

ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩИЕ СВЧ ФИЛЬТРЫ НА ШПИЛЬКОВЫХ РЕЗОНАТОРАХ СО СКАЧКАМИ ВОЛНОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

М.В. Донов^{*}, Н.В. Лалетин^{**} (научный руководитель)

^{*}Сибирский Государственный аэрокосмический университет им. М.Ф. Решетнева
660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

^{**}Институт Физики им. Л.В. Киренского СО РАН
660036, г. Красноярск, Академгородок

Многозвенные микрополосковые структуры широко используются в СВЧ технике в качестве частотно-селективных устройств или, проще говоря, фильтров. Они являются основными устройствами приема и обработки сигналов. Главными требованиями, предъявляемыми к конструкциям фильтров – высокие селективные свойства, миниатюрность и технологичность в производстве. Миниатюризация в первую очередь продиктована необходимостью уменьшения габаритов систем радиолокации и связи. Уменьшение размеров микрополосковых фильтров (МПФ) решается несколькими путями: изгибами или сворачиваниями полосок резонаторов; использованием скачков волнового сопротивления в конструкциях микрополосковых резонаторов (МПР); использование в качестве подложек фильтра пластин из керамики с высокой диэлектрической проницаемостью. Очевидно, что все эти способы миниатюризации фильтров, в принципе, могут использоваться и в сочетании друг с другом.

При использовании конструкций МПФ в приборах радиолокации и связи, могут возникнуть некоторые трудности, связанные с тем, что возможности, осуществлять настройку и регулировку параметров фильтров для оптимизации характеристик после изготовления, ограничены, особенно если они должны иметь высокую надежность, возможна только небольшая подстройка. Поэтому МПФ должны разрабатываться и изготавливаться как можно более точно, а используемые полосковые проводники должны иметь стабильные частотные характеристики. Для достижения этих целей в настоящее время широко применяются различные программы автоматизированного проектирования СВЧ фильтров, которые в значительной степени облегчают эти задачи.

Как было сказано выше, один из путей миниатюризации фильтра заключается в изгибах и сворачивании полосок резонаторов. МПФ на прямолинейных резонаторах и шлейфах имеют большие габариты. Для уменьшения размеров фильтров, в их конструкциях используют загнутые МПР, называемые шпильковыми. Фильтры на таких резонаторах по сравнению с фильтрами на параллельно связанных МПР более миниатюрные и имеют меньшие потери СВЧ мощности.

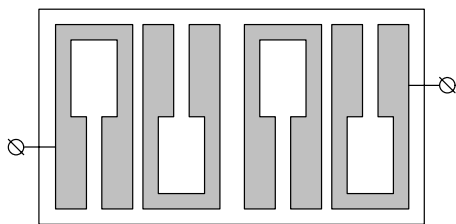


Рис.1. МПФ на нерегулярных, встречно направленных, шпильковых МПР

Настоящая работа посвящена созданию программы анализа микрополосковых конструкций и экспериментальной проверке точности ее расчета. Данные конструкции представляют собой четырехзвенные микрополосковые полосно-пропускающие фильтры (ППФ) на диэлектрической подложке. В качестве подложки используется керамика В20 и В40 с диэлектрическими проницаемостями $\epsilon_r = 20 \pm 3$ и $\epsilon_r = 40 \pm 3$ соответственно. Фильтры состоят из четырех встречно направленных, шпильковых МПР со скачками волнового сопротивления, т.е. имеющих нерегулярности (рис.1).

Для расчета амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) МПФ, изображенному на рис.1 и ему подобных, используется квазистатический метод [1]. Данный метод расчета успешно прошел испытания в экспертной системе FILTEX [2], предназначенной для проектирования микрополосковых ППФ. Как известно схема расчетной модели фильтра строится на

разбиении всех его проводников на регулярные отрезки связанных микрополосковых линий. При этом для данной конструкции фильтра, целесообразнее использовать упрощенную схему разбиения, которая позволяет существенно снизить ресурсные затраты. При этом расчет достаточно точно совпадает с результатом, полученным при полном разбиении [3].

