

ПОЛОСКОВЫЕ ФИЛЬТРЫ СВЧ С ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТНОЙ ИЗБИРАТЕЛЬНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ ВСТРЕЧНО-ГРЕБЕНЧАТЫХ СТРУКТУР

Аристархов Григорий Маркович,

Московский технический университет связи и информатики, кафедра «Электроника», Москва, Россия,
g.aristarkhov2010@yandex.ru

Аринин Олег Вячеславович,

Московский технический университет связи и информатики, кафедра «Электроника», Москва, Россия

Ивичев Максим Павлович,

Московский технический университет связи и информатики, кафедра «Электроника», Москва, Россия

Аннотация

Рассматриваются особенности создания компактных высокоизбирательных полосковых фильтров на основе встречно-гребенчатых структур с ограниченным числом резонаторов. Исследуются селективные свойства базовых двухрезонаторных встречно-гребенчатых полосковых структур. Показано, что в таких структурах возможно формирование значительного числа полюсов рабочего затухания на конечных частотах. Продемонстрированы возможности реализации на основе данных структур четырехрезонаторных полосковых фильтров с дополнительной гальванической связью между смежными резонаторами, обладающих повышенной частотной избирательностью без введения электромагнитных связей между несмежными резонаторами.

Ключевые слова

Полосковые фильтры, гребенчатые секции, полюсы затухания, электромагнитная и гальваническая связи

I. ВВЕДЕНИЕ

Полосковые фильтры на основе гребенчатых и встречно-стержневых структур находят широкое применение в технике СВЧ, так как они обладают наибольшей компактностью [1]. Традиционно повышение их частотной избирательности достигается за счет организации дополнительных электромагнитных связей между несмежными резонаторами, которые обеспечивают формирование в N-резонаторных структурах N-2 полюса рабочего затухания на конечных частотах [2]. В [3-4] показано, что в более технологичных встречно-гребенчатых микрополосковых структурах с дополнительной гальванической связью между гребенчатыми секциями возможно формирование N-полюсов рабочего затухания без введения дополнительных электромагнитных связей между несмежными резонаторами. Это обеспечивает повышенную частотную избирательность микрополосковых фильтров при ограниченном числе резонаторов.

В данной работе этот подход к созданию высокоизбирательных фильтров с ограниченным числом резонаторов развивается применительно к полосковой реализации встречно-гребенчатых структур, в которых резонаторы обладают, как известно, более высокой собственной добротностью и электрической прочностью.

Отличительными конструктивно-технологической и волновой особенностями полосковых структур по сравнению с их микрополосковыми аналогами является то, что система связанных линий, их образующих, располагается в однородной среде, а следовательно, для них выполняется условие фазового синхронизма нормальных

волн, возбуждаемых в этих системах. При микрополосковой реализации структур проявляется вследствие неоднородности среды (подложка-воздух) эффект неравенства фазовых скоростей нормальных волн. Как известно, эта волновая особенность уже является достаточной для формирования в двухпроводной гребенчатой секции на однородных связанных микрополосковых линиях амплитудно-частотной характеристики полосно-пропускающего типа.

При фазовом синхронизме волн эта секция является все-заграждающей. Поэтому управление частотными свойствами секции при ее полосковой реализации может быть достигнуто только в ступенчатых структурах [5] со скачком коэффициентов связи на разных участках их длины.

II. ДВУХРЕЗОНАТОРНЫЕ ПОЛОСКОВЫЕ СЕКЦИИ И ИХ СЕЛЕКТИВНЫЕ СВОЙСТВА

Рассмотрим структуры, которые приведены на рисунках 1 и 2. Каждая из них представляет собой симметричную четвертьволновую гребенчатую секцию со скачками волновых сопротивлений на разных участках длины.

