

# Унифицированные полосовые LC-фильтры, выполненные по интегральной технологии

Денис Борейко, Татьяна Хроленко, Андрей Яковлев (г. Омск)

В статье рассмотрены вопросы реализации многослойных интегральных LC-фильтров на основе низкотемпературной керамики с унифицированными габаритными размерами. Приведены схемные решения, пригодные для реализации таких фильтров. Представлены графики амплитудно-частотных характеристик и конструкции разработанных фильтров.

Основными тенденциями развития компонентной базы, в том числе устройств частотной селекции сигналов, являются улучшение их электрических и эксплуатационных параметров, повышение технологичности и унификации габаритных размеров. Поэтому и в нашей стране, и за рубежом всё большее распространение получают интегральные фильтры, выполненные по технологии низкотемпературной керамики (LTCC) на базе трёхмерных структур со встроенными компонентами, обладающими высокой избирательностью и надёжностью, а также малыми потерями в полосе пропускания и габаритами.

Подобные фильтры, как правило, находят применение в диапазоне частот свыше 1000 МГц. При этом, в зависимости от предъявляемых требований, встроенные элементы могут быть выполнены с сосредоточенными, квазисосредоточенными или распределёнными параметрами [1]. В наибольшей степени для унификации подходят интегральные фильтры на распределённых элементах, позволяющие за

счёт выбора типа резонаторов и связей между ними реализовывать в одних и тех же габаритных размерах миниатюрные устройства частотной селекции сигналов в широком диапазоне частот. Так, например, компаниями Mini Circuits, Murata, Syfer и некоторыми другими выпускаются выполненные по технологии LTCC интегральные фильтры на частоты до 8000 МГц с размерами  $3,2 \times 1,6 \times 1,0$  мм.

Интегральные фильтры на сосредоточенных элементах позволяют расширить нижнюю границу диапазона рабочих частот, избежать паразитных полос пропускания на кратных частотах и в ряде случаев упростить реализацию заданных частотных характеристик. Однако их миниатюризация и унификация габаритных размеров представляют собой более трудную задачу. Это обусловлено технологическими особенностями низкотемпературной керамики, в частности невысокой диэлектрической проницаемостью и ограниченной номенклатурой толщин керамических листов, не позволяющих реализовать миниатюр-

ные конденсаторы большой ёмкости. Кроме того, реализация интегральных LC-фильтров возможна с ограниченным числом схемотехнических решений [1, 2].

Как было показано в диссертации Т.С. Хроленко [2], наиболее подходящими для создания миниатюрных интегральных полосовых LC-фильтров являются схемы, удовлетворяющие следующим критериям:

- ёмкости должны быть заземлены (включены в поперечные ветви);
- незаземлённые ёмкости должны быть включены между заземлёнными ёмкостями (то есть в продольные ветви);
- катушки индуктивности могут быть заземлёнными или незаземлёнными;
- номиналы элементов схемы должны лежать в пределах 0,5–200 нГн для катушек индуктивности и 0,05–200 пФ для конденсаторов.

Из всего разнообразия схем фильтров в наибольшей степени этим требованиям соответствует топология на основе параллельных контуров и топология, преобразованная на последовательных контурах с ёмкостной связью (см. рис. 1а и 1б соответственно). Расчёт элементов этих схем может быть проведён на основе известных методик, изложенных, например, в Справочнике по расчёту фильтров [3].

