

Т.С. Хроленко, А.И. Тюменцев

ОАО «Омский научно-исследовательский институт приборостроения»

Улучшение избирательности интегрального СВЧ фильтра

В работе рассматриваются способы улучшения характеристик СВЧ фильтра в дальней зоне. Приведены графики зависимости АЧХ фильтра от изменения топологии и экспериментальные результаты.

Ключевые слова: LC-фильтр, избирательность, затухание в дальней зоне, АЧХ

В современной мобильной, миниатюрной радиоаппаратуре интегральные фильтры заняли прочное место, при этом для обеспечения требований, предъявляемых к ним, необходимо дальнейшее улучшение электрических характеристик и минимизация массогабаритных показателей, что является сложной и не до конца решенной задачей. Одним из путей решения задач по уменьшению массогабаритных характеристик, повышению надежности и увеличению процента выхода годных изделий, не требующих дополнительной настройки и регулировки, является использование интегральных фильтров.

При разработке устройств частотной селекции основные требования предъявляются к таким параметрам как коэффициент прямоугольности, КСВН, вносимое затухание в полосе пропускания и гарантированное затухание в дальней зоне. Если первые параметры обеспечиваются за счет решения схемотехнических задач, то обеспечение последнего возможно за счет оптимизации конструкторских решений, в частности, топологии в процессе конструирования [1].

Целью исследования является улучшение избирательности интегрального полосового LC-фильтра СВЧ диапазона в дальней зоне путем оптимизации его топологии.

Для реализации СВЧ фильтра выбрана схема полосового фильтра второго порядка с центральной частотой 2500 МГц и заданным затуханием в дальней зоне не менее 40 дБ, приведенная на рисунке 1.

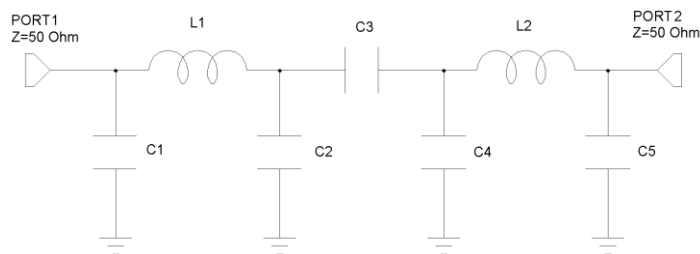
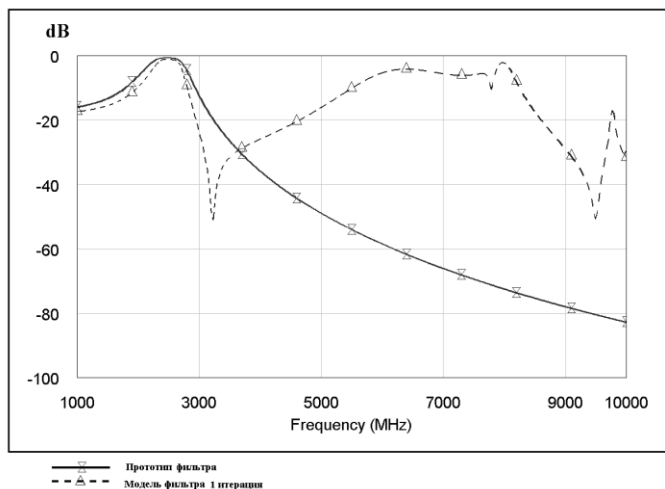
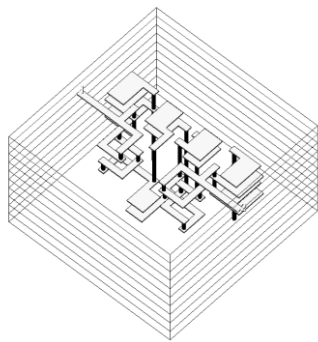


Рисунок 1 – Схема фильтра

Расчетные значения элементов схемы были получены с использованием известных методик, изложенных в [2]: $C1 = 2,8$ пФ; $C2 = 1,69$ пФ; $C3 = 0,612$ пФ; $C4 = 2,92$ пФ; $C5 = 1,57$ пФ; $L1=L2=3,18$ нГн.

