

Опыт разработки миниатюрных керамических фильтров

А.А. Тюменцева^{1,2}, Ю.И. Егошин^{1,2}, Т.С. Тимошенко¹, М.С. Батищева¹, А.И. Тюменцев¹

¹АО «Омский научно-исследовательский институт приборостроения»

²Омский государственный технический университет

Аннотация: В работе показана возможность разработки и изготовления миниатюрных керамических фильтров на основе отечественной керамики LTCC. Приведены основные возникшие сложности и показаны пути их решения.

Ключевые слова: СВЧ-фильтр, миниатюрный керамический фильтр, LTCC

Введение

В современной аппаратуре связи все большее внимание уделяется миниатюризации массогабаритных характеристик ЭКБ [1–3]. Поэтому на замену традиционным фильтрам приходят интегральные фильтры на основе толстых и тонких пленок. Но, поскольку проектирование и изготовление такого типа фильтров является узкоспециализированным направлением, то необходим опыт для работы с этими фильтрами. Известен опыт разработки интегральных фильтров как у нас в стране, так и за рубежом [4]. Однако, для разработки миниатюрных керамических интегральных фильтров 3,2x1,6 мм необходим другой подход.

В данной работе рассмотрен опыт разработки и основные проблемы изготовления миниатюрных монолитных керамических фильтров, а также приведены основные пути их решения.

Основные теоретические соотношения

Интегральные фильтры – это монолитная структура. Для достижения высокого уровня повторяемости расчетных и изготовленных характеристик фильтров необходимо предварительное электромагнитное моделирование. При моделировании каждого элемента схемы по отдельности важно наиболее точно получить необходимые номиналы. Также одним из подходов для уменьшения размеров фильтров может стать применение вертикальной компоновки [5].

Как показала практика и опыт работы с импортной и отечественной керамикой, есть существенные отличия как при разработке и компоновке интегральных фильтров, так и при их изготовлении. Так основными сложностями при разработке фильтров является отсутствие в сопроводительной документации на отечественную керамику таких характеристик материала как диэлектрическая проницаемость материала ϵ , тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\alpha$ в диапазоне частот, значительный допуск на толщину листа керамики.

Вне зависимости от толщины листа керамики остается сложность в компоновке миниатюрных фильтров на частоты ниже 1 ГГц. Также, в связи с этим возникают следующие трудности при производстве:

1. при печати топологически нагруженных слоев на керамике с толщиной листа 100 мкм (что необходимо для реализации фильтров с большой емкостью) происходит намокание керамики из-за плотности рисунка;
2. необходимость снижения разрешения проводник/зазор до 80/80 мкм в

узких местах;

3. необходимость обеспечения точности резки для возможности расположения топологии с зазором 100 мкм по периметру.

Решением обозначенных проблем могут стать следующие шаги:

1. необходим особый подход к мультипликации фильтров на этапе подготовки производства, при котором происходит чередование фильтров с более и менее нагруженными слоями одновременно;
2. применение вертикальной компоновки. Данный подход оправдывает себя для фильтров большого порядка или эллиптических схем;
3. в силу отсутствия нормированных значений электрических характеристик керамики при проектировании был применен подход, при котором изменение диэлектрической проницаемости материала ϵ и толщины диэлектрика в диапазоне $\pm 5\%$ не несет значительного ухудшения характеристик фильтров.

Результаты расчетов

С учетом предложенного подхода к изготовлению миниатюрных керамических фильтров был проведен расчет, электромагнитное моделирование и изготовление фильтров нижних частот с применением вертикальной компоновки, размеры которых составляют 3,2x1,6 мм в частотном диапазоне от 350 МГц до 850 МГц. На рисунках 1а и 1б показаны 3D-модели данных фильтров.

