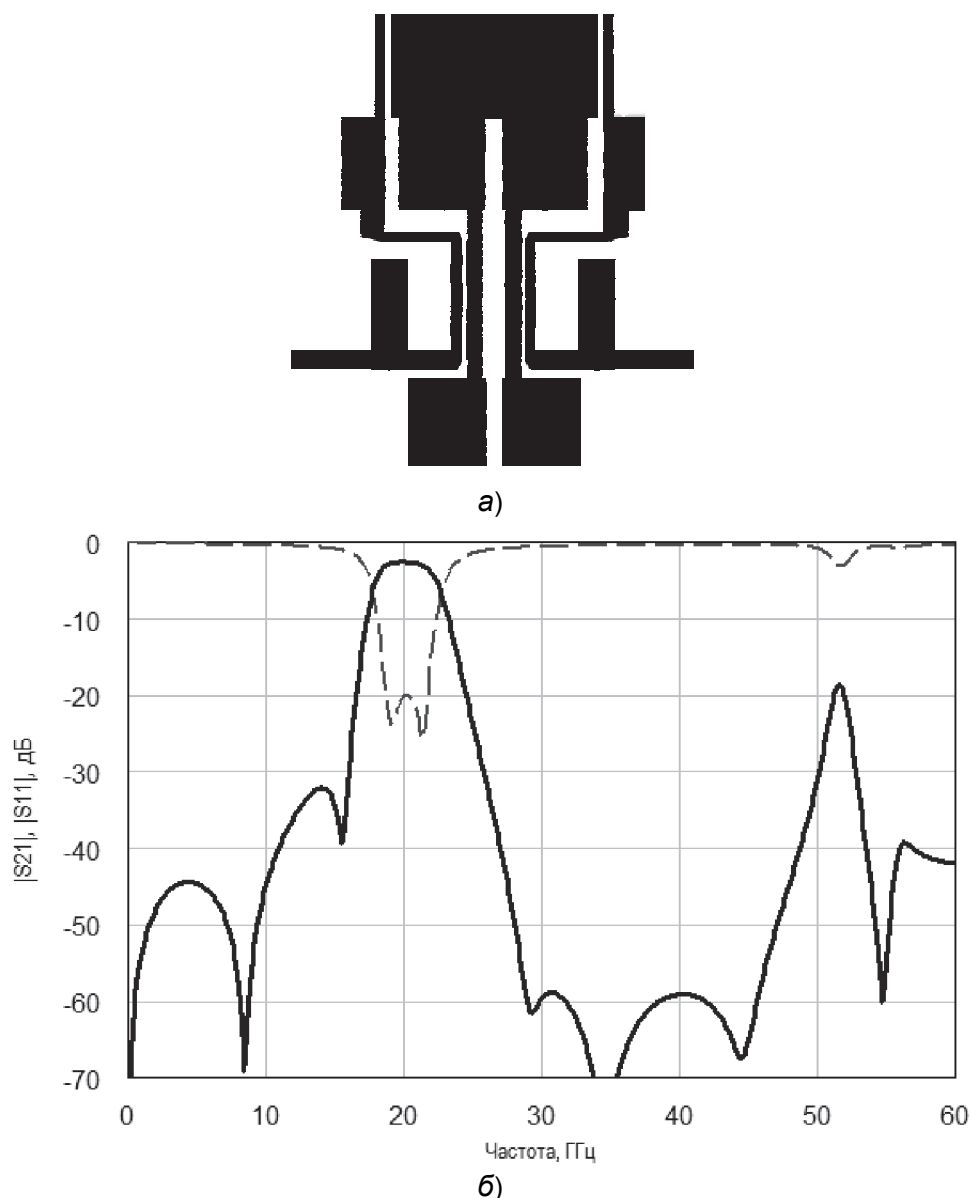


Рис. 2. Однорезонаторный МПФ (а) и частотные зависимости его S-параметров (б).

