

Микрополосковые фильтры на подложках с высокой диэлектрической проницаемостью, как замена фильтров на диэлектрических резонаторах

А.А Лицов

АО «НПП «Исток» им. Шокина»

Аннотация: в работе описаны способы повышения частотной избирательности полосно-пропускающих микрополосковых шпилечных фильтров и результаты «3-d EM» моделирования таких фильтров на подложках с диэлектрической проницаемостью в 40 ед., на основе которых возможна разработка микрополосковых полосно-пропускающих фильтров, параметры которых по широкополосности превосходят, а по частотной избирательности сравнимы с фильтрами на диэлектрических резонаторах.

Ключевые слова: микрополосковый полосно-пропускающий шпилечный фильтр, частотная избирательность, фильтр на диэлектрических резонаторах.

1. Введение

В СВЧ-устройствах широкое применение нашли полосно-пропускающие фильтры, принцип действия которых основан на частотной избирательности полезного сигнала на фоне помех. Высокой частотной избирательностью характеризуются фильтры на диэлектрических резонаторах, выполненных из материалов с высокой диэлектрической проницаемостью [1]. К недостаткам таких фильтров можно отнести сложную и трудоемкую ручную настройку, связанную с пониженной точностью как механического изготовления диэлектрических резонаторов, так и их механического позиционирования в конструкции. К преимуществам микрополосковых фильтров можно отнести повышенную точность их изготовления методом прецизионной фотолитографии.

2. Способы повышения частотной избирательности микрополосковых шпилечных фильтров

Известна конструкция микрополосковых полосно-пропускающих шпилечных фильтров, содержащая цепочку полуволновых резонаторов, согнутых по форме шпильки и расположенных в ряд на диэлектрической подложке. К существенным преимуществам таких фильтров можно отнести возможность повышения частотной избирательности при увеличении количества резонаторов без увеличения ширины подложки. Это позволяет избежать паразитного влияния волноводно-диэлектрического резонанса, возникающего в достаточно широкой подложке фильтра. К дополнительным преимуществам таких фильтров можно отнести возможность подстройки полосы пропускания при изменении длины плеч резонаторов прецизионной лазерной абляцией.

Повышение частотной избирательности шпилечных фильтров может быть получено при увеличении зазоров между резонаторами. В результате этого уменьшается взаимодействие между резонаторами, выравниваются их электрические длины, все резонаторы имеют одинаковые резонансные частоты и фильтр характеризуется повышенной избирательностью. Повышение избирательности фильтра таким способом ограничено величиной зазора, при которой соседние резонаторы практически не взаимодействуют друг с другом. К недостаткам такого

способа можно отнести увеличение неравномерности потерь в полосе пропускания.

Повышение частотной избирательности шпилечных фильтров может быть получено, также при увеличении количества резонаторов. К недостаткам такого способа можно отнести увеличение потерь в полосе пропускания.

Повышение частотной избирательности шпилечных фильтров может быть получено, также при увеличении диэлектрической проницаемости подложки фильтров, даже с учетом того, что при повышении диэлектрической проницаемости уменьшается ширина подложки.

Повышение частотной избирательности шпилечных фильтров может быть получено, также при размещении над фильтром П-образной металлической крышки, расстояние между боковыми стенками которой равно ширине диэлектрической подложки фильтра. В результате этого металлическая крышка вместе с экранной металлизацией микрополосковой топологии фильтра является запертым волноводом и фильтр характеризуется повышенной избирательностью в диапазоне частот ниже полосы пропускания фильтра. При размещении микрополоскового фильтра на печатной плате П-образная металлическая крышка обеспечивает дополнительно высокую стабильность хрупкой диэлектрической подложки фильтра к температурным и механическим воздействиям со стороны печатной платы. При этом, если длина крышки превышает длину подложки фильтра, то исключается возможность паразитного прохождения сигнала со входа фильтра на его выход в обход металлической крышки, так как конструкция образует запертые волноводы в области переходов с печатной платы на фильтр (см. Рис.1) [2].

