

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ ВЫСОКОИЗБИРАТЕЛЬНЫХ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ФИЛЬТРОВ

© 2015 г. Г.М. АРИСТАРХОВ, Н.В. ЗВЕЗДИНОВ

Московский технический университет связи и информатики

В технике СВЧ широкое применение находят микрополосковые устройства различного функционального назначения, в том числе и полосно-пропускающие фильтры с относительной шириной полосы пропускания порядка октавы и более. Решение проблемы создания такого рода широкополосных устройств на основе традиционных принципов построения сопряжено с применением нерегулярных отрезков одиночных и связанных линий передачи [1], что обуславливает увеличение их электрической длины и, как следствие, геометрических размеров. Кроме того, в этих структурах необходима реализация высоких значений коэффициентов электромагнитной связи между линиями, что является ограничивающим фактором физической осуществимости этих структур в микрополосковом исполнении.

Новые возможности в создании широкополосных микрополосковых фильтров (МПФ) с умеренными коэффициентами связи между смежными линиями открываются за счет применения многосвязанных многомодовых структур с определенными краевыми условиями на концах линий. Так, в работе [2] предложено в качестве многомодового резонатора использовать меандровую линию передачи с дополнительными элементами его возбуждения, выполненными в виде короткозамкнутых и разомкнутых четвертьволновых отрезков линий передачи. Показано, что на основе восьмипроводной структуры возможно формирование широкополосной амплитудно-частотной характеристики с восемью нулями и пятью полюсами затухания на конечных частотах.

В данной работе показана возможность создания более технологичных микрополосковых структур с другими краевыми условиями на концах линий, сочетающих реализацию широких полос пропускания и полюсов затухания на конечных частотах, формируемых вблизи полосы пропускания, без введения каких-либо дополнительных элементов.

Одними из наиболее компактных и технологичных структур (в них отсутствуют короткозамыкающие на землю элементы резонаторов), реализующих полюсы затухания на конечных частотах, являются микрополосковые фильтры на сонаправленных шпилечных резонаторах [3,4] и МПФ на шпилечных резонаторах с дополнительными электромагнитными связями между несмежными резонаторами [5,6]. Однако ширина полосы пропускания как тех, так и других структур определяется коэффициентом связи между смежными микрополосковыми линиями (МПЛ), значение которого, как уже отмечалось, ограничено.

Снять это ограничение возможно в структурах на полуволновых сонаправленных шпилечных резонаторах за счет определенного перераспределения их полюсов затухания на конечных частотах так, чтобы полюсы затухания, формируемые в области верхних частот на кратных гармониках, «подтянулись» к полосе пропускания. При этом основная и первая «паразитная» полосы пропускания должны смыкаться. Одновременная реализация этих условий достигается тем, что шлейфы согласующих входного и выходного Т-сочленений (см. рис. 1) реализуют полюсы затухания в области нижних частот (в отличие от традиционного их применения, когда полюсы затухания формируются в области верхних частот). Кроме того, обе решетчатые секции трехре-

зонаторной структуры так же формируют основные полюсы затухания в области нижних частот. Такое распределение полюсов затухания отдельных уединенных элементов структуры создает предпосылки к созданию широкополосных МПФ.

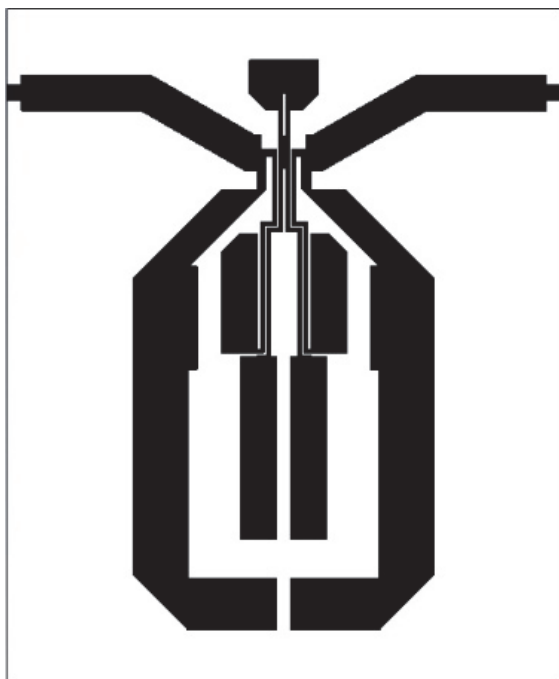


Рис. 1. Структура трехрезонаторного МПФ.

