

УДК621.396.692/.694.5

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОДЛОЖКИ МИКРОПОЛОСКОВОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА
НА ЕГО ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

М.С. Мурманский

Научный руководитель: к.т.н. Е.С. Жечев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, Томск, ул. Ленина 40, 634045

E-mail: mihailmurmanskii@gmail.com

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF RELATIVE DIELECTRIC PERMITTIVITY VARIATIONS
IN MICROSTRIP BANDPASS FILTER SUBSTRATE ON ITS FREQUENCY RESPONSE**

M.S. Murmasnky

Scientific Supervisor: PhD. Y.S. Zhechev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenina str., 40, 634045

E-mail: mihailmurmanskii@gmail.com

***Abstract.** This paper presents the results of the design of a microstrip bandpass filter using the Microwave Office system. Additionally, the impact of relative permittivity on the frequency characteristics of the microstrip bandpass filter has been investigated.*

Введение. На сегодняшний день полосно-пропускающие фильтры (ППФ) являются неотъемлемой частью современных радиотехнических устройств, работающих в условиях высокого уровня шумов. Требования к таким устройствам, как правило, заключаются в следующем: простота изготовления, хорошие избирательные свойства, низкая стоимость и миниатюрность. Технологическому процессу изготовления уделяется особое внимание, поскольку у классических микрополосковых фильтров могут измениться как геометрические параметры, так и параметры диэлектрика [1].

Цель данной работы – исследовать влияние изменения относительной диэлектрической проницаемости подложки микрополоскового полосно-пропускающего фильтра (ППФ) на его частотные характеристики.

Экспериментальная часть. Фильтры ППФ легко реализуются на микрополосковых линиях (МПЛ) для узких полос пропускания. При относительных полосах пропускания свыше 20 % зазоры между проводниками становятся очень малыми и трудновыполнимыми. Полосно-пропускающие фильтры на связанных полуволновых резонаторах имеют достаточно большие габариты. Уменьшение габаритов достигается за счет сворачивания каждого резонатора в меандр [2]. В качестве среды моделирования использовалась программа AWR Microwave Office, был спроектирован микрополосковый ПФ 3 порядка [3]. На рисунке 1 представлена схема микрополоскового ППФ.

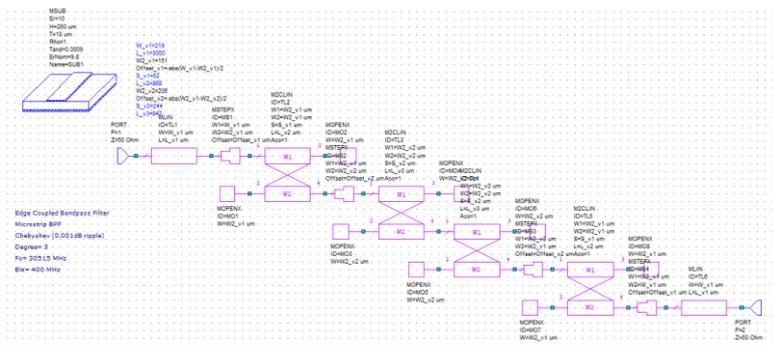


Рис. 1. Схематическое отображение ППФ на МПЛ

Поскольку фильтр необходимо настроить на определенную центральную частоту и на конкретную полосу пропускания применялась частотная оптимизация. Оптимизация проводилась по 2 частотным диапазонам. Первый диапазон обеспечивал стабильность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) в пределах полосы пропускания (ПП). Вторым частотным диапазоном необходимо обеспечить подавление: $11,135 \text{ ГГц} > 30 \text{ дБ}$, $18 - 20 \text{ ГГц} > 30 \text{ дБ}$.

По итогам оптимизации проводилось маркирование экспериментального образца на МПЛ и производилось измерение значений S -параметров.

Результаты. По результатам измерения получено, что у измеренного ППФ на МПЛ появилась неравномерность АЧХ в пределах ПП, образовалась нестабильность АЧХ в пределах ПП. Дополнительно к этому осуществился перенос центральной частоты ППФ на меньшую частоту. На рисунке 2 показана АЧХ рассчитанного и измеренного МПЛ ППФ.

