

**С.А. Кершис**

ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

## **СВЧ диплексор на основе фильтров нижних и высоких частот с нулями передачи в полосах задерживания**

*Представлены результаты моделирования, топологии и экспериментальные данные СВЧ диплексора, элементы которого ориентированы для монтажа на плате с помощью SMD технологии, для аппаратуры потребителей спутниковых радионавигационных систем GPS и ГЛОНАСС. Структура диплексора представляет собой два параллельно включенных СВЧ фильтра высоких и низких частот, выполненных на основе фазовой цепи СВЧ первого порядка. Представлены экспериментальные характеристики диплексора.*

**Ключевые слова:** СВЧ, СРНС, SMD-технологии

Большинство структур СВЧ фильтров высоких частот (ФВЧ) и нижних частот (ФНЧ) на отрезках регулярных линий передачи имеют узкие полосы задерживания и паразитные полосы пропускания на кратных частотах, уровень затухания в которых зачастую сравним с затуханием в основной полосе пропускания фильтра, что затрудняет их применение в передающих и приемных устройствах, а также мультиплексорах. Для подавления паразитных полос используются структуры с отрезками неоднородных линий передачи, фильтры на основе балансных связанных линий передачи, фильтры с резонаторами различной структуры. Каждое решение имеет свои достоинства и недостатки при реализации диплексоров на их основе.

Представляется рациональным разработка структуры диплексора на основе параллельного соединения по входному порту пары фильтров нижних частот (ФНЧ) и верхних частот (ФВЧ), имеющих дополнительные нули передачи в полосах задерживания. Оба фильтра могут быть выполнены на распределенных элементах на основе фазовой цепи первого порядка, нагруженной на отрезок разомкнутой линии передачи в случае НЧ фильтра и нагруженной на короткозамкнутый отрезок линии передачи, в случае ВЧ фильтра.

### **ФНЧ на распределенных элементах на основе фазовой цепи первого порядка**

Эквивалентная электрическая схема и схематическое изображение топологии этой структуры при микрополосковом исполнении показаны на рис.1.

Цепь представляет собой отрезок замкнутых на одном из концов связанных линий передачи с волновыми сопротивлениями четного  $Z_{oe}$  и нечетного  $Z_{oo}$  видов колебаний с

электрической длиной  $\theta = \frac{\omega \cdot d \cdot \sqrt{\epsilon_{эфф}}}{c_0}$ , где  $d$  - геометрическая длина связанных линий,  $\omega$  -

текущее значение частоты,  $\epsilon_{эфф}$  - эффективное значение диэлектрической проницаемости,  $c_0$  - скорость света. К замкнутым концам связанных линий подключен отрезок разомкнутой

линии передачи с волновым сопротивлением  $Z_l$  и электрической длиной  $\theta_l = \frac{\omega \cdot l \cdot \sqrt{\epsilon_{эфф}}}{c_0}$ ,

где  $l$  - геометрическая длина отрезка разомкнутой линии передачи. Внутреннее сопротивление возбуждающего тракта и сопротивление нагрузки цепи равно  $Z_m$