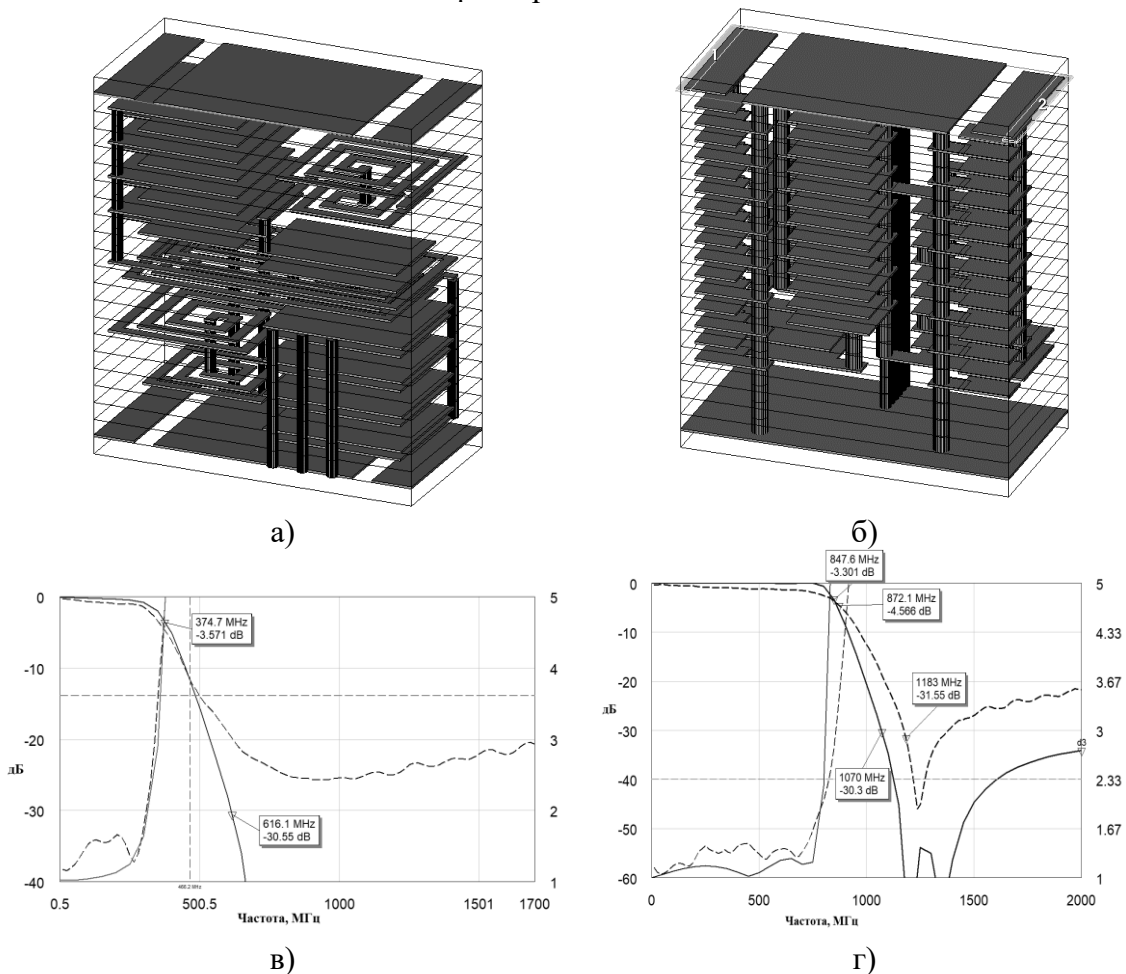


Рисунок 1. 3D-модели интегральных фильтров (а) и (б) и их полученные характеристики (в) и (г)

Из графиков видно, что расчетная характеристика фильтра S21 достаточно точно совпадает с характеристикой изготовленного фильтра в полосе пропускания, но имеет отклонения в дальней зоне, также видна достаточно сильная неравномерность КСВН. Получившиеся отклонения связаны с отличием номинальных значений элементов в силу того, что в модели были заложен ряд требований, превосходящий текущий уровень производства, и необходима дальнейшая отработка техпроцесса изготовления подобных устройств.

Заключение

Таким образом, на основе отечественной керамики LTCC возможно создание миниатюрных керамических фильтров нижних частот до 1 ГГц. При разработке важно учитывать разброс показателей материала (диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь и толщины листа керамики). Приведенные пути решения сложностей, возникающих при проектировании и изготовлении, позволили создать миниатюрные керамические фильтры на частоты от 350 МГц до 850 МГц с габаритными размерами 3,2x1,6 мм.

Список литературы

1. Тургалиев В. М. Емкостно-нагруженные резонаторы и фильтры СВЧ на их основе: Дис. кан. тех. наук – С.- П. – 2015. – 118 с.
2. Вендик И.Б. Многослойные интегральные схемы сверхвысоких частот на основе керамики с низкой температурой обжига [текст] / И.Б. Вендик, Д.В. Холодняк, А. В. Симин // Компоненты и технологии. - 2005, Вып. 5. – С. 190 – 196.
3. Многослойные интегральные схемы сверхвысоких частот на основе керамики с низкой температурой обжига. Часть 2. Средства проектирования и реализация пассивных устройств. // А. Симин, Д. Холодняк, И. Вендик. Компоненты и технологии №6 '2005.
4. Pozar, D.M., Microwave Engineering, 3-rd edition / D.M.Pozar // New York, Wiley. – 2005. – 472 p
5. Миниатюризация интегральных СВЧ-фильтров за счет вертикальной компоновки / Т. С. Тимошенко, А. А. Тюменцева, Ю. И. Егошин // Техника радиосвязи. - 2023. - № 2. - С. 51-55.