

Интегральные LC-фильтры нижних частот по тонкопленочной прецизионной технологии

О.И. Солодовникова, Д.А. Борейко, А.И. Тюменцев

АО «ОНИИП»

Аннотация: Рассмотрены вопросы реализации фильтров на основе многослойных конденсаторов и катушек индуктивности в интегральном исполнении с использованием технологии напыления металлов и диэлектрических слоев в вакууме. Осуществлено моделирование конструкций фильтров нижних частот с учетом электромагнитных свойств материалов, представлены расчетные и экспериментальные характеристики.

Ключевые слова: интегральные LC-фильтры, ФНЧ, тонкопленочная прецизионная технология, напыление металлов в вакууме, элементы с сосредоточенными параметрами, АЧХ.

1. Введение

В современных радиоэлектронных устройствах широкое распространение получили компоненты, предназначенные для обеспечения частотной селекции, в том числе фильтры на основе элементов с сосредоточенными параметрами. Однако их массогабаритные показатели в ряде случаев оказываются неприемлемыми. Одним из способов решения данной проблемы является интеграция конденсаторов и катушек индуктивности в объем многослойной подложки вместе с коммутационными соединениями [1].

Такое исполнение фильтров, осуществляемое, как правило, с использованием толстопленочной технологии – LTCC-технологии (технология низкотемпературной совместно обжигаемой керамики) и технологии многослойных печатных плат, позволяет достичь сравнительно небольших габаритных размеров устройств. Однако относительно невысокая разрешающая способность проводящего рисунка, определяющая минимальную ширину проводника в катушках индуктивности, препятствует дальнейшей миниатюризации фильтров.

Одним из путей решения этой проблемы может быть использование прецизионной тонкопленочной технологии. Возможность формирования при такой технологии диэлектрических слоев толщиной 0,1–2 мкм с высокой диэлектрической проницаемостью (например, моноалюминат неодима NdAlO_3 имеет ϵ порядка 16-17) в сочетании с высокой разрешающей способностью, достигающей несколько мкм, позволяет значительно уменьшить размеры конденсаторов и катушек индуктивности и тем самым реализовать интегральные LC-фильтры с минимальными габаритными размерами.

Целью данной работы является исследование возможности реализации на основе тонкопленочной технологии миниатюрных интегральных фильтров на элементах с сосредоточенными параметрами.

2. Экспериментальные результаты

В качестве жесткой основы были выбраны подложки из материала ВК100-1 (алюминия оксид) – одного из традиционных материалов, обладающих высокими электрическими и эксплуатационными параметрами, на котором можно формировать коммутационные (медные проводники) и диэлектрические слои по тонкопленочной технологии.

Одной из особенностей создания многослойных тонкопленочных структур, которую необходимо учитывать при проектировании является формирование диэлектрических слоев и переходных отверстий, которое происходит в два этапа, на каждом из которых осуществляется напыление подслоя с толщиной равной половине слоя, при этом площадь нижнего слоя меньше площади верхнего слоя. Это позволяет сформировать плавный переход при организации межслойных переходов для исключения обрыва проводника (рисунок 1).

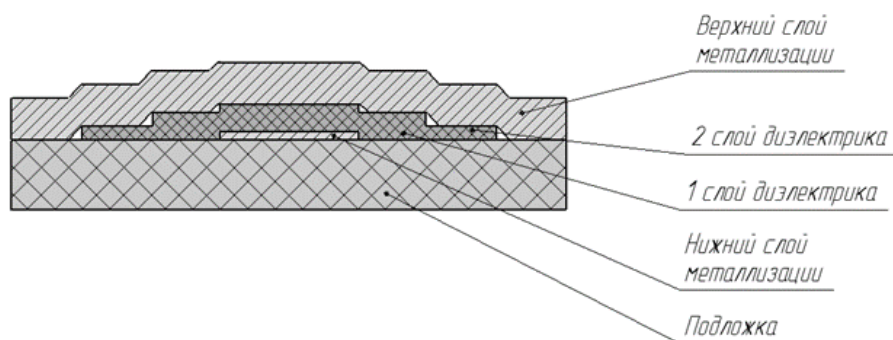


Рисунок 1. Межслойный переход, выполненный по тонкопленочной технологии

Данная особенность была принята во внимание при проектировании многослойных конденсаторов и катушек индуктивности в интегральном исполнении для возможности их изготовления по тонкопленочной прецизионной технологии.

Конструктивные исполнения элементов выбраны на основе исследований в области создания интегральных фильтров, приведенных в [2, 3], при этом для конденсаторов была выбрана конструкция в виде плоскопараллельного соединения прямоугольных обкладок, а катушки индуктивности – в виде планарной спирали.

Было произведено исследование возможности создания таких фильтров. На рисунке 2 приведены схемы фильтров нижних частот (ФНЧ), представляющего собой Т-образное и П-образное звенья, а на рисунке 3 – их трёхмерные модели.