Как показали исследования Т.С. Хроленко [2], использование стекowych

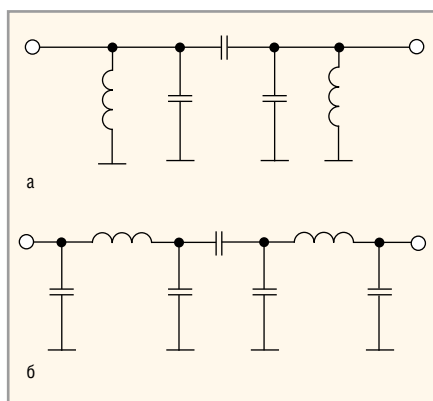


Рис. 1. Схемы интегральных полосовых LC-фильтров

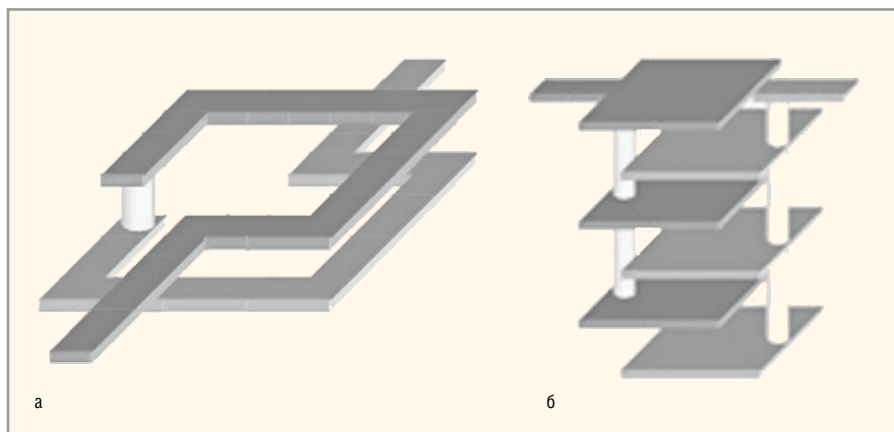


Рис. 2. Возможные варианты конструкций стекowych: а – катушки индуктивности; б – конденсатора

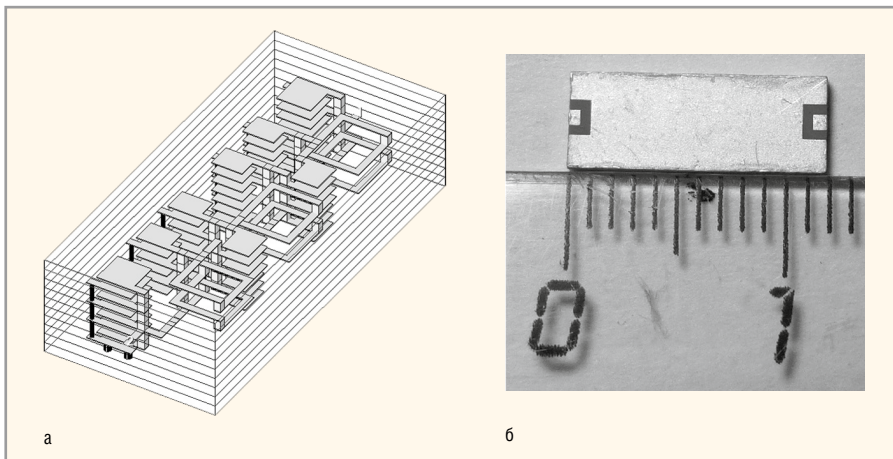


Рис. 3. Макет полосового фильтра с центральной частотой 900 МГц: а – конструкция; б – внешний вид

структур при проектировании миниатюрных интегральных LC-фильтров позволяет уменьшить их линейные размеры. На рисунках 2а и 2б изображены варианты исполнения стековой катушки индуктивности и стекowego конденсатора, соответственно. В этом случае, приближённые номиналы катушки индуктивности и конденсатора рассчитываются по формулам [4]:

$$L = L_1 + L_2 + 2k\sqrt{L_1L_2},$$

$$C = 0,885 \frac{\epsilon S}{d(n-1)},$$

где  $L_1, L_2$  – индуктивности,  $k$  – коэффициент связи между ними,  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость материала,  $S$  – площадь обкладок конденсатора,  $d$  – расстояние между обкладками,  $n$  – количество обкладок.

Очевидно, что для минимизации геометрических размеров интегрального конденсатора необходимо использовать керамику малой толщины с высокой диэлектрической проницаемостью.

Кроме того, для уменьшения потерь в полосе пропускания керамика должна обладать малым тангенсом угла диэлектрических потерь. В наибольшей степени этим требованиям отвечает материал Green Tare 951 фирмы DuPont, имеющий диэлектрическую проницаемость 7,8 и толщину после обжига от 36 до 216 мкм [1].