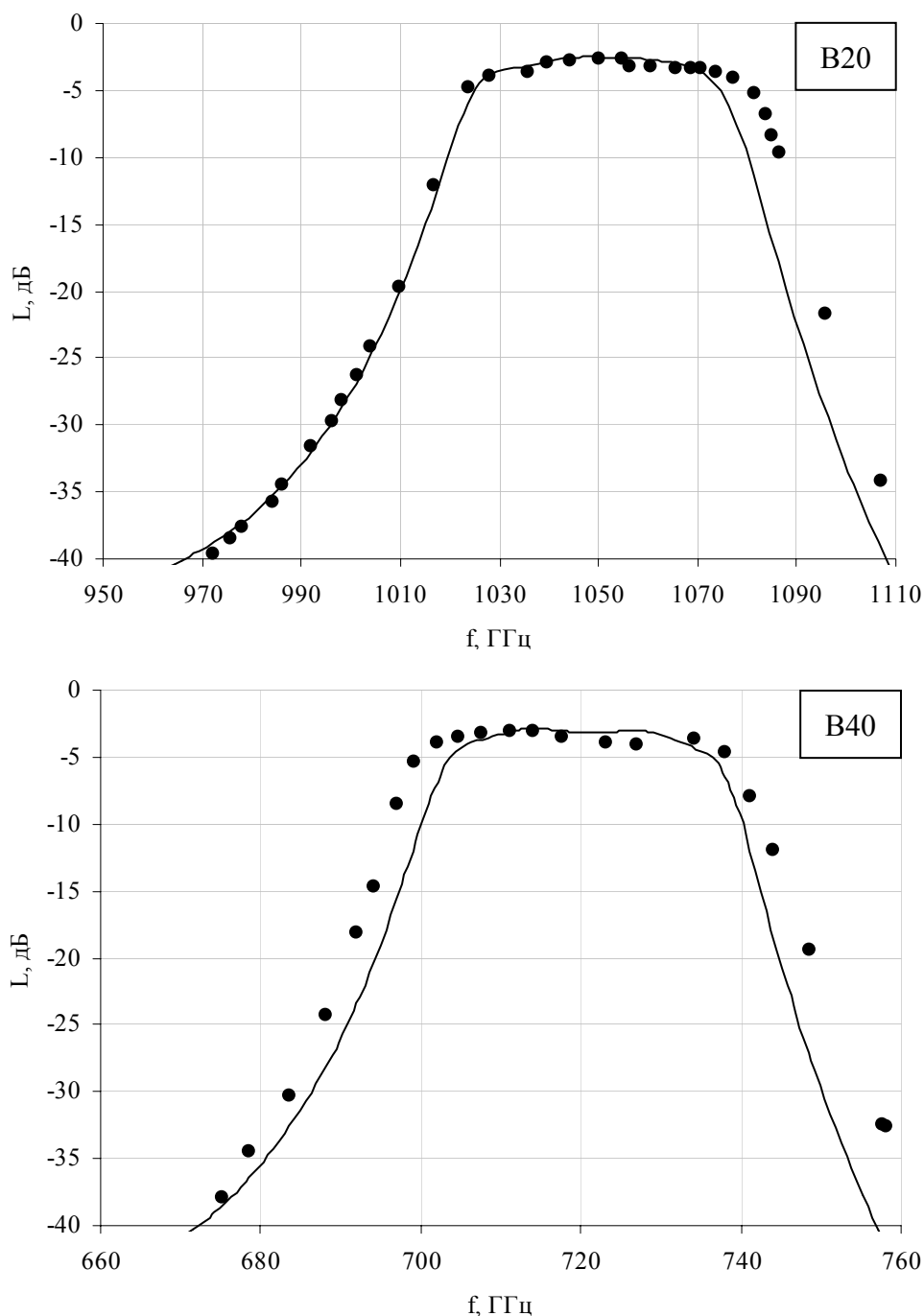


Рис. 2. АЧХ рассматриваемых фильтров (сплошные линии – расчет, точки - эксперимент)

Для оценки точности квазистатического расчета характеристик фильтров, используемого в программе анализа, проводится сравнение теории и эксперимента на образцах фильтров с разной шириной полосы пропускания и на подложках с разной диэлектрической проницаемостью. Изготовленные две пары фильтров имели относительную ширину полосы пропускания, измеренную по уровню -3 дБ $\Delta f_3/f_0 \approx 5\%$ и 10% . Для объективного сравнения