Введем электромагнитное взаимодействие между всеми элементами структуры. В этом случае структура представляет собой систему из шести связанных линий с определенными краевыми условиями на их концах. Управление спектром собственных значений квази-Т-волн, распространяющихся в этой системе, достигается заданием определенной степени неуравновешенности электромагнитных связей на разных участках длины связанных МПЛ.

На рис. 1 представлена структура трехрезонаторного МПФ, синтезированная в рамках электродинамического численного 3D моделирования и выполненная на подложке с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_r=10.6$  и толщиной  $H=1$  мм. Общая площадь подложки составляет  $S = 32 \times 40$  мм. МПЛ выполнены в виде неоднородных МПЛ со скачком ширины, что обеспечивает требуемый спектр собственных значений структуры. При этом максимальная ширина отрезков МПЛ составляет не более 3,7 мм, а минимальная – 0,2 мм,

минимальное расстояние между МПЛ равно 0,15 мм. Эти геометрические размеры элементов легко реализуемы в рамках стандартной тонкопленочной технологии.

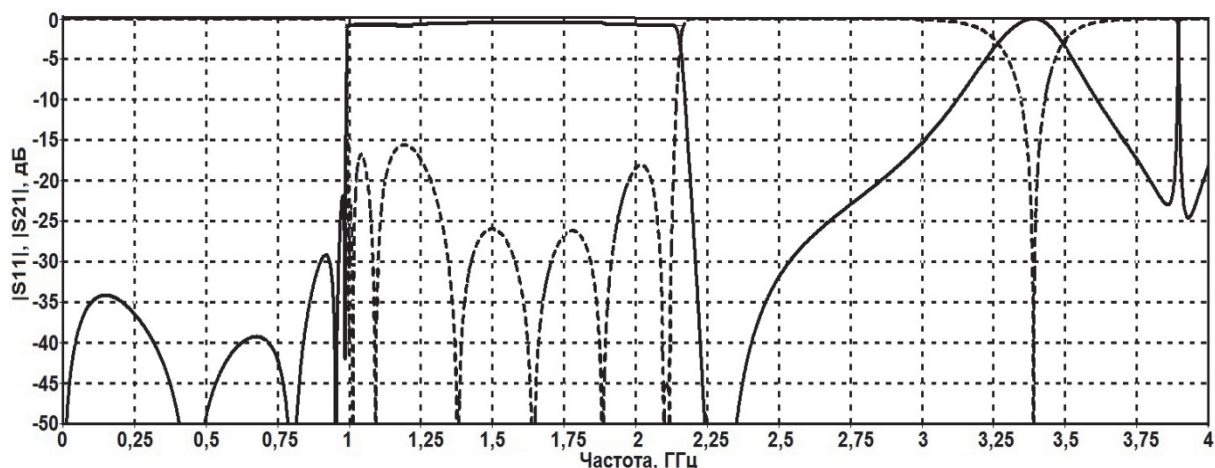


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика трехрезонаторного МПФ.

Между всеми смежными МПЛ доминирующей связью является магнитная связь. Это обеспечивает расширение полосы пропускания решетчатых секций и формирование полюсов затухания в области нижних частот, а так же их расщепление. Частичная компенсация этой магнитной связи между решетчатыми секциями с целью реализации требуемой степени расщепления полюсов затухания достигается введением незначительной электрической связи между плечами центрального резонатора на его концах. Расщепление полюсов затухания, формируемых шлейфами согласующих Т-соединений, обеспечивается введением незначительной электрической связи между ними. Следует отметить, что «яркие» полюсы затухания формируются только при их

расщеплении. Совмещение полюсов затухания или их перемежение обуславливают частичное или полное их вырождение.