Для определенности для всех рассматриваемых секций расстояние между экранами полосковой структуры задавалось равным $H=14$ мм, а толщина полосковых линий $T=2$ мм (Рис. 1а). При этом относительная ширина полосы пропускания была выбрана одинаковой и равной 5%. Формирование и требуемое распределение полюсов рабочего затухания на частотной оси достигается за счет выбора определенных соотношений коэффициентов электромагнитного взаимодействия между связанными резонаторами на разных участках их длины.

Так, в четырехступенчатой структуре с преобладающей электрической связью между резонаторами возможно формирование одного полюса рабочего затухания в области нижних частот и семи – в области верхних частот (рис 1, b, c). При этом обеспечивается разрядка спектра паразитных полос пропускания до седьмой гармоники включительно.

Возможны и другие варианты распределения полюсов рабочего затухания на частотной оси в зависимости от группирования их в заданных полосах заграждения. Минимальное расстояние между связанными полосковыми линиями составляет $S=4,8$ мм, а минимальная и максимальная ширины этих резонаторов равны соответственно: $W_{\min}=4$ мм, $W_{\max}=14,5$ мм.

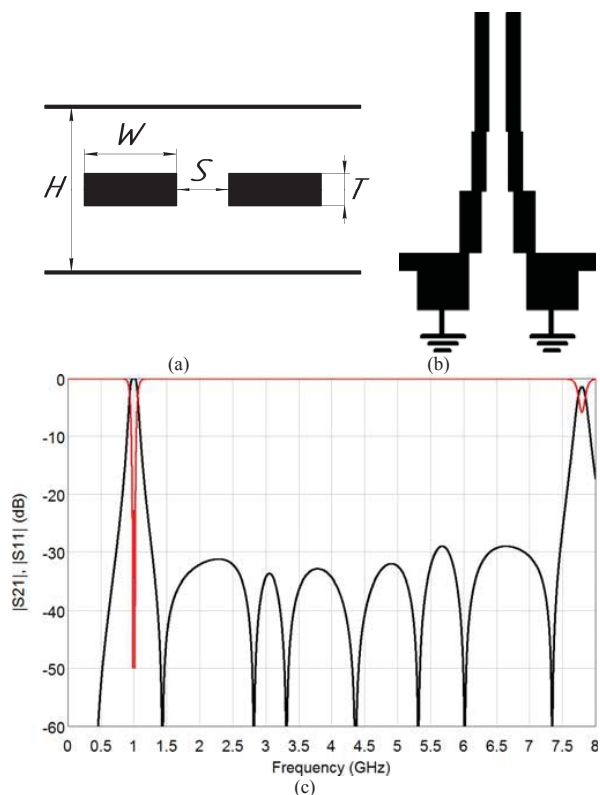


Рис. 1 (а) Полосковая структура в разрезе; (б) двухрезонаторная структура с разрядкой спектра паразитных полос пропускания; (с) частотные характеристики данной структуры.

При преобладающей магнитной связи между резонаторами (рис. 2, а, с) возможно формирование двух полюсов рабочего затухания в области верхних частот. Расщепление этих полюсов затухания достигается введением дополнительного короткозамкнутого полоскового отрезка (нижний участок структуры), что обеспечивает увеличение электрической длины секции при ее синфазном возбуждении. Это, в свою очередь, эквивалентно усилению магнитной связи между резонаторами. При этом минимальное расстояние между связанными линиями составляет $S=6,3$ мм, длина дополнительного отрезка $L=6,9$ мм, а минимальная и максимальная ширины полосковых линий передачи равны соответственно: $W_{\min}=11$ мм, $W_{\max}=12,6$ мм.

Формирование и расщепление двух полюсов рабочего затухания в области нижних частот (рис. 2б, с) достигается заданием разных коэффициентов электромагнитного взаимодействия между полосковыми линиями на разных участках их длины. При этом, необходимо выполнение условия обеспечения преобладающей электромагнитной связи на центральной ступени гребенчатой секции. Минимальное расстояние между отрезками связанных полосковых линий на этом участке секций составляет $S_{\min}=2$ мм.

