

# Полосовые перестраиваемые фильтры на основе объемных структур

А.И. Тюменцев<sup>1</sup>, А.А. Тюменцева<sup>1,2</sup>, Т.С. Тимошенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>АО «Омский научно-исследовательский институт приборостроения»

<sup>2</sup>Омский государственный технический университет

**Аннотация:** Показана возможность реализации перестраиваемого полосового фильтра на основе различных объемных структур, выполненных на основе ЛТСС. Приведены расчетные соотношения, разработана 3D модель фильтра на спиральных резонаторах и получены расчетные S-параметры модели фильтра

**Ключевые слова:** ЛТСС, объемные резонаторы, перестраиваемые фильтры

## 1. Введение

Как известно, для обеспечения устойчивой и качественной работы малогабаритной аппаратуры связи в СВЧ диапазоне необходимы миниатюрные перестраиваемые полосовые фильтры с низкими потерями в полосе пропускания. Одним из таких решений могут стать малогабаритные фильтры на основе объемных структур, выполненные на технологии ЛТСС. Создание малогабаритных узкополосных фильтров с малыми потерями в СВЧ диапазоне является важной задачей, в силу того, что фильтры на основе полосковых линий в нижней части СВЧ диапазона имеют большие габаритные размеры.

## 2. Расчет интегрального спирального резонатора

В последнее время широкое распространение получили волноводные структуры по типу интегрированные в подложку волноводы, изготавливаются на основе интегральных технологий, имеют меньшие массогабаритные характеристики при сохранении их основного преимущества – малые потери.

Использование объемных и спиральных резонаторов, нагруженных на емкость позволяет существенно уменьшить размеры резонатора, без уменьшения добротности. Для перестройки этих резонаторов по частоте достаточно изменять емкость резонатора. Покажем пример расчета такого фильтра на основе спирального резонатора.

Спиральный резонатор, представляет собой четвертьволновый отрезок спиральной линии и состоит из однослойной цилиндрической катушки внутри круглого или прямоугольного высокопроводящего экрана. Реализация спирального резонатора в виде интегрированной в керамическую подложку катушки индуктивности, замкнутой с одной стороны на экран, со свободным концом с другой стороны и отводом, позволит не только уменьшить размеры спирального резонатора в  $\sqrt{\epsilon}$  раз по сравнению с его классическим исполнением, реализовывать узкополосные малогабаритные фильтры в интегральном виде, но и расширить верхний предел диапазона частот до 5000 МГц.

Двухрезонаторный фильтр представляет собой конструкцию, состоящую из двух резонаторов. Традиционным способом организации связи между резонаторами является диафрагма в смежной стенке [1]. Такая связь в общем случае является смешанной (как магнитной, так и электрической)

Для расчета фильтра на двух спиральных резонаторах с центральной частотой 3900 МГц и полосой пропускания 10% проведем расчет спирального резонатора.

При расчете интегрального спирального резонатора необходимо принять во внимание следующие уточнения:

- расстояние  $\tau$  между витками спирали определяется толщиной керамического листа или кратна ей;
- максимальная высота резонатора ограничивается максимально возможным количеством керамических слоев в структуре (для LTCC не более 40 слоев [2]);
- за диаметр проводника  $d$  принимаем ширину печатного полоска интегральной спирали.

Конструкция интегрального спирального резонатора показана на рисунке 1.

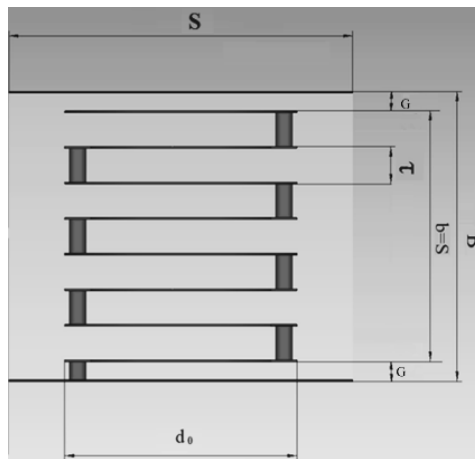


Рисунок 1. Конструкция интегрального спирального резонатора в LTCC

Методика расчета фильтра на спиральных резонаторах заключается в основном в расчете конструктивных параметров резонатора, определения типа связи между резонаторами и ее настройки [3].