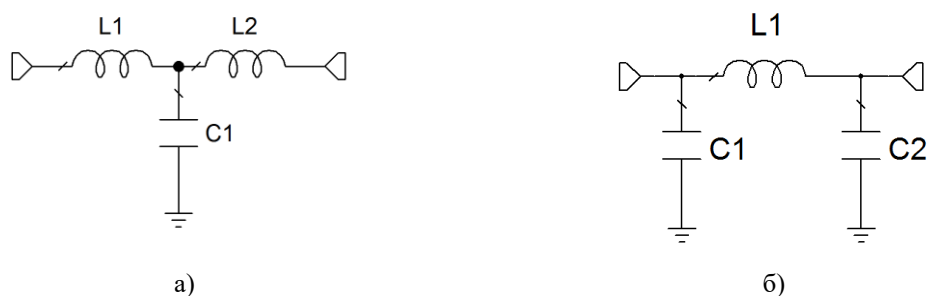


Рисунок 2. Схема проектируемого ФНЧ: а) с Т-образным звеном; б) с П-образным звеном

Были исследованы ФНЧ на частоты: для Т-образного звена – 500 МГц и П-образного звена – 300 МГц.

С учетом известных соотношений, приведенных в [4, 5], расчетные значения элементов Т-образного фильтра с частотой среза 500 МГц составляют 16 нГн для L1 и L2 и 12,7 пФ для C1 и для П-образного фильтра с частотой среза 300 МГц составляют 44 нГн для L1 и 14 пФ для C1 и C2. Анализ величин конденсаторов и катушек индуктивности показывает, что их реализация возможна в двух коммутационных слоях. Такой вариант изготовления является наиболее технологичным с учетом особенностей процесса изготовления.

Минимальный зазор между элементами проводящего рисунка составлял 30 мкм, при этом габаритные размеры кристалла ФНЧ не превышали 2,5х2,0 мм, что меньше

размеров подобных фильтров, выполненных по LTCC-технологии или технологии многослойных печатных плат. Для данных размеров кристаллов выпускаются стандартные SMD-корпуса с габаритами 5,0x5,0 мм и может использоваться в дальнейшем для реализации серии фильтров.

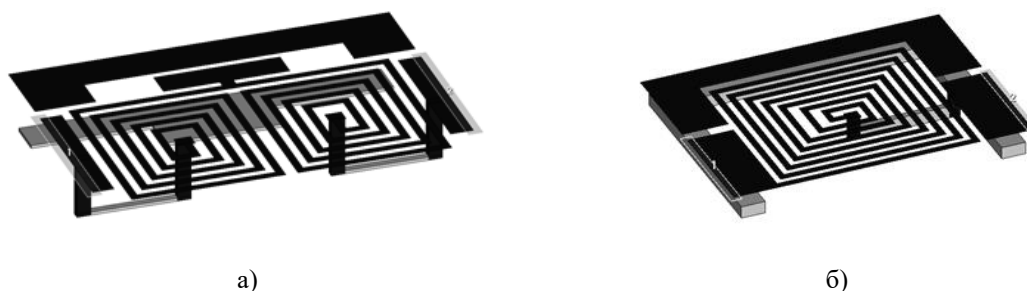
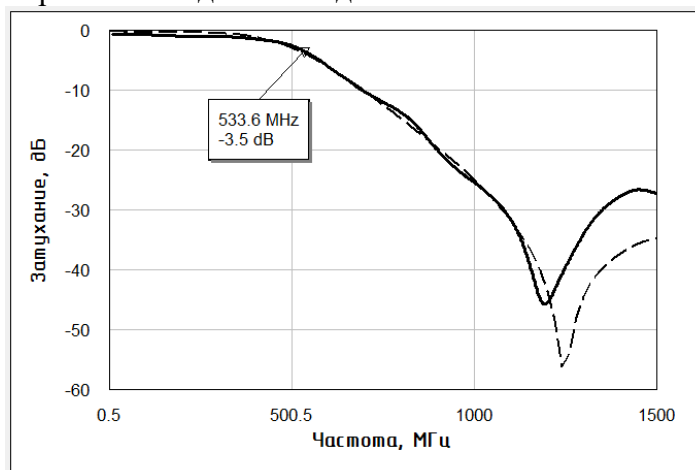


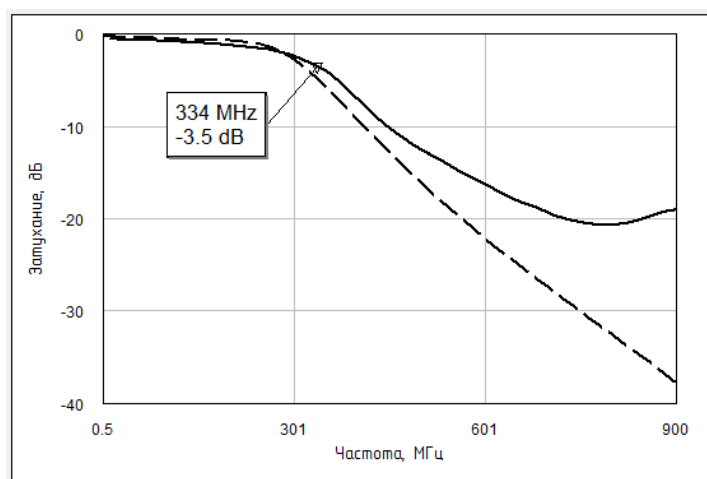
Рисунок 3. Трехмерная модель проектируемого ФНЧ: а) с Т-образным звеном; б) с П-образным звеном

