

Высокоизбирательные микрополосковые фильтры на основе структур с предельно минимальным числом сонаправленных шпилечных резонаторов

¹Аристархов Г.М., ²Звездинов Н.В.

Московский технический университет связи и информатики
г. Москва, 111024, Российская Федерация

¹g.aristarkhov2010@yandex.ru

²nikitazvezdinov@mail.ru

***Аннотация:** Исследованы принципы построения высокоизбирательных микрополосковых фильтров на основе трехрезонаторных структур, в которых реализован прием «рокировки» полюсов рабочего затухания. Определены условия формирования в этих структурах не менее шести полюсов рабочего затухания на конечных частотах, что в два раза превышает их количество в ранее известных фильтрах. Установлено, что в этих структурах возможна одновременная разрядка спектра паразитных полос пропускания. Приводятся результаты численного электродинамического 3D моделирования структур в диапазоне частот от 1 до 40 ГГц.*

Ключевые слова: микрополосковый фильтр, сонаправленные шпилечные резонаторы, нули и полюсы рабочего затухания, прием «рокировки» полюсов затухания.

1. Введение

Микрополосковые фильтры (МПФ) на полуволновых шпилечных резонаторах находят широкое применение в технике СВЧ, т.к. являются одними из наиболее компактных структур и не содержат короткозамкнутых на экран элементов, что определяет их высокую технологичность. Кроме того, в этих структурах формируются полюсы рабочего затухания на конечных частотах, которые существенно повышают избирательность фильтров. К таким структурам относятся фильтры на сонаправленных шпилечных резонаторах [1-2] и фильтры с дополнительными электромагнитными связями между несмежными резонаторами [3,4]. Следует отметить, что в МПФ на сонаправленных шпилечных резонаторах формируется при том же числе резонаторов N наибольшее количество полюсов рабочего затухания $N+1$. Очевидно, что дальнейшее повышение избирательно-

сти этих структур возможно только путем увеличения числа резонаторов. Однако при ограниченной собственной добротности резонаторов увеличение их числа больше некоторого значения не имеет смысла, т.к. это обуславливает повышение потерь в полосе пропускания МПФ и увеличение их габаритов, а крутизна частотной характеристики в переходной области не повышается [5].

Наиболее остро эта проблема проявляется в миллиметровом диапазоне, где возможно возбуждение в микрополосковых структурах волн высших типов. Обеспечение одномодового режима в этих структурах достигается, как известно, уменьшением толщины подложек ($H \leq 0,25$ мм), что сопряжено однако со значительным снижением собственной добротности микрополосковых резонаторов. При этом предельная частотная избирательность МПФ наступает уже при существенно меньшем числе резонаторов $N \leq 4$.

Разрешить это противоречие в реализации высокой избирательности МПФ при ограниченном числе резонаторов возможно за счет существенного увеличения числа формируемых в структурах полюсов рабочего затухания. В работах [6,7] синтезированы такие одно- и двухрезонаторные звенья, обладающие свойствами многорезонаторных СВЧ цепей.

В данном докладе этот подход к проектированию высокоизбирательных МПФ с существенно ограниченным числом резонаторов развивается на примере трехрезонаторных структур применительно к построению фильтров более высокого порядка.

2. Базовые структуры и их принцип действия

Схемотехническую основу рассматриваемых трехрезонаторных МПФ составляет шестипроводная система связанных микрополосковых линий (МПЛ), на основе которой сформировано три сонаправленных полуволновых шпилечных резонатора (рис. 1), электромагнитно взаимодействующих по всей длине.