### 3. Результаты электромагнитного моделирования

В результате проведенных расчетов была получена структура двух резонаторного фильтра на спиральных резонаторах (рис.2), состоящая из 12 слоев керамики марки СКМ с толщиной слой 0,2 мм. Габаритные размеры фильтра 5x2x2,4 мм.

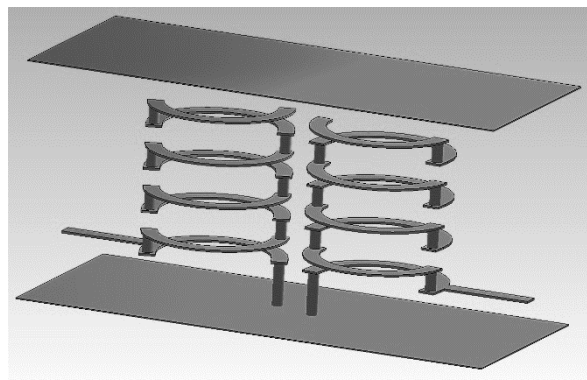


Рисунок 2. Конструкция фильтра на спиральных резонаторах в LTCC

Центральная частота фильтра 3890 МГц, полоса пропускания 12%, вносимые потери 0,5 дБ.

Для перестройки фильтра по частоте в конструкцию между холодными концами спирали и экраном фильтра были добавлены SPICE-модели варикапов SMV2020 ф. Skyworks [4]. Зависимость коэффициента передачи и коэффициента отражения при перестройке фильтра, полученные путем электродинамического моделирования, показаны на рис. 3.

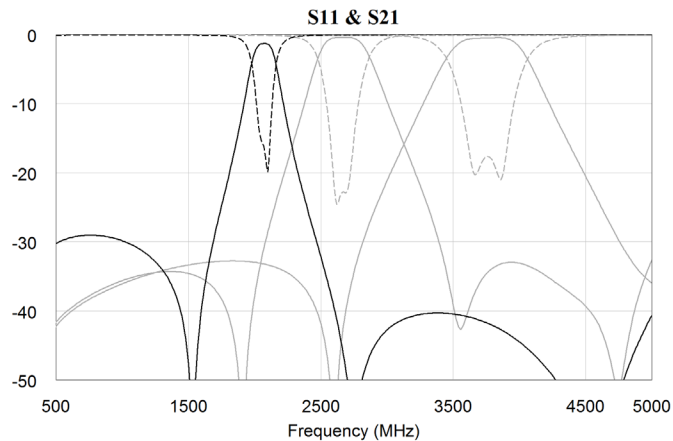


Рисунок 3. Характеристика фильтра при перестройке.

Перестройка фильтра составила от 2000 до 3700 МГц при изменении емкости от 0,3 до 3,5 пФ (изменение управляющего напряжения от 0 до 20 В), вносимые потери изменяются от 0,6 до 1,3 дБ, полоса пропускания изменяется от 12 до 9%, коэффициент отражения в полосе пропускания не менее 15 дБ.

Таким же образом возможно реализовать перестраиваемый фильтр на основе объёмного резонатора.

#### 4. Заключение

В работе показана возможная реализации миниатюрного пологого перестраиваемого фильтра на основе интегральных спиральных резонаторов, выполненных на основе многослойной керамической подложки, с полосой пропускания ~10% и диапазоном перестройки центральной частоты от 2 до 3,7 ГГц.

#### Список литературы

1. Знаменский А.Е. Алексеев Л.В., Лоткова Е.Д. Электрические фильтры метрового и дециметрового диапазонов. – М. : Связь, 1976.
2. Вендик И.Б. и др. Многослойные интегральные схемы сверхвысоких частот на основе керамики с низкой температурой обжига //Компоненты и технологии. – 2005. – Вып. 5. – С. 190-196.
3. Фильтр на миниатюрных спиральных резонаторах с высокой добротностью [Электронный ресурс] / А. Тюменцев, Т. Тимошенко // Электронные компоненты (СВЧ-электроника 2022). - 2022. - Прил. к № 1. - С. 13-15.
4. Skyworks Solutions, Inc. [Электронный ресурс] URL: [http://www.skyworksinc.com/-/media/SkyWorks/Documents/Products/2601-2700/SMV2019\\_2023\\_Series\\_203252C.pdf](http://www.skyworksinc.com/-/media/SkyWorks/Documents/Products/2601-2700/SMV2019_2023_Series_203252C.pdf) (дата обращения: 01.04.2024)