

ДИПЛЕКСЕРЫ СВЧ НА ОСНОВЕ ДВУХ- И ТРЕХРЕЗОНАТОРНЫХ МИКРОПОЛОСКОВЫХ СТРУКТУР

Аристархов Григорий Маркович,

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

Кириллов Игорь Николаевич,

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

Аннотация

Исследованы возможности создания диплексеров на основе двух- и трехрезонаторных микрополосковых структур, реализуемых на подложке с высоким значением относительной диэлектрической проницаемости $\epsilon_r = 80$ и не содержащих короткозамкнутых на экран элементов, что определяет их высокую технологичность. Определены условия формирования не менее двух полюсов рабочего затухания микрополосковых структур в частотных областях соседних каналов. Показано, что переходное ослабление при столь ограниченном числе резонаторов в фильтрах каждого из каналов достигает уровня не менее 55 дБ.

Ключевые слова

Микрополосковые фильтры, решетчатая секция, полюсы затухания, электрическая и магнитная связи.

I. ВВЕДЕНИЕ

Диплексеры являются базовыми элементами микроволновых устройств различного функционального назначения, во многом определяющими их электрические параметры и массогабаритные показатели. В настоящее время к диплексерам предъявляются все более жесткие требования к их частотной избирательности, потерям в полосах пропускания и габаритам. Это обусловлено как необходимостью более эффективно использовать частотный ресурс за счет уплотнения радиоканалов, обеспечивая при этом условия электромагнитной совместности радиоэлектронных средств, так и стремлением к созданию функционально сложных модулей СВЧ в рамках интегральной технологии. Однако, оставаясь в рамках традиционных схмотехнических решений, обеспечить реализацию всей совокупности требований, предъявляемых к диплексерам, не представляется возможным. Так, повышение уровня переходного ослабления между каналами за счет увеличения числа резонаторов в каждом фильтре диплексера обуславливает увеличение потерь в полосах пропускания и габаритов. Разрешить это противоречие возможно за счет применения в качестве канальных фильтров таких структур, в каждой из которых формируются полюсы рабочего затухания в частотной области смежного радиоканала. В настоящее время для этих целей применяются четырех- или шестирезонаторные фильтры на основе четвертьволновых гребенчатых структур, в которых формируются тем или иным образом полюсы рабочего затухания [1, 2]. Кроме того, возможна реализация этих структур на подложках с высоким значением относительной диэлектрической проницаемости, что обеспечивает существенное уменьшение их габаритов. Эта возможность обусловлена тем, что четвертьволновые гребенчатые структуры имеют высокие значения характеристического сопротивления, в несколько раз превышающие значения волновых сопротивлений связанных микрополосковых линий (МПЛ).

При этом их согласование обеспечивается кондуктивными включением структуры без введения дополнительных цепей.

Однако в этих структурах, во-первых, формируется недостаточное число полюсов рабочего затухания, что ограничивает при заданных требованиях к уровню развязки между каналами возможность уменьшения числа резонаторов в них, а во-вторых, реализация этих структур связана с необходимостью формирования на концах резонаторов короткозамыкающих на экран элементов, что существенно усложняет технологию их изготовления.

В данной работе исследуются возможности создания более компактных диплексеров с пониженным уровнем потерь на основе двух- или трехрезонаторных микрополосковых структур на полуволновых сонаправленных шпилечных резонаторах, не содержащих короткозамыкающих на экран элементов и реализуемых на подложке с высоким значением относительной диэлектрической проницаемости.

II. ДВУХРЕЗОНАТОРНЫЕ СТРУКТУРЫ И ДИПЛЕКСЕРЫ НА ИХ ОСНОВЕ

Отличительной особенностью структур микрополосковых фильтров (МПФ) на полуволновых сонаправленных шпилечных резонаторах является возможность формирования в них значительного числа полюсов рабочего затухания, превышающего количество резонаторов в цепи [3]. Кроме того, эти структуры не содержат короткозамыкающих на экран элементов, что обеспечивает их более высокую технологичность.