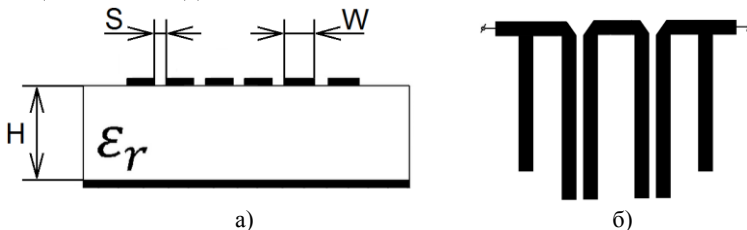


Рис. 1. Структура (а) и топология (б) трехрезонаторного МПФ

В этой полосно-пропускающей структуре можно выделить две центральные четвертьволновые решетчатые секции и два Т-сочленения, выполняющих функцию трансформаторов сопротивлений. Каждый из этих элементов формирует полюс рабочего затухания на конечных частотах. В зависимости от выбора электродинамических параметров структуры возможно различное распределение этих полюсов затухания на частотной оси. Рассмотрим два из них. В первом случае (рис. 2) полюсы затухания, формируемые решетчатыми секциями, располагаются в области нижних частот. При этом доминирующей связью между МПЛ каждой из решетчатых секций является магнитная связь. Расщепление этих полюсов затухания также обеспечивается преобладающей магнитной связью между плечами центрального резонатора.

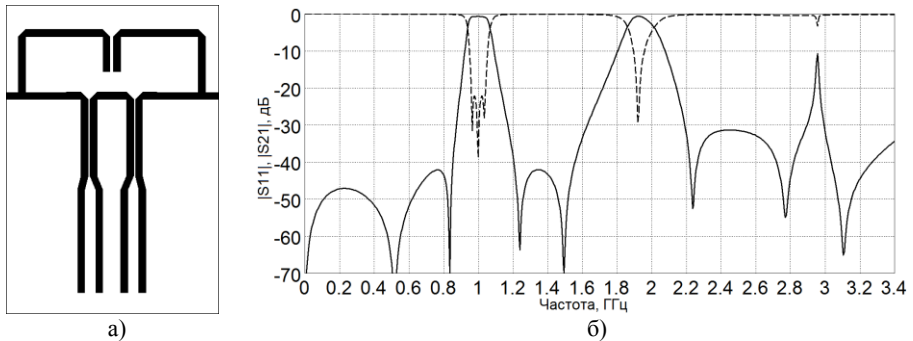


Рис. 2. Топология (а) и частотные зависимости S – параметров (б) трехрезонаторного МПФ

Т-сочленения формируют полюсы затухания в области верхних частот и их расщепление обеспечивается преобладающей электрической связью между шлейфами. Таким образом, в этой структуре формируется четыре основных полюса рабочего затухания.

Осуществим «рокировку» этих полюсов рабочего затухания так, чтобы Т-сочленения формировали полюсы затухания в области нижних, а решетчатые секции – в области верхних частот (рис. 3). Этот режим работы МПФ обеспечивается за счет смены доминирующих электромагнитных связей в структуре. Так, расщепление полюсов затухания, формируемых Т-сочленениями, достигается в этом случае реализацией доминирующей не электрической, а магнитной связи между плечами каждого из крайних резонаторов. Расщепление полюсов рабочего затухания, формируемых решетчатыми секциями, достигается электрической связью между ними.

Кроме того, в центральный резонатор включен дополнительный короткий шлейф, обеспечивающий формирование еще одного полюса затухания в области второй гармоники.

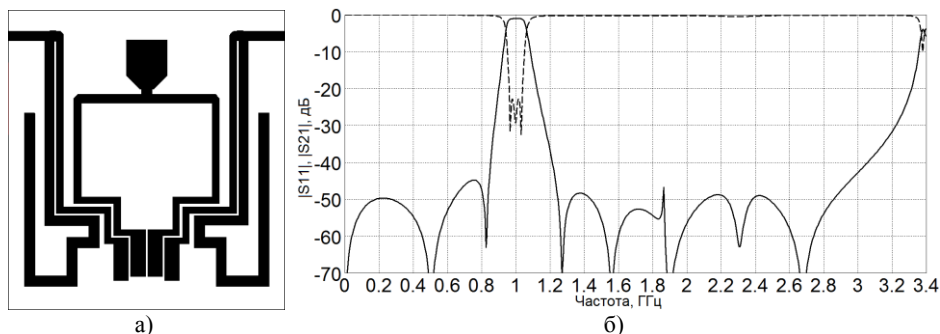


Рис. 3. Трехрезонаторный МПФ с «рокировкой» полюсов затухания (а) и частотные зависимости его S – параметров (б)

Таким образом, в этом модифицированном трехрезонаторном МПФ возможно формирование не четырех, а семи полюсов рабочего затухания, что обеспечивает при прочих равных условиях более высокую его частотную избирательность и разрядку спектра паразитных полос пропускания.

