
ВЫСОКОИЗБИРАТЕЛЬНЫЕ МИКРОПОЛОСКОВЫЕ ФИЛЬТРЫ НА ОСНОВЕ СТРУКТУР С ПРЕДЕЛЬНО МИНИМАЛЬНЫМ ЧИСЛОМ РЕЗОНАТОРОВ

проф., д.т.н. Аристархов Г.М., асп. Звездинов Н.В.

Московский технический университет связи и информатики

Рассмотрены вопросы повышения эффективности микроволновых устройств частотной селекции за счет применения новых компактных микрополосковых структур, обладающих повышенной частотной избирательностью. Определены условия формирования в одно- и двухрезонаторных структурах значительного числа полюсов рабочего затухания, в несколько раз превышающего количество резонаторов СВЧ цепи. Приведены результаты численного электродинамического 3D моделирования компактных высокоизбирательных микрополосковых фильтров на основе одно- и двухрезонаторных структур с различной относительной шириной полосы пропускания (от 2 до 40%).

Как известно, повышение частотной избирательности микрополосковых фильтров (МПФ) при ограниченном числе резонаторов достигается формированием полюсов рабочего затухания на конечных частотах. При этом число этих полюсов рабочего затухания и их расположение на частотной оси определяют как крутизну рабочего затухания фильтра в его переходных областях, так и уровни затухания в заданных полосах заграждения. Известно несколько подходов к решению этой задачи в многорезонаторных структурах, в которых, однако, возможно формирование весьма ограниченного числа полюсов затухания. Обычно их количество не превышает числа резонаторов в структуре [1-4].

Целью данной работы является исследование принципов построения высокоизбирательных микрополосковых фильтров в рамках одно- и двухрезонаторных структур, в которых непосредственно возможно формирование при определенных условиях значительного числа полюсов затухания на конечных частотах, в несколько раз превышающего количество резонаторов.

Схемотехническую основу рассматриваемых структур составляют четырех- и шестипроводные системы связанных четвертьволновых микрополосковых линий (МПЛ) с определенными краевыми условиями на их концах, которые определяют число полуволновых шпилечных резонаторов в структуре (рисунок 1). При этом исключаются условия короткого замыкания резонаторов на экран, что обеспечивает высокую технологичность структур.

При традиционном применении этих схем их селективные возможности весьма ограничены. Так, в однорезонаторной структуре (рисунок 1,а) вообще не формируются полюсы рабочего затухания на конечных частотах, в двухрезонаторной структуре, представленной на рисунке 1,б, потенциально возможно формирование трех полюсов рабочего затухания, а в шестипроводной двухрезонаторной структуре (рисунок 1,в) – только одного полюса затухания.