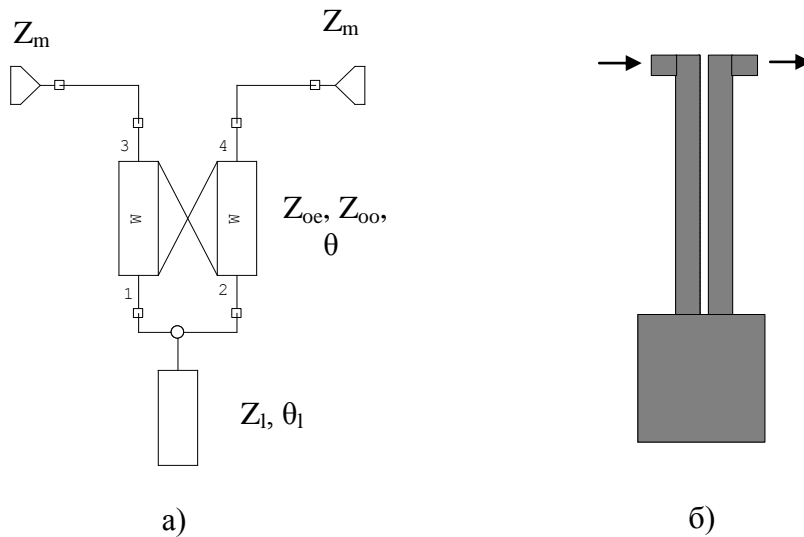


Рисунок 1

В [1] были получены оптимальные параметры волновых сопротивлений и длин связной линии и разомкнутой линии, при которых наблюдаются улучшенные характеристики фильтра: минимальные потери и неравномерность АЧХ в полосе пропускания и широкая полоса задерживания с тремя дополнительными нулями передачи в ней.

Оптимальные параметры ФНЧ определяются следующим образом:

$$\frac{\theta_L}{\theta} = 0.17, \frac{Z_L}{\sqrt{Z_{oe} \cdot Z_{o0}}} = 0.04, \frac{Z_i}{\sqrt{Z_{oe} \cdot Z_{o0}}} = 0.38 \quad (2)$$

Результаты моделирования фильтра представлены на рис.2.

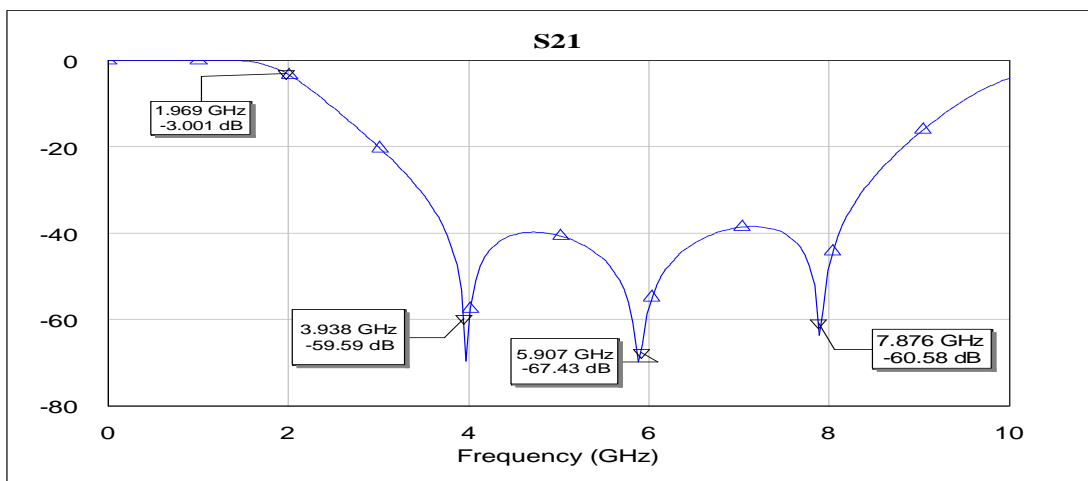


Рисунок 2

## СВЧ фильтр высоких частот на основе фазовой цепи первого порядка

В [2] предлагается структура СВЧ фильтра высоких частот также выполненная на основе СВЧ фазовой цепи и отрезка короткозамкнутой линии передачи. Эквивалентная схема такого фильтра представлена на рис.3.