Электродинамическое моделирование рассмотренных выше обеих структур осуществлено при условии их реализации а подложке толщиной $H = 1$ мм с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 10,6$.

3. МПФ миллиметрового диапазона

В миллиметровом диапазоне применяются с целью предотвращения возбуждения в микрополосковых структурах волн высших типов подложки толщиной $H = 0,25 - 0,5$ мм. Рассмотрим особенности физической реализации трехрезонаторных МПФ с «рокировкой» полюсов рабочего затухания. На рис. 4 представлены результаты численного электродинамического 3D моделирования МПФ, реализуемого на подложке толщиной 0,25 мм с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 9,8$. Расстояние от подложки до крышки принималось равным 2мм.

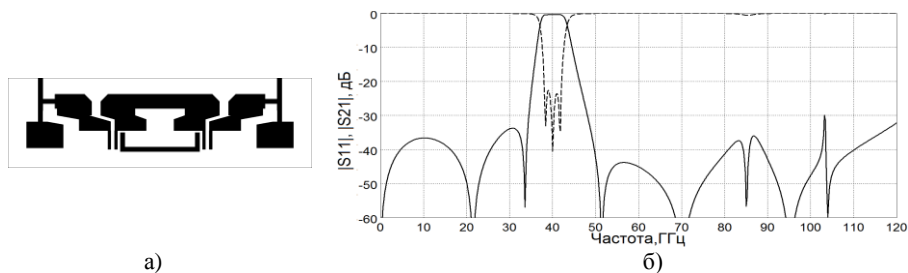


Рис. 4. МПФ с «рокировкой» полюсов затухания (а) и частотные зависимости его S – параметров (б) в миллиметровом диапазоне

4. Заключение

В трехрезонаторных структурах МПФ на полуволновых сонаправленных шпилечных резонаторах возможно формирование более шести полюсов рабочего затухания на конечных частотах, что определяет при прочих равных условиях их повышенную частотную избирательность и более высокую компактность. Это достигается за счет совместного использования эффекта неравенства фазовых скоростей нормальных волн в многопроводных системах связанных МПЛ, приема «рокировки» полюсов рабочего затухания, а также задания определенной степени неуравновешенности электромагнитных связей на разных участках длины смежных МПЛ.

Список литературы

- [1] Аристархов Г.М., Чернышев В.П. Косвенный синтез микрополосковых фильтров на сонаправленных шпилечных резонаторах с полюсами затухания на конечных частотах // Радиотехника и электроника. 1987. Т. 32. № 6. С. 1168-1175.
- [2] 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.
- [3] Lancaster J. M., Hong J.-S. Theory and experiment of novel microstrip slow-wave open-loop resonator filters // IEEE Trans. MTT. 1997. V. 45. № 12. P. 2358-2365.
- [4] Захаров А.В., Ильченко М.Е., Трубаров И.В. Планные трехрезонаторные полосно-пропускающие фильтры с перекрестными связями // Радиотехника и электроника. 2017. Т. 62. №2. С. 187-195
- [5] Справочник по элементам полосковой техники // Мазепова О.И., Мещанов В.П., Прохорова Н.И. и др., Под ред. А.Л. Фельдштейна. –М.: Связь. 1979. -336с.
- [6] 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.
- [7] Аристархов Г.М., Звездинов Н.В. Высокоизбирательные одно- и двухрезонаторные микрополосковые фильтры // Радиотехника и электроника. 2017. Т. 62. № 8. С. 819-824.