Макет интегрального полосового LC-фильтра третьего порядка с центральной частотой 900 МГц и полосой пропускания 200 МГц был выполнен в 10 слоях керамики Green Tare 951 с габаритными размерами 12 × 6 × 1 мм (см. рис. 3). Конструкцию фильтра образуют квадратные стекoвые катушки индуктивности и стекoвые конденсаторы. Результаты измерений (см. рис. 4) показали, что предложенные схемные и конструктивные решения обеспечивают вносимые потери в полосе пропускания не более 3 дБ, затухание в полосе задерживания – не менее 30 дБ и отсутствие паразитных полос про-

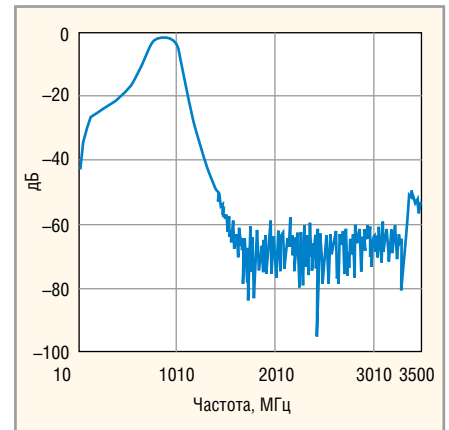


Рис. 4. Экспериментальная АЧХ макета полосового фильтра с центральной частотой 900 МГц

пускания вплоть до утроенной центральной частоты.

Дальнейшие исследования, направленные на минимизацию и унификацию габаритных размеров фильтров, подтвердили, что применение выбранных схем, конструкций интегральных элементов и керамики Green Tare 951 позволяет реализовать интегральные полосовые LC-фильтры второго, третьего и более высоких порядков в диапазоне частот 150...3000 МГц с относительными полосами пропускания 10...70% и уровнем гарантированного затухания в полосе задерживания 20...40 дБ в виде унифицированного ряда в габаритных размерах 7,0 × 5,0 × 2,8 мм.

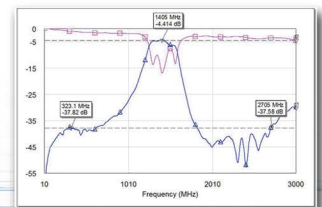
В качестве примера на рисунке 5а приведена конструкция интегрального полосового LC-фильтра с центральной частотой 1840 МГц и полосой пропускания 200 МГц, выполненного на основе преобразованной схемы на последовательных контурах с ёмкостной связью в 20 слоях керами-

ОАО «ОМСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»



ОАО «ОНИИП» освоил выпуск интегральных фильтров частотного диапазона до 6 000 МГц на основе низкотемпературной совместно-обжигаемой керамики (LTCC), для аппаратуры современных комплексов всех видов связи, радиолокации, навигации, а также в спутниковой связи.

Данное направление ОАО «ОНИИП» позволяет полностью заместить на рынке российской электроники аналогичную продукцию таких ведущих зарубежных компаний, как Murata, Bowei, Syfer Technology, Mini Circuits.



- Основные технические характеристики фильтров:
- диапазон частот 80...6 000 МГц;
  - относительная ширина полосы пропускания 10...70%;
  - вносимые потери в полосе пропускания 2...6 дБ;
  - гарантированное затухание в полосе задерживания 30...40 дБ.