На рис. 1 представлена обобщенная двухрезонаторная структура, которая может рассматриваться в первом приближении без учета электромагнитного взаимодействия между всеми элементами как каскадное соединение центральной четвертьволновой решетчатой секции (рис. 1, в) и двух согласующих Т-сочленений (рис. 1, г). Каждый из этих уединенных элементов формирует свой независимый полюс затухания на конечной частоте.

Полосно-пропускающая решетчатая секция в зависимости от того, какая связь между МПЛ является преобладающей (магнитная или электрическая), может формировать полюс затухания или в области нижних, или верхних частот соответственно [4, 5].

Т-сочленения, выполняющие функцию трансформаторов сопротивлений, являются одновременно полосно-заграждающими звеньями с полюсом затухания в области верхних частот. При распределенном электромагнитном взаимодействии этих элементов может проявиться или эффект вырождения полюсов затухания, формируемых каждым из них, или их расщепление. Следует отметить, что в многосвязанных структурах МПФ эффективные (яркие) полюсы затухания формируются только при

их расщеплении. Любое совмещение или перемещение полюсов затухания приводит к частичному или полному их вырождению [4, 5]. В работе [3], показано, что рассматриваемая двухрезонаторная секция может приобретать при определенных условиях свойства многорезонаторных СВЧ цепей, так как в ней возможно формирование значительного числа полюсов рабочего затухания. Это достигается за счет совместного рационального использования волновых особенностей систем связанных МПЛ и схемотехнических приемов управления волновыми процессами в этих структурах. Используем эти подходы применительно к кругу решаемых в данной работе задач.

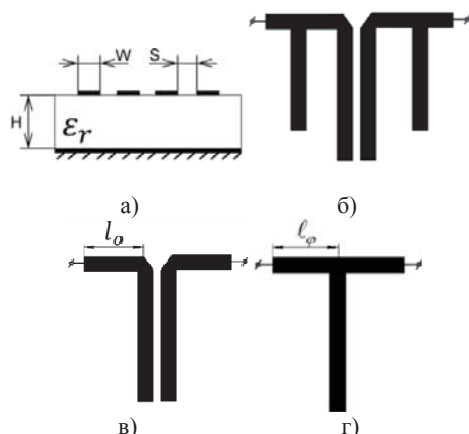


Рис. 1. Двухрезонаторный МПФ и его элементы

Будем полагать, что диплексер строится по схеме "звезда", в состав которой входят два канальных фильтра и две фазосдвигающие цепи. Пусть относительная частотная отстройка каналов составляет порядка 30 %. Такая частотная отстройка применяется, в частности, в приемных устройствах спутниковых систем навигации. Обеспечение требуемого уровня развязки между каналами достигается за счет формирования полюсов затухания каждым из фильтров в частотной области соседнего канала.

На рис. 2 представлена двухрезонаторная структура МПФ, реализованная на подложке толщиной $H=1$ мм с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ_r . В фильтре формируются три полюса затухания. Решетчатая четвертьволновая секция с преобладающей магнитной связью между МПЛ формирует полюс затухания в области нижних частот. Оба трансформирующих Т-сочленения формируют полюсы затухания, расположение которых на частотной оси достигается усилением электрической связи между плечами резонаторов. Минимальное расстояние между связанными МПЛ l_{ϕ} . Площадь подложки, занимаемая структурой МПФ, составляет 6.4×5.7 мм.

На рис. 3 представлены результаты синтеза МПФ второго канала. При этом применим прием "рокировки" полюсов затухания [3] так, чтобы полюсы рабочего затухания, формируемые Т-сочленениями, располагались в области нижних частот, а полюс затухания решетчатой секции в области верхних частот. Чрезмерное расщепление полюсов затухания, формируемых Т-сочленениями, обусловлено преобладающей магнитной связью между плечами каждого из резонаторов. Компенсация этой связи с целью реализации требуемого расположения полюсов рабочего затухания на частотной оси достигается

усилением электрической связи как между плечами каждого из резонаторов, так и между шлейфами. Решетчатая секция с преобладающей электрической связью между МПЛ формирует полюс затухания в области верхних частот. Минимальное расстояние между связанными МПЛ l_{ϕ} . Площадь подложки, занимаемая этой структурой МПФ, составляет 4.3×5.9 мм.