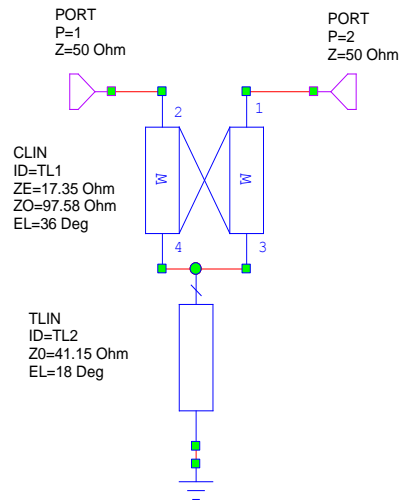


Рисунок 3

В результате оптимизации было установлено, что для получения максимальной ширины полосы пропускания ФВЧ величины сопротивлений  $Z_{oe}$ ,  $Z_{oo}$ ,  $Z_l$  и должны удовлетворять соотношениям:  $\frac{Z_{oo} - Z_{oe}}{Z_l} \approx 2$ ;  $\sqrt{Z_{oo} \cdot Z_{oe}} \approx Z_l \approx Z_i$ . При выполнении этих

соотношений относительная полоса пропускания ФВЧ составляет  $\frac{\omega_e}{\omega_n} \geq 8$ , а в полосе задерживания имеется дополнительный нуль передачи, что достаточно для большинства практических задач реализации ФВЧ и диплексоров на СВЧ.

Результат моделирования ФВЧ представлен на рисунке 4:

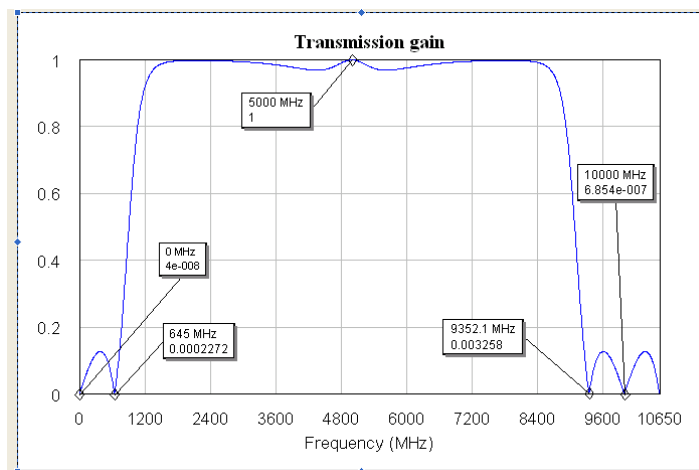


Рисунок 4

## Диплексор на основе ФВЧ и ФНЧ на основе фазовых цепей первого порядка

Важной особенностью структур фильтров, описанных ранее, является наличие дополнительных нулей передачи за пределами основной полосы пропускания. Анализ показал, что подбором длин и волновых сопротивлений линий, можно расположить эти нули на частотах сигнала, подлежащих подавлению в канале. Например, при приеме сигналов глобальных спутниковых навигационных систем от общей антенны можно подобрать нули передачи прямо на литерных частотах диапазонов L1 и L2 СРНС GPS и Глонасс и обеспечить максимальную избирательность в каждом канале диплексора.

Топология такого диплексора для аппаратуры потребителей СРНС GPS и Глонасс на основе данных фильтров представлена на рис. 5.

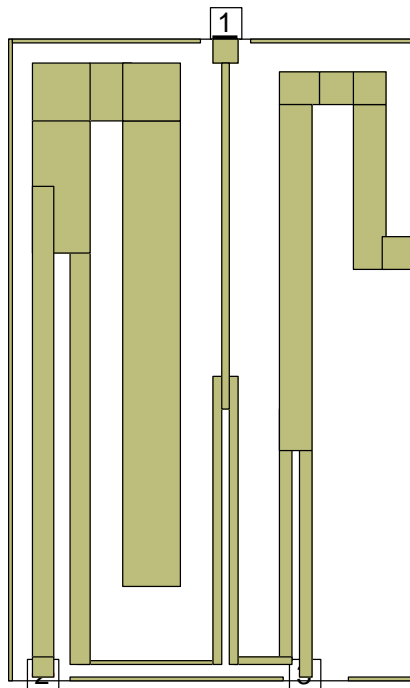


Рис 5

Порт 1 является общим(входным), фильтр нижних частот с разомкнутым отрезком линии передачи для пропускания сигнала диапазона L2 изображен слева от центральной оси симметрии диплексора, а фильтр высоких частот для пропускания сигнала диапазона L2 , соответственно справа. Порты 2, 3 являются выходными. Такой диплексор был выполнен по толстопленочной технологии на керамической подложке с  $\epsilon=80$  с формированием структуры проводников с помощью лазера. Конструкция диплексора была выполнена для монтажа с помощью SMD технологий и имеет выводы портов на нижней стороне подложки.