На рис. 1, а представлена топология МПФ на двух связанных сонаправленных полуволновых шпилечных резонаторах, в котором реализуется прием «рокировки» полюсов рабочего затухания [2]. В результате оптимизации электромагнитного взаимодействия между всеми элементами этой топологии синтезирована структура, представляющая собой систему из четырех связанных линий, в которой можно выделить две области с доминирующими магнитной и электрической связями. Центральная решетчатая секция с преобладающей электрической связью между ее МПЛ формирует в области верхних частот ближайший к полосе пропускания (ПП) полюс рабочего затухания. Уменьшая электрическую связь на свободных концах линий в этой секции, происходит перемещение этого полюса по частоте ближе к ПП, что повышает крутизну амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) фильтра в области верхних частот. Согласующие Т-сочленения формируют полюсы рабочего затухания в области нижних частот и два полюса затухания в области второй гармоники. Расщепление этих полюсов рабочего затухания достигается реализацией доминирующей магнитной связи между плечами каждого из резонаторов, что позволяет повысить крутизну АЧХ фильтра в области нижних частот. Относительная диэлектрическая проницаемость подложки с толщиной $H=0.25$ мм составляет 8.9. Максимальная ширина МПЛ структуры равна 0.13 мм, а минимальная - 0.06 мм. Минимальное расстояние между МПЛ равно $S=0.06$ мм. Площадь подложки, которую занимает данная структура, составляет 1.1×1.2 мм. Частотная характеристика фильтра с относительной шириной ПП 6% приведена на рис. 1, б.

На рис. 2, а представлена топология однорезонаторного МПФ на нерегулярных отрезках связанных МПЛ, в котором реализуется эффект смыкания основной и «паразитной» полос пропускания [3]. В результате выбора определенного электромагнитного взаимодействия на разных участках длины связанных МПЛ синтезирована структура МПФ, которая обеспечивает повышенную частотную избирательность при том же числе МПЛ в структуре. Необходимым условием формирования пяти полюсов рабочего затухания на конечных частотах является повышенная степень электромагнитного взаимодействия между плечами резонатора.

Количество нулей рабочего затухания в ПП равно четырем, и они попарно совмещены. Относительная диэлектрическая проницаемость подложки с толщиной $H=0.1$ мм составляет 12.3. Максимальная ширина МПЛ структуры равна 0.34 мм, а минимальная - 0.03 мм. Минимальное расстояние между МПЛ равно $S=0.02$ мм. Площадь подложки, которую занимает данная структура, составляет 1.8×1.7 мм. Частотная характеристика фильтра с относительной шириной ПП 15% приведена на рис. 2, б.

Таким образом, в данной работе показана возможность создания компактных высокоизбирательных микрополосковых фильтров в сантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн на основе структур с предельно минимальным числом резонаторов, реализуемых на тонких подложках с толщиной 0.1 и 0.25 мм. Геометрические размеры элементов топологий фильтров реализуемы в рамках технологий создания гибридных и монолитных интегральных схем СВЧ. При этом синтезированные структуры фильтров высокотехнологичны, так как в них отсутствуют коротко замыкающие на землю элементы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мазепова О.И., Мещанов В.П., Прохорова Н.И. и др., Справочник по элементам полосковой техники / Под ред. А.Л. Фельдштейна. – М.: Связь, 1979. – 336 с.
2. Аристархов Г.М., Звездинов Н.В. Селективные свойства микрополосковой секции на двух сонаправленных шпилечных резонаторах с неуравновешенными электромагнитными связями // Антенны. 2016. № 2. с. 76-82.
3. Аристархов Г.М., Звездинов Н.В. Высокоизбирательные микрополосковые базовые ячейки и фильтры на их основе // Труды 26-й Международной Крымской конференции «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо' 2016). Севастополь. 4 - 10 сентября 2016. Т.6. с. 1222-1228.