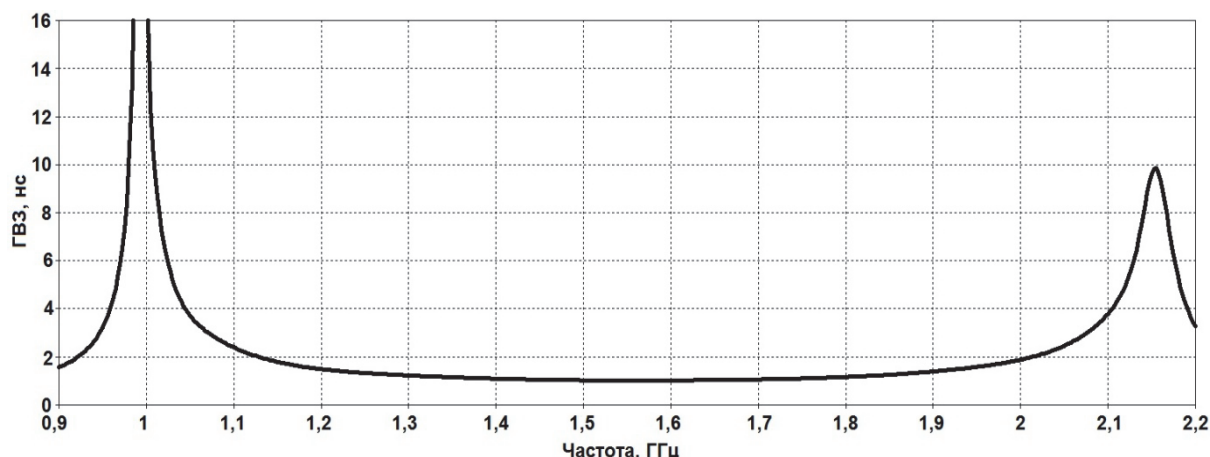


Рис. 3. Групповое время запаздывания трехрезонаторного МПФ.

На рис. 2 и 3 представлены частотные зависимости S-параметров и группового времени запаздывания (ГВЗ) структуры. Как видим, в трехрезонаторном МПФ, представляющем собой систему шести связанных четвертьволновых МПЛ с определенными краевыми условиями на их концах, формируется четыре полюса затухания в области нижних частот и три невырожденных полюса затухания в области верхних частот с незначительной их частотной отстройкой. В более чем октавной полосе пропускания формируется восемь нулей затухания, два из которых совмещены.

Данный тип МПФ сочетает широкую полосу пропускания и рекордно высокую крутизну затухания в переходных областях. Столь уникальные свойства многомодовой структуры при минимальном числе резонаторов обусловлены рациональным использованием эффекта неравенства фазовых скоростей нормальных волн и неуравновешенности электромагнитных связей на разных участках длины связанных МПЛ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сверхширокополосные микроволновые устройства. / Под ред. А.П. Креницкого, В.П. Мещанова. – М.: Радио и связь, 2001. – 560 с.
2. Беляев Б.А., Ходенков С.А., Борисенков Д.В. Исследование микрополосковых широкополосных фильтров на резонаторе с полосковым проводником в форме нерегулярного меандра. // Актуальные проблемы электронного приборостроения. / Материалы Международной научно-технической конференции, 25-26 сентября 2014г. Саратов. – Издат. центр «Наука», 2014, с. 264-267.
3. 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.
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. Lancaster J.M., Hong J.-S. Theory and experiment of novel microstrip slow-wave open-loop resonator filters // IEEE Trans. MTT., – 1997., vol. 45, №12., – p. 2358-2365.
6. Lancaster J.M., Hong J.-S. Cross coupled microstrip Hairpin-resonator filters// IEEE Trans. MTT., – 1998., – vol. 46, №1., – p. 118-122.