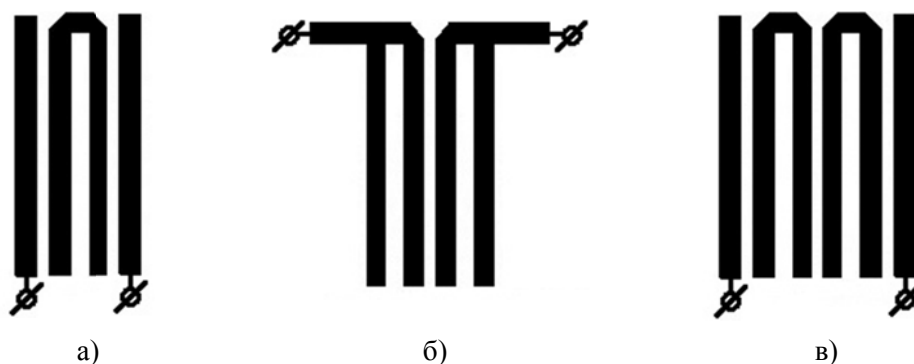


Рисунок 1. Типовые структуры базовых ячеек МПФ

Принципиально новые возможности в создании высокоизбирательных МПФ на основе этих структур открываются в связи с обеспечением в них определенных условий для формирования значительного числа полюсов рабочего затухания на конечных частотах [5-7]. Суть подхода заключается в совместном рациональном использовании волновых особенностей систем связанных МПЛ и некоторых схмотехнических способов управления ими. К особенностям следует отнести: эффект неравенства фазовых скоростей нормальных волн в системах связанных МПЛ с неоднородным магнитоэлектриком. Эффект смыкания основной и паразитной полос пропускания за счет применения нерегулярных отрезков МПЛ; формирование и расщепление полюсов рабочего затухания за счет реализации определенной степени неуравновешенности электромагнитных связей на разных участках длины структуры, а также схмотехнического приема «рокировки» полюсов затухания. Результаты синтеза и численного электродинамического 3D моделирования этих структур с различными относительными полосами пропускания представлены на рисунках 2-4. В узкополосном двухрезонаторном МПФ (рисунок 2) с доминирующей магнитной связью между плечами каждого из полуволновых резонаторов и доминирующей электрической связью между резонаторами (центральная четвертьволновая решетчатая секция) формируется более шести полюсов затухания на конечных частотах. Плотно «упакованная» Структура МПФ реализуется на подложке толщиной $H=1\text{мм}$ с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r=10,6$. Минимальное расстояние между МПЛ $S=0,15\text{мм}$. Приведенное распределение полюсов рабочего затухания на частотной оси достигается приемом их «рокировки», при котором полюсы затухания, формируемые входными шлейфами, располагаются в области нижних частот, а полюсы затухания, формируемые решетчатой секцией, - в области верхних частот.

В однорезонаторной структуре, представленной на рисунке 3, также формируется шесть полюсов рабочего затухания на конечных частотах. Это достигается усилением магнитной связи между плечами

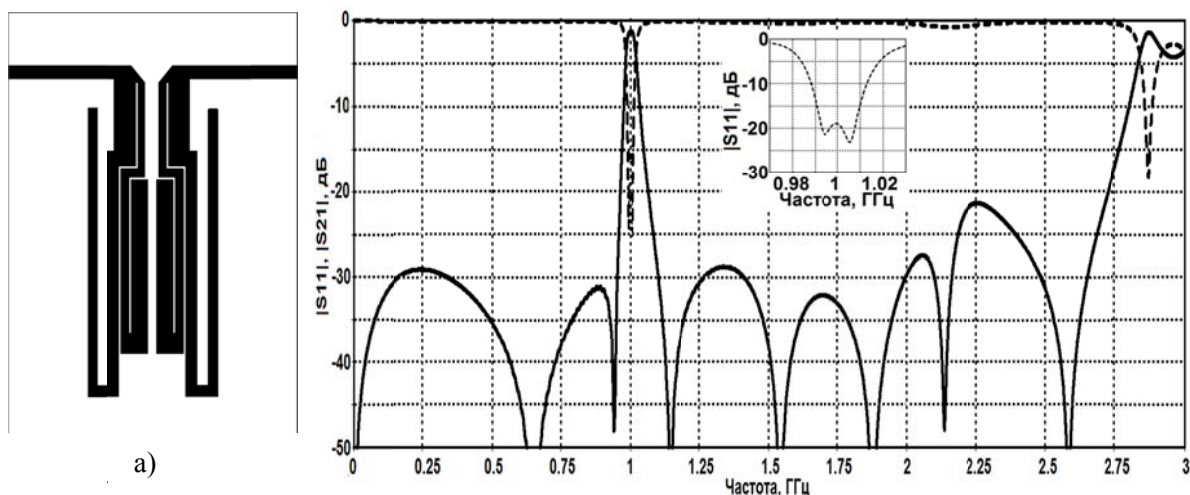


Рисунок 2. Двухрезонаторная структура МПФ с «рокировкой» полюсов рабочего затухания

резонатора и реализацией эффекта смыкания основной и паразитной полос пропускания за счет применения нерегулярных отрезков МПЛ. Отличительной особенностью однорезонаторной структуры является формирование четырех нулей рабочего затухания и повышенный уровень затухания в полосах заграждения, что совершенно не характерно для традиционных однорезонаторных СВЧ цепей.

В двухрезонаторной шестипроводной структуре (рисунок 4) также формируется шесть полюсов рабочего затухания. При незначительном увеличении порядка этой СВЧ цепи существенно расширяется полоса пропускания. Шесть нулей затухания в полосе пропускания также получены за счет использования эффекта «смыкания» основной и паразитной полос пропускания вследствие применения нерегулярных отрезков связанных четвертьволновых МПЛ. Расщепление полюсов рабочего затухания в области нижних частот достигается за счет реализации условия преобладающей магнитной связи в структуре, а в области верхних частот – введением незначительной электрической связи в верхней части структуры МПФ за счет включения дополнительного отрезка между крайними МПЛ.