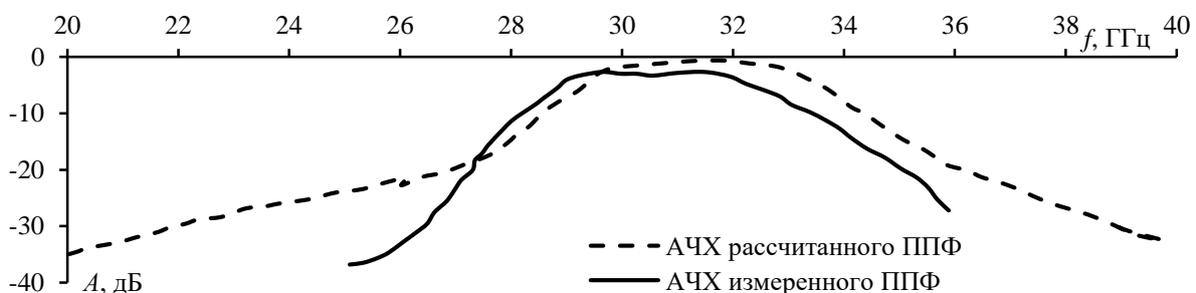


Рис. 2. АЧХ рассчитанного и измеренного МПЛ ППФ

Необходимо исследовать влияние относительной диэлектрической проницаемости на АЧХ микрополоскового ППФ. В [4] сказано, что, если материал композитный, например армированный слоистый диэлектрик, значение ϵ_r может значительно меняться в зависимости от долевого содержания каждой компоненты. И поэтому путем изменения значений относительной диэлектрической проницаемости необходимо было добиться, чтобы АЧХ смоделированного ППФ приблизилась по своим значениям к АЧХ экспериментальной модели. На рисунке 3 показан график изменения АЧХ с увеличением значений ϵ_r .

По итогам изменений ϵ_r было установлено, что увеличение ϵ_r приводит к сдвигу центральной частоты АЧХ на более низкую частоту с постоянным шагом в 200 МГц.

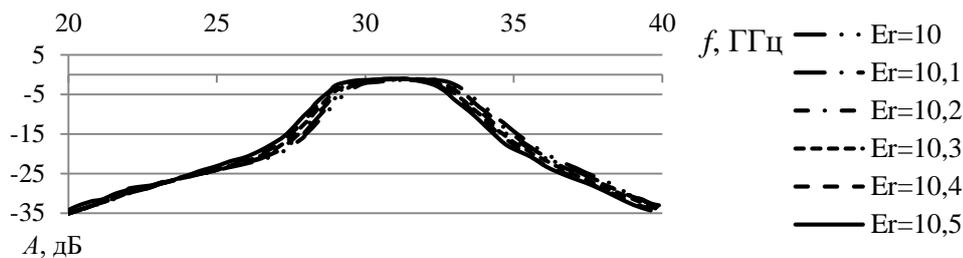


Рис. 3. График АЧХ рассчитанного МПЛ ППФ с изменением ϵ_r

Дополнительно к этому необходимо изучить, как повлияет $tg\delta$ на АЧХ. Повышение тангенса угла потерь привело к изменению АЧХ, такому как спад в уровне по центральной частоте и изменение полосы пропускания. В реальных условиях изменение тангенса угла диэлектрических потерь возможно только до 0,0002, соответственно расчет для $tg\delta = 0,01$ можно не учитывать. На рисунке 4 показан график АЧХ с изменением $tg\delta$

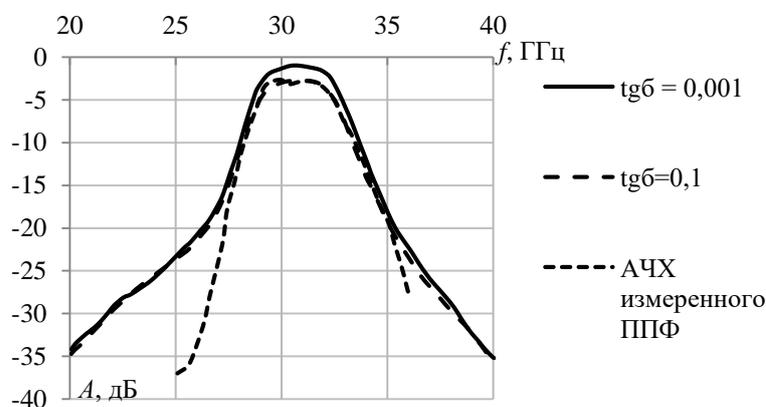


Рис. 4. График АЧХ рассчитанного ППФ на МПЛ с изменением $tg\delta$

Заключение. В результате проведенных исследований получено, что у экспериментальной модели случился производственный «уплыв» ϵ_r , и произвелось $tg\delta$ изменение. По итогам исследования выявлено, что увеличение ϵ_r приводит к сдвигу АЧХ в частотном диапазоне в более низкие частоты. Дополнительно к этому исследовано, $tg\delta$ что влияет на такие параметры, как амплитуду АЧХ и приводит к сужению ПП.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2022-0001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савишников М.О., Дмитриев Д.Д., Кабанов Э.Д. Миниатюрный полосно-пропускающий СВЧ-фильтр со сверхглубоким уровнем подавления в широкой полосе заграждения // Журнал Сибирского федерального университета. Инженерия и технологии. – 2019 г. № 12(9). – С. 758-763.
2. Ковалев, С.И. Конструирование и расчет полосковых устройств – М.: Советское радио, 1974. – 118 с.
3. Дмитриев, Е.Е. Проектирование фильтров в MicrowaveOffice с помощью iFilter – М.: Учебно-методическое пособие, 2010. – 52 с.
4. ГОСТ IEC61188-1-2— 2013. Печатные платы и печатные узлы проектирование и применение часть 1-2. 2014 г. – 39 с.