Расчетные (сплошные линии) и экспериментальные (точки) частотные характеристики каналов диплексора приведены на рис 6, 7. Как видно из графиков совпадение расчетных и экспериментальных данных вполне удовлетворительное.

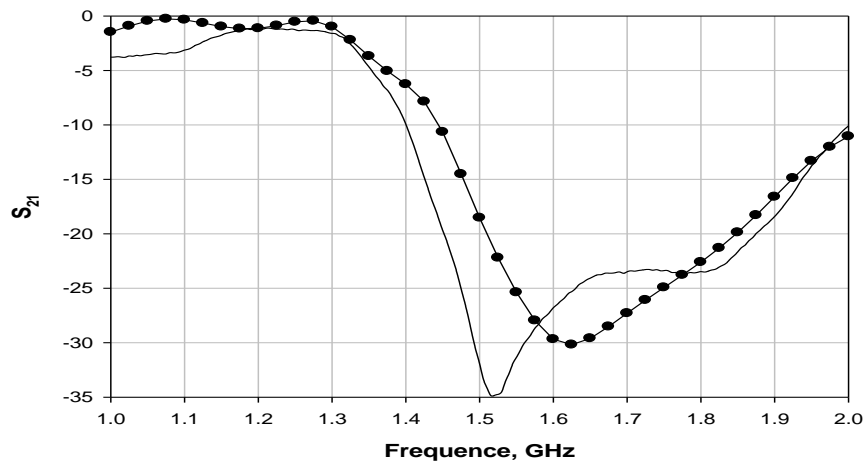


Рисунок 6

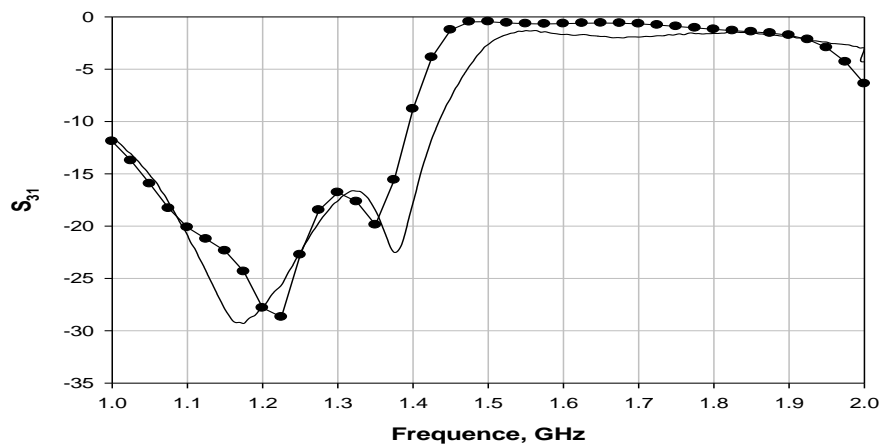


Рисунок 7

При серийном выпуске диплексор имел хорошую повторяемость характеристик. Данный диплексор может быть использован для разделения сигналов поддиапазонов L1 и L2 спутниковых радионавигационных систем GPS и ГЛОНАСС.

#### Библиографический список

1. О.А. Бабушкина, А.А. Головков. СВЧ полосовые фильтры с подавлением паразитных полос пропускания. Вопросы радиоэлектроники, сер. Радиолокационная техника, вып. 4, 2008г, стр.51-59
2. О.А.Бабушкина, С.А.Кершис. СВЧ фильтры высоких частот с широкой полосой задерживания. Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ", сек. радиоэлектроника и телекоммуникации, вып. 2011, стр. 9-13