Представленные примеры реализации гребенчатых секций с повышенной избирательностью в той или иной частотной области свидетельствуют о физической осуществимости этих структур в рамках существующих технологий создания полосковых устройств СВЧ.

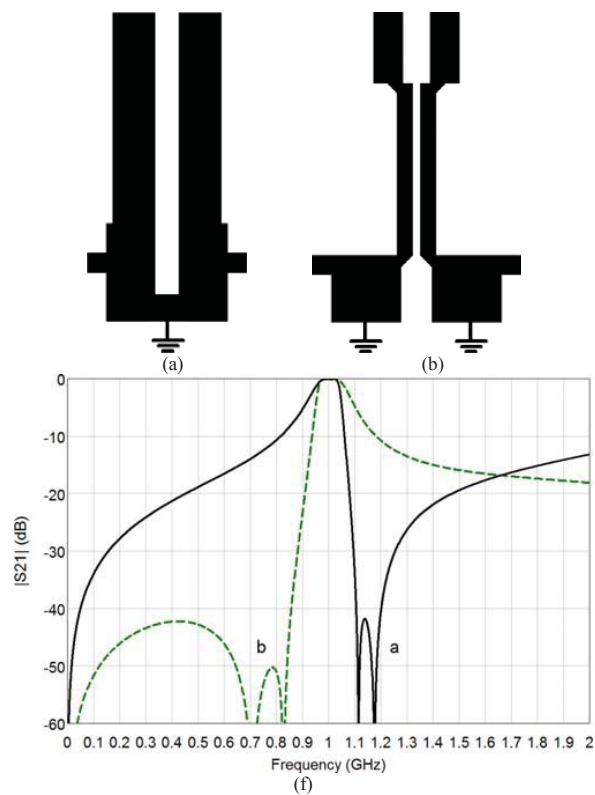


Рис. 2. Двухрезонаторные полосковые структуры с различными частотными характеристиками

III. 2. ЧЕТЫРЕХРЕЗОНАТОРНЫЕ ВСТРЕЧНО-ГРЕБЕНЧАТЫЕ ФИЛЬТРЫ

Повышение порядка фильтров достигается каскадированием встречно-включенных гребенчатых секций посредством перемычки, а также за счет их электромагнитного взаимодействия (рис. 3, 4). Применяя тот или иной тип гребенчатой секции (рис. 2) можно реализовать в четырехрезонаторных полосковых структурах различные виды частотных характеристик с полюсами рабочего затухания на конечных частотах без введения дополнительных электромагнитных связей между несмежными резонаторами. Рассмотрим две из них.

Результаты синтеза четырехрезонаторной структуры с квазисимметричной характеристикой рабочего затухания представлены на рис 3, а, с. В данном случае в качестве базовой секции используется гребенчатая структура с преобладающей электрической связью между резонаторами. Расщепление полюсов затухания, формируемых в каждой из гребенчатых секций, достигается электромагнитным взаимодействием между вторым и третьим резонаторами. Минимальное расстояние между резонаторами $S_{\min}=3$ мм. Минимальная и максимальная ширины полосковых линий передачи равны соответственно: $W_{\min}=3$ мм, $W_{\max}=21$ мм.

На рисунке 3, б, d представлена структура четырехрезонаторного полоскового фильтра с повышенной односторонней частотной избирательностью в области верхних частот. Такой режим работы структуры обеспечивается за счет реализации в каждой двухрезонаторной секции преобладающей магнитной связи между резонаторами в соответствии с рис. 2а.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В полосковых встречно-гребенчатых структурах с дополнительной гальванической связью между смежными резонаторами возможно формирование значительно числа полюсов рабочего затухания – не менее количества резонаторов в структуре. Это позволяет создавать на их основе высокоизбирательные фильтры при ограниченном числе резонаторов. Приведенные примеры реализации полосковых фильтров свидетельствуют о физической осуществимости этих структур в рамках существующих технологий создания полосковых устройств СВЧ.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю признательность фирме NI AWR и лично Табишу Канну за многолетнюю помощь и поддержку в научной и образовательной работе.