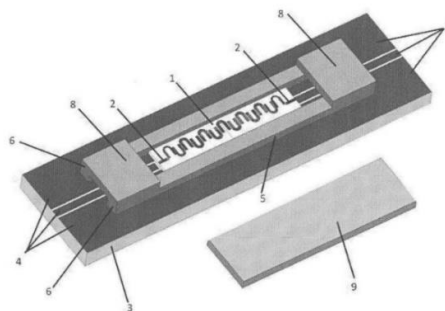


Рисунок 1. Схематическое изображение микрополоскового шпилечного фильтра под П-образной металлической крышкой на печатной плате

Повышение частотной избирательности шпилечных фильтров может быть получено, также при уменьшении воздушного зазора между шпилечными резонаторами и горизонтальной стенкой П-образной металлической крышки. Если такое расстояние стандартно равно пяти толщинам подложки, то фильтр не обладает повышенной избирательностью в верхней части полосы запираения из-за влияния паразитной полосы пропускания. Это может быть объяснено тем, что в микрополосковой линии вместе с не имеющей частотной дисперсии основной волной ТЕМ-типа, силовые линии электрического поля которой перпендикулярны к полосковой линии, возбуждается и распространяется имеющая частотную дисперсию паразитная волна Е-типа. Силовые линии электрического поля такой волны продольны к микрополосковой линии. Без влияния паразитной волны Е-типа частоты паразитной полосы пропускания фильтра почти в два раза превышают частоты рабочей полосы пропускания фильтра. В результате влияния паразитной волны Е-типа, частоты паразитной полосы пропускания фильтра значительно ниже, чем частоты, в два раза превышающие частоты рабочей полосы пропускания фильтра. Уменьшение расстояния между шпилечными резонаторами и горизонтальной стенкой П-образной крышки обеспечивает преобразование волны Е-типа в волну ТЕМ-типа, что

существенно повышает избирательность фильтра в верхней части полосы запираания фильтра. Такое преобразование может быть проиллюстрировано с помощью рисунка 2, где на рисунке 2а приведено схематичное изображение поперечного разреза шпилечного резонатора на диэлектрической подложке под П-образной металлической крышкой и силовых линий волн ТЕМ и Е-типов, если расстояние между горизонтальной стенкой крышки и резонаторами равно стандартному значению в пять толщин подложки. При этом отсутствует преобразование силовых линий электрического поля паразитной волны Е-типа в силовые линии электрического поля основной волны ТЕМ-типа. На рисунке 2б приведено схематичное изображение поперечного разреза шпилечного резонатора и силовых линий волн ТЕМ и Е-типов, если расстояние между горизонтальной стенкой П-образной металлической крышки и шпилечными резонаторами равно толщине подложки. При этом происходит существенное преобразование продольных силовых линий электрического поля паразитной волны Е-типа в перпендикулярные силовые линии электрического поля основной волны ТЕМ-типа.

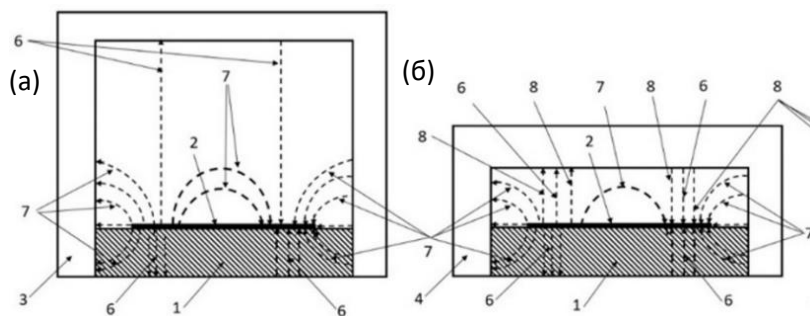


Рисунок 2. Схематичное изображение поперечного разреза микрополоскового шпилечного резонатора под П-образной металлической крышкой и силовых линий волн ТЕМ и Е-типов а) расстояние между горизонтальной стенкой крышки и резонаторами равно значению в пять толщин подложки, б) расстояние между горизонтальной стенкой крышки и резонаторами равно толщине подложки.

Повышение частотной избирательности шпилечных фильтров может быть получено при размещении на выходе фильтра нижних частот, который увеличивает избирательность на частотах паразитной полосы пропускания. К недостаткам такого способа можно отнести повышение потерь в полосе пропускания.

3. Результаты 3-d EM моделирования и их анализ

Микрополосковый полосно-пропускающий шпилечный фильтр полагался выполненным из 15-ти резонаторов на подложке из микроволновой керамики с диэлектрической проницаемостью в 40 ед. (см. рисунок 3). На этой же подложке располагался эллиптический фильтр нижних частот из 11-ти резонаторов, индуктивные элементы которого были выполнены в форме спиралей, соединённых золотыми перемычками.