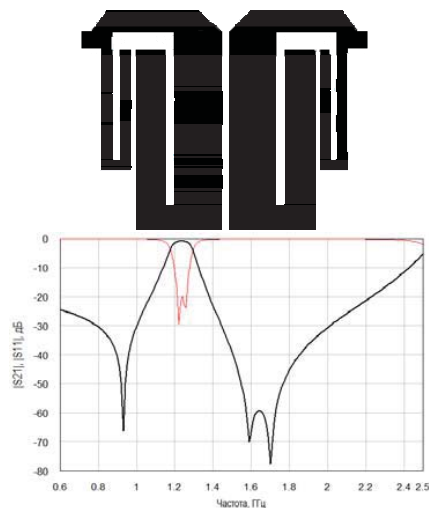


Рис. 2. Структура двухрезонаторного МПФ первого канала (а) и частотные зависимости (б) его рабочего затухания и коэффициента отражения

На рис. 4 представлена частотная зависимость переходного затухания между входами диплексера, которая свидетельствует о том, что в рабочих полосах частот каждого из каналов обеспечивается уровень развязки между ними не менее 60 дБ.

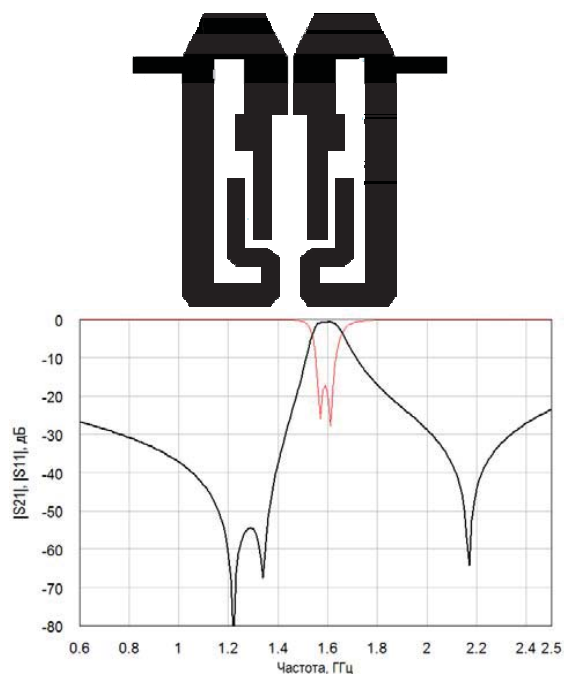


Рис. 3. Структура двухрезонаторного МПФ второго канала (а) и частотные зависимости (б) его рабочего затухания и коэффициента отражения

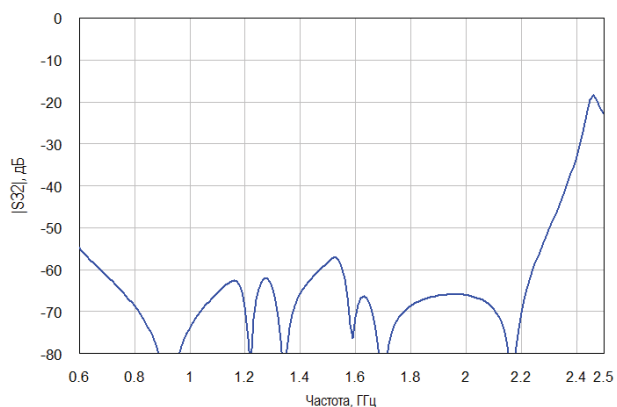


Рис. 4. Переходное затухание между входами диплексера, реализуемого на основе двухрезонаторных МПФ

III. ДИПЛЕКСЕРЫ НА ОСНОВЕ ТРЕХРЕЗОНАТОРНЫХ СТРУКТУР

На рис. 5 представлена обобщенная трехрезонаторная структура, формирующая полюсы затухания как в области нижних, так и в области верхних частот. Это позволяет использовать ее в качестве фильтров в обоих каналах.