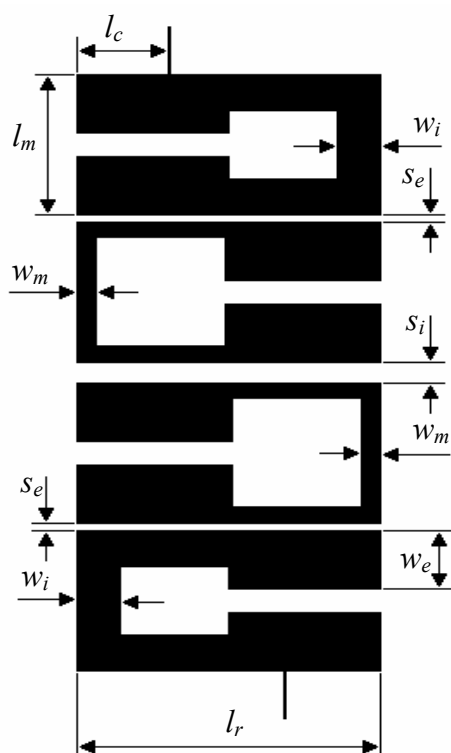


Рис.3. Модель МПФ

проводили расчет АЧХ подбором диэлектрической проницаемостей в заданных диапазонах, для В20 $E_r = 20 \pm 3$, а для В40 $E_r = 40 \pm 3$ и сравнивали со снятой экспериментальной характеристикой. Подобранные значения E_r показаны в таблице 1. Погрешность, возникающая при изготовлении фильтров методом гравировки по лаку по большей части связана с неточной юстировкой резца координатографа.

Анализ графиков АЧХ показал, что на обоих образцах фильтров наблюдается качественное согласие расчета и эксперимента. А именно наблюдается совпадение крутизны склонов АЧХ. Расчетная центральная частота полосы пропускания отличается от измеренной не более чем на 3 %, а расчетная ширина полосы пропускания по уровню -3 дБ отличается не более чем на 15 %. При этом у фильтров на подложке В20 наблюдается даже некоторое количественное совпадение по прямым потерям теории и эксперимента по уровню -3 дБ. В общем же отклонения по потерям связаны с неточной настройкой фильтров после изготовления, вызванных перечисленными выше погрешностями. Следует отметить, что основной целью данной работы не стояла настройка фильтров, необходимо было сравнить теорию с экспериментом.

Таким образом, результатом данной работы является теоретическое и экспериментальное подтверждение корректности выбранной модели расчета частотных характеристик данной микрополосковой конструкции. Проведено качественное сравнение квазистатического расчета с экспериментом на образцах ППФ. Показано, что результат теоретического расчета совпа-

фильтров, геометрические размеры резонаторов у всех фильтров были выбраны одинаковые: ширина низкоомного и высокоомного участков и длина резонаторов. Для каждой пары фильтров изменялись только зазоры между резонаторами. При этом центральная частота у фильтра на подложке из керамики В40 составила величину $f_0 \approx 1,05$ ГГц, а у фильтра на подложке из керамики В20 $f_0 \approx 0,72$ ГГц.

На рис. 2 изображены теоретические и экспериментальные АЧХ для двух МПФ на нерегулярных, встречно направленных шпильковых МПР, с относительной шириной полосы пропускания $\Delta f_3/f_0 \sim 5\%$. Параметры синтезированных фильтров представлены в таблице 1 в соответствии с обозначениями, приведенными на рис. 2.

Расхождения при сравнении теории с экспериментом связано с погрешностью координатографа при вырезании топологии, с погрешностью при травлении (подтрав) и с допусками по диэлектрической проницаемости подложки. Первоначальное несовпадение по частоте вызвано тем, что изначально в расчете фильтра, например, на подложке В20, E_r брали равной 20. Для нахождения более точного значения проницаемости E_r

Таблица 1 Параметры МПФ

	В20	В40
$l_r, \text{ мм}$	18,870	18,830
$l_c, \text{ мм}$	16,920	16,830
$l_m, \text{ мм}$	4,360	4,350
$w_e, \text{ мм}$	1,455	1,448
$w_i, \text{ мм}$	0,957	0,953
$w_m, \text{ мм}$	0,912	0,923
$s_e, \text{ мм}$	2,637	2,640
$s_i, \text{ мм}$	2,975	2,973
$H_d, \text{ мм}$	2	
E_r	17	37,5
$S, \text{ мм}^2$	23×30	

дает с экспериментальными данными в пределах допустимой погрешности.

Создана программа, осуществляющая анализ микрополосковых конструкций состоящих из встречно направленных, шпильковых МПР со скачком волнового сопротивления.

Список литературы

- [1] Тюрнев В.В. Квазистатическая теория связанных микрополосковых линий. – Красноярск: ИФ. 1989. – 19 с. (Препринт №557Ф РАН. Сиб. отд-ние, ИФ им. Л.В. Киренского)
- [2] Беляев Б.А., Никитина М.И., Тюрнев В.В. Экспертная система FILTEX для синтеза микрополосковых фильтров // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ – техника. – 1999, Вып. 1(473). – С. 45-49.
- [3] Донов М.В., Лалетин Н.В. Приближенная модель расчета частотных характеристик микрополосковых фильтров на нерегулярных микрополосковых резонаторах // «САКС-2001»: Материалы Международной научно-практической конференции. (1 - 4 дек., 2001, г. Красноярск) / САА. – Ч. II. – Красноярск, 2001. – С. 103-105.