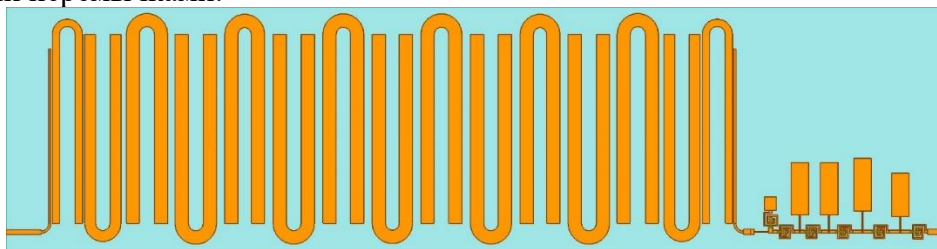


Рисунок 3. Топология микрополоскового полосно-пропускающего фильтра на диэлектрической подложке

Над фильтром размещалась П-образная металлическая крышка, расстояние между боковыми стенками которой равно ширине диэлектрической подложки фильтра, а воздушный зазор между шпильчными резонаторами и горизонтальной стенкой крышки выбирался равным одной толщине подложки фильтра.

Моделирование с оптимизацией микрополоскового фильтра производилось с использованием современной программы «3D» электромагнитного моделирования на основе метода конечных элементов.

Результаты моделирования фильтра в виде графиков зависимости коэффициента передачи S_{12} от частоты приведены на рисунке 4.

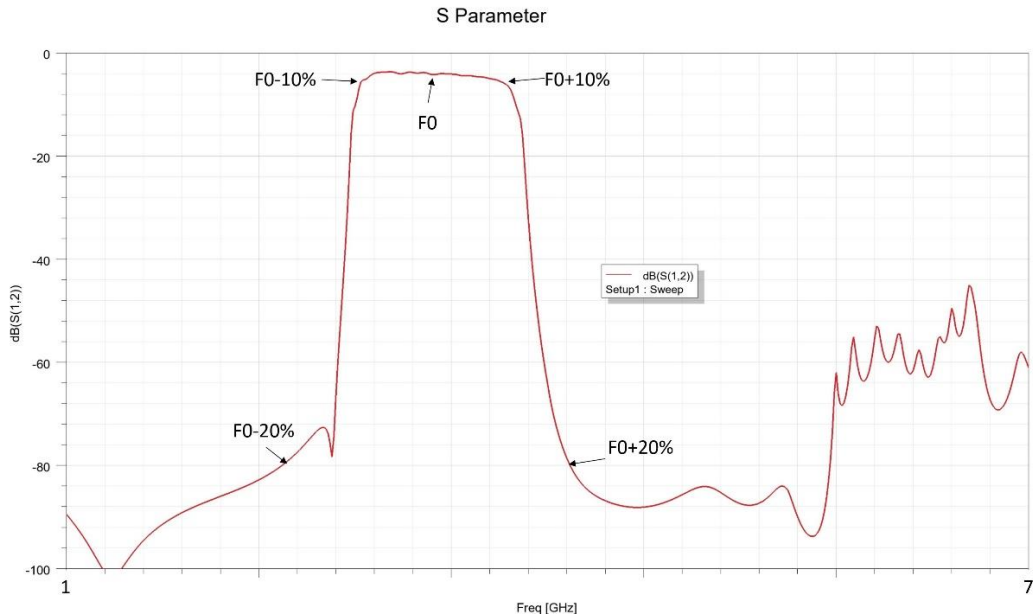


Рисунок 4. Зависимость коэффициента передачи S_{12} микрополоскового полосно-пропускающего фильтра на подложке с диэлектрической проницаемостью в 40 ед.

Из анализа результатов, приведенных на рисунке 4, можно сделать вывод о вносимых потерях смоделированного фильтра не более 5 дБ при неравномерности не более 1 дБ в 20% полосе пропускания в «S»-диапазоне, при повышенной частотной избирательности, соответствующей запиранию на уровне не менее 80 дБ как при отстройке в 10% от нижней граница полосы пропускания, так и отстройке в 10% от верхней границы полосы пропускания, при запирании на частотах паразитной полосы пропускания 5-7 ГГц не менее 50 дБ. Такая широкополосность превосходит, а избирательность не уступает избирательности фильтров на диэлектрических резонаторах, выполненных из материалов диэлектрической проницаемостью в 40 ед.

Заключение

В результате электродинамического «3D» моделирования показана возможность создания микрополоскового шпильчного полосно-пропускающего фильтра S-диапазона на подложке с диэлектрической проницаемостью в 40 ед., который может быть использован как замена фильтров на диэлектрических резонаторах.

Список литературы

1. Кузьмич Д. В., Нецветаева П. В., Фирсенков А. И. Полосно-пропускающие фильтры L-диапазона на коаксиально-металлокерамических резонаторах из термостабильной керамики // Электроника и микроэлектроника СВЧ. – 2018. – Т. 1. – С. 111-114.
2. Патент RU 2 820 301 С1, дата публикации 03.06.2024, МПК H05K 3/00.