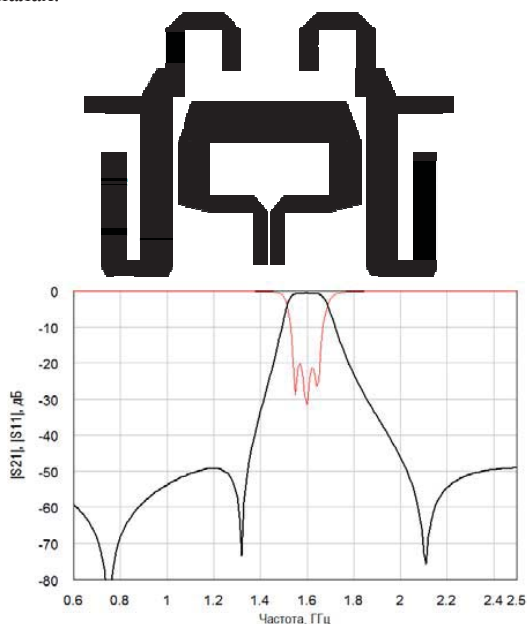


Рис. 5. Структура трехрезонаторного МПФ второго канала (а) и частотные зависимости (б) его рабочего затухания и коэффициента отражения

В этой структуре полюсы затухания в области нижних частот формируются двумя четвертьволновыми решетчатыми секциями с преобладающей магнитной связью между МПЛ. Требуемая степень расщепления этих полюсов затухания достигается введением дополнительной электрической связи между этими секциями, то есть между плечами центрального резонатора структуры. Минимальные расстояния между связанными МПЛ составляют . Шлейфы Т-сочленений формируют полюсы затухания в области верхних частот и их расщепление обеспечивается дополнительной электрической связью между концами шлейфов (верхний

участок топологии). Площадь подложки, занимаемая этой структурой МПФ, составляет 10.1x8 мм. МПФ первого канала обладает аналогичными характеристиками. На рис. 6 представлены частотные зависимости рабочего затухания и обратных потерь в каждом из каналов диплексера. Переходное затухание между входами диплексера в рабочих полосах частот каждого из каналов составляет не менее 55 дБ.

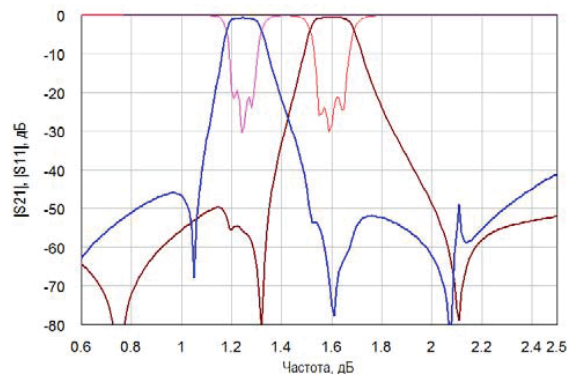


Рис. 6. Частотные зависимости рабочего затухания и коэффициента отражения в каждом из каналов диплексера

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диплексеры на основе двух и трехрезонаторных МПФ на сонаправленных шпилечных резонаторах обеспечивают заданные требования, предъявляемые к уровню развязки между каналами. Технологичность структур и минимальное число резонаторов в них определяют высокую эффективность рассматриваемых схемотехнических решений.

БЛАГОДАРНОСТИ

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

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Владимиров В.М., Марков В.В., Петров Д.В., Шепов В.Н. Трехдиапазонный маломощный усилитель для активной антенны высокоточного позиционирования по сигналам ГЛОНАСС/GPS // Радиотехника. 2013. № 6. С. 12-17.
- [2] Захаров А.В., Розенко С.А. Дуплексер на основе микрополосковых фильтров, использующих подложки с высокой диэлектрической проницаемостью // Радиотехника и электроника. 2012. Т. 57. №6. С. 713-720.
- [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] Аристархов. Г.М., Звездинов Н.В. Селективные свойства микрополосковой секции на двух сонаправленных шпилечных резонаторах с неравновешенными электромагнитными связями // Антенны. 2016. №2. С. 76-82.