Реклама

Россия, г. Омск, 644009, ул. Масленикова 231, тел. (3812) 514900 факс. (3812) 514987, e-mail: info@oniip.ru, http://www.oniip.ru

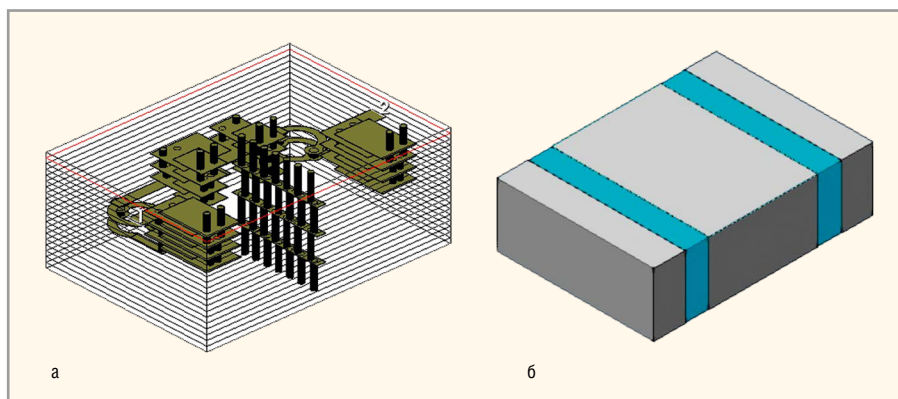


Рис. 5. Полосовой фильтр с центральной частотой 1840 МГц: а – конструкция; б – внешний вид

ки Green Tape 951. Внешний вид фильтра показан на рисунке 5б. Использование высокочастотных конструкций катушек индуктивности в виде стержневой круглой спирали, предложенных в работе Т.С. Хроленко [2], а также дополнительного внутреннего экрана позволило не только уменьшить габаритные размеры фильтра до  $7,0 \times 5,0 \times 2,8$  мм, но и снизить потери в полосе пропускания до 2 дБ при более узкой относительной ширине полосы пропускания. На рисунке 6 представлена расчётная АЧХ фильтра.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совместное решение схемотехнических, конструктивных и технологических вопросов подтвердило возможность реализации унифицированного ряда миниатюрных интегральных полосовых LC-фильтров второго, третьего и более высоких порядков в диапазоне частот от 150 МГц до 3 ГГц, с относительными полосами пропускания 10...70% и уровнем гарантированного затухания в полосе задерживания 20...40 дБ в габаритных размерах  $7,0 \times 5,0 \times 2,8$  мм.

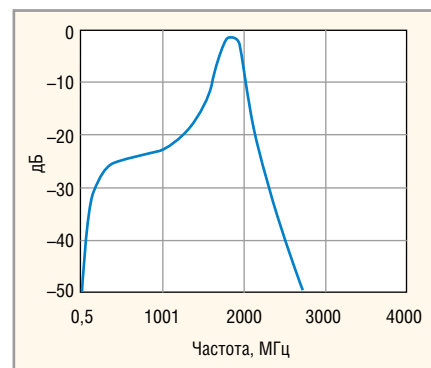


Рис. 6. Расчётная АЧХ макета полосового фильтра с центральной частотой 1840 МГц

### ЛИТЕРАТУРА

1. Вендик И.Б., Холодняк Д.В., Сими́н А.В. Многослойные интегральные схемы сверхвысоких частот на основе керамики с низкой температурой обжига. Компоненты и технологии. 2005. Вып. 5. С. 190–196.
2. Хроленко Т.С. Интегральные LC-фильтры ВЧ и СВЧ диапазонов на основе современных материалов. Дисс. на соиск. уч. ст. к.т.н. Омск. 2013.
3. Ханзел Г.Е. Справочник по расчёту фильтров. Советское радио. 1974.
4. Babl Inder. Lumped Elements for RF and Microwave Circuits. Artech House. 2003. ©

www.jtaglive.ru



## Пугают цены на системы периферийного сканирования?



- Buzz
- BuzzPlus
- AutoBuzz
- Clip
- Script
- Плееры JAM/STAPL/SVF
- JTAG Live Controller



Реклама

Представительство JTAG Technologies в России  
Телефон: (812) 313-9159  
E-mail: russia@jtag.com

Эксклюзивный дистрибьютор: 000 Предприятие Остек  
Телефон: (495) 788-4444  
E-mail: info@ostec-group.ru



Лидер в области разработки  
и производства высоковольтных  
реле и контакторов



Вакуумные реле



Газонаполненные реле



Герконовые реле



Контакторы