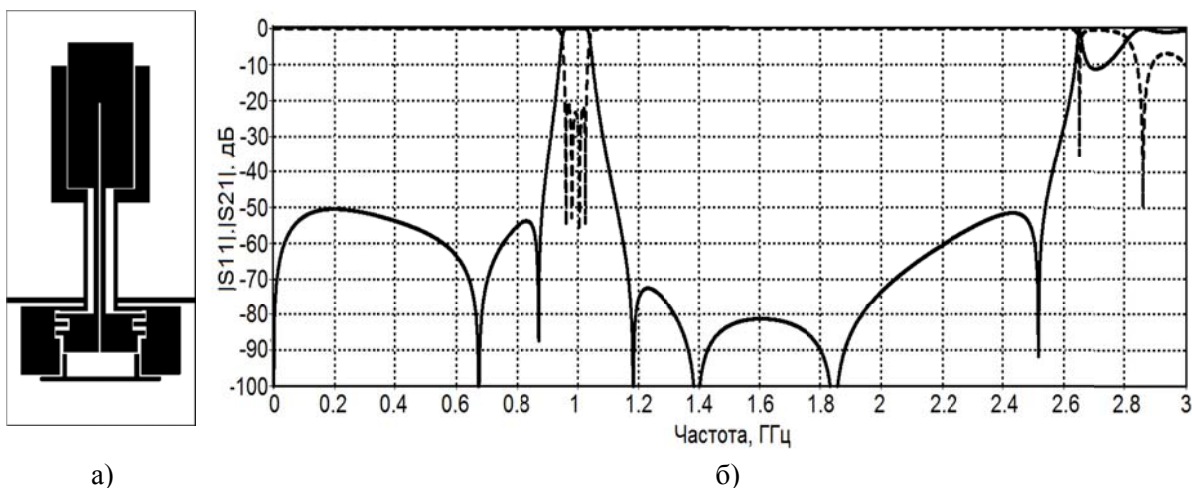


Рисунок 3. Однорезонаторный МПФ с совмещенными полосами пропускания

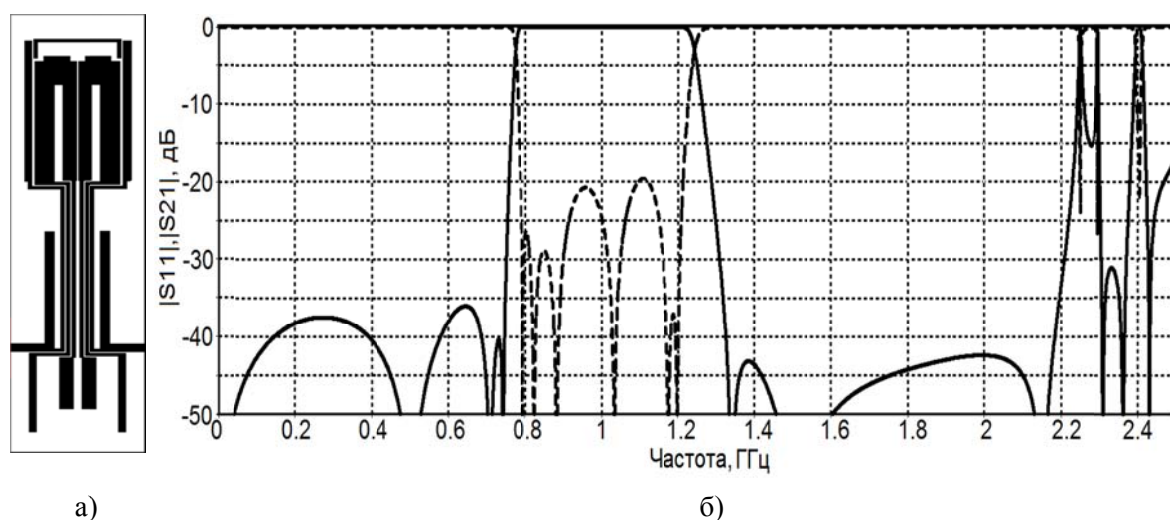


Рисунок 4. Двухрезонаторный МПФ с расширенной полосой пропускания

Таким образом, рассмотренные структуры с предельно минимальным числом резонаторов обладают свойствами многорезонаторных цепей и на их основе возможна реализация как узкополосных, так и широкополосных высокоизбирательных МПФ.

Литература

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. 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.
3. Беляев Б.А., Ходенков С.А., Борисенков Д.В. Исследование микрополосковых широкополосных фильтров на резонаторе с полосковым проводником в форме нерегулярного меандра // Материалы международной НТК «Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП-2014)». г. Новосибирск. 2014. Т. 1. С. 264-267.
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 микрополосковой секции на двух сонаправленных шпилечных резонаторах с неуравновешенными электромагнитными связями // Антенны. 2016. №2. С. 76-82.
6. 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-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2012. Т. 6. № 4. С. 42-44.
7. 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-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2012. Т. 6. № 5. С. 38-40.