Было проведено электромагнитное моделирование трехмерных моделей ФНЧ, результаты которого представлены на рисунке 4а и 4б для Т-образного фильтра с частотой среза 500 МГц и П-образного фильтра с частотой среза 300 МГц соответственно. Как видно из представленных графиков для Т- и П-образного фильтров затухание в полосе задерживания (до частоты равной трем частотам среза) составляет 20...30дБ.

Измерение макетных образцов ФНЧ показывает хорошую корреляцию полученной амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) Т-образного фильтра с расчетными данными. Вносимое затухание изготовленного фильтра находится на уровне 0,5 дБ, что говорит о пригодности использования тонких проводников (единицы мкм) для решения подобных задач.



а)

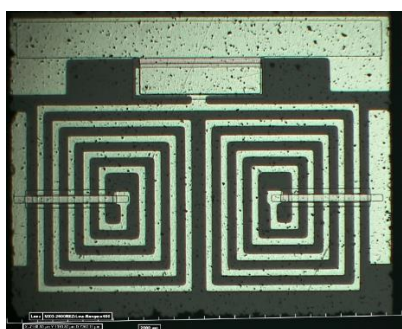


б)

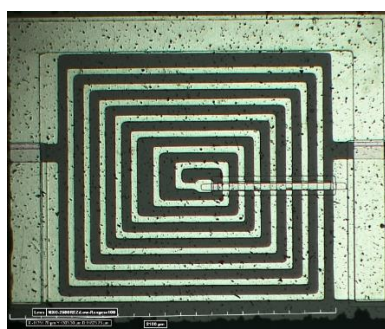
Рисунок 4. АЧХ проектируемого ФНЧ: а) фильтр с частотой среза 500 МГц; б) фильтр с частотой среза 300 МГц. — — — расчетная АЧХ; — — — экспериментальная АЧХ

ФНЧ с частотой среза 300 МГц (рисунок 4б) показал удовлетворительное совпадение экспериментальных данных с расчетными в диапазоне частот задерживания до 300 МГц. В полосе частот задерживания от 300 МГц и выше экспериментальное значение затухания превышали расчетные. Это связано с неоптимальной расположением L- и C-элементов и может быть устранено в дальнейшем за счет корректировки топологии фильтра.

Топология исследуемых фильтров представлена на рисунке 5.



а)



б)

Рисунок 5. Топология ФНЧ: а) с Т-образным звеном; б) с П-образным звеном

Для обеспечения более высокого уровня затухания в полосе задерживания возможно использование каскадного соединения нескольких звеньев рассматриваемых фильтров. Несмотря на то, что в данной работе рассмотрены только интегральные фильтры нижних частот, выполненные на основе тонкопленочной технологии, результаты исследования показывают возможность реализации также полосовых и фильтров верхних частот.

3. Заключение

На основе данных исследований можно сделать следующие выводы:

- использование прецизионной тонкопленочной технологии позволяет реализовывать LC-фильтры с габаритами размерами 2,5x2,0 мм и меньше;

- показана возможность создания Т- и П-образных интегральных LC-фильтров нижних частот, выполненных на основе тонкопленочной технологии с уровнем затухания в полосе задерживания 20...30дБ;

- проведено электромагнитное моделирование и экспериментальные исследования ФНЧ, выполненных подобным образом с частотами среза 300 МГц и 500 МГц; измерение АЧХ опытных образцов показывает хорошее совпадение с расчетными данными

Список литературы

1. Вендик И.Б., Холодняк Д.В., Симин А. Многослойные интегральные схемы сверхвысоких частот на основе керамики с низкой температурой обжига. Компоненты и технологии, №5 2005.
2. Борейко Д.А. Исследование параметров индуктивностей в виде 3D П-образной спирали с различным коэффициентом перекрытия витков // Омский научный вестник. – 2015. – Вып. 1 (137). – С. 176 – 180.
3. Борейко Д.А., Тюменцев А.И. Улучшение параметров элементной базы в интегральном исполнении // Сборник статей IV всероссийской конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ». – том 2. – СПб: СПбГЭТУ, 2015. – С. 69 – 73.
4. Босый Н.Д. Электрические фильтры. – Киев: Государственное издательство технической литературы УССР, 1957. – 516 с.
5. Ханзел Г. Е. Справочник по расчету фильтров / Пер. с англ. под ред. А.Е. Знаменского. – М.: Сов. радио, 1974. – 288 с.