Литература

- [1] *Маттей Д.Л., Янг Л., Джонс Е.М.Т.* Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. М.:Связь, 1971, 1972. .1,2. 451 с., 494 с.
- [2] *Роудз Дж. Д.* Теория электрических фильтров. М.: Сов. радио, 1980. 240 с.
- [3] *Aristarkhov G.M., Arinin O.V. and Kirillov I.N.* "Compact highly-selective microstrip filters based on counter-comb structures," 2018 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Moscow, 2018, pp. 1-4. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8350569&isnumber=8350560>.
- [4] *Aristarkhov G.M., Arinin O.V. and Kirillov I.N.*, "Compact highly-selective microstrip filters based on counter-comb structures," 2018 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Moscow, 2018, pp. 1-4. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8350569&isnumber=8350560>.
- [5] *Макимото М., Ямасито С.* Компактный полосковой фильтр на резонаторах со ступенчатым изменением сопротивления // ТИИЭР. 1979. Т.67. №1. С. 17-21.

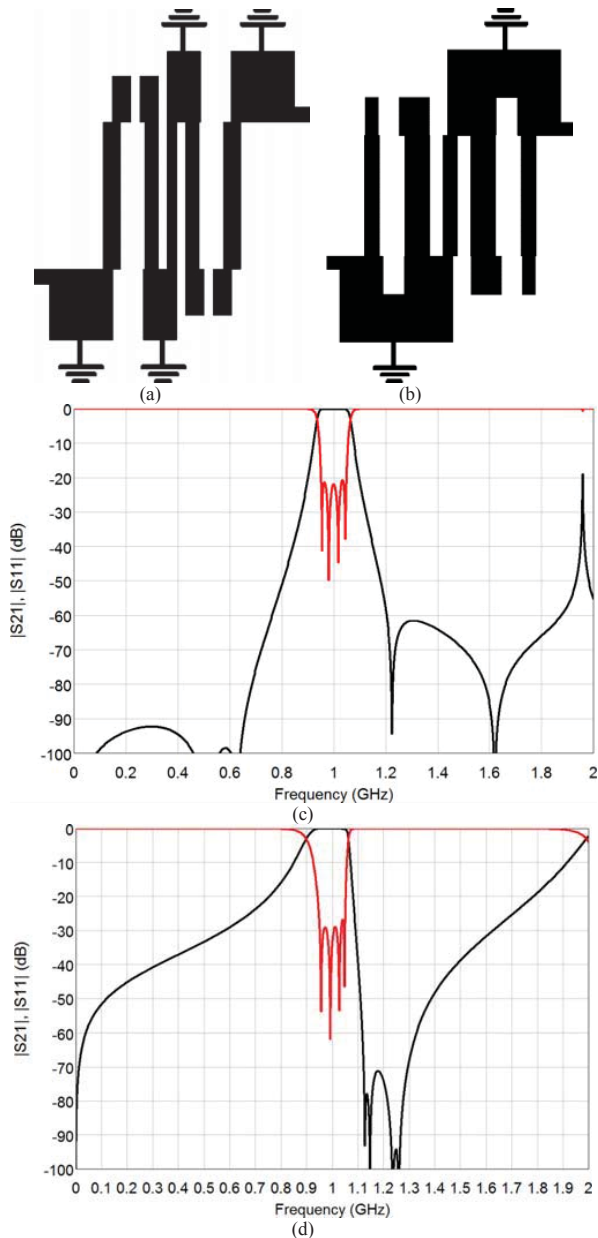


Рис. 3. Встречно-гребенчатые структуры полосковых фильтров и их частотные характеристики