Как показали проведенные исследования [3, 4], катушки индуктивности такого номинала выполнены в виде многослойных Г-образных отрезков. Они работают на частоте свыше 5 ГГц и имеют добротность около 90. Конденсаторы имеют многослойную плоскопараллельную конструкцию, которая позволяет реализовать минимальные номиналы емкости при небольшой занимаемой площади и, тем самым, улучшить затухание в фильтра в дальней зоне. Звенья фильтра в топологии (рисунок 2 а) располагаются последовательно, как на схеме [1], что позволяет реализовать характеристику фильтра с затуханием порядка 40 дБ до частоты 3200 МГц. Расчетная АЧХ полученного фильтра приведена на рисунке 2 б.



а)

б)

Рисунок 2 – Топология (а) и АЧХ (б) СВЧ фильтра

Как видно из рисунка 2 (б), АЧХ фильтра имеет отклонения от заданной АЧХ фильтра-прототипа: близко к полосе пропускания образуется полюс, а также появляются побочные полосы пропускания, близкие к основной полосе, что обусловлено плотным расположением элементов фильтра и, образованными вследствие этого емкостными и индуктивными паразитными связями.

Взаимное влияние элементов друг на друга возможно уменьшить за счет изменения топологии фильтра: при зеркальном отражении второго звена фильтра связь между близко расположенными конденсаторами (рисунок 3 а) уменьшается, что

приводит к улучшению затухания в дальней зоне и сдвигу полюса от полосы пропускания. Однако при этом, как видно, из рисунка 3 б полоса пропускания фильтра также достаточно сильно отличается от прототипа, а затухание около 40 дБ на частоте только до 4000 МГц.

Улучшение избирательности фильтра за счет оптимизации конструкции элементов не дали значительных результатов, поэтому была продолжена корректировка расположения элементов топологии фильтра [1].

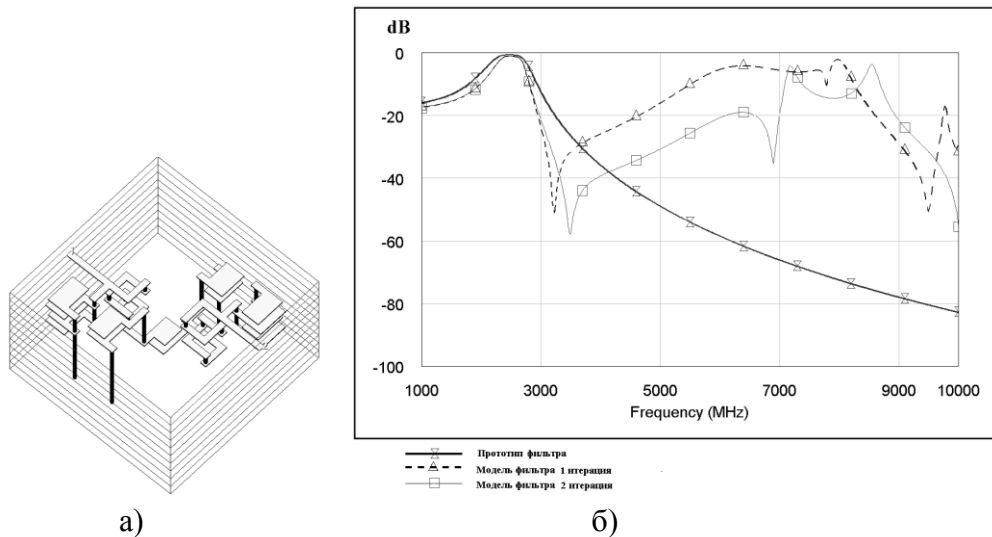


Рисунок 3 – Топология (а) и АЧХ (б) СВЧ фильтра

Взаимное влияние элементов фильтра было уменьшено при дальнейшей проработке конструкции: элементы звеньев фильтра были максимально удалены друг от друга, для уменьшения паразитных емкостей конденсаторы С2, С4 расположили в центральной части подложки, а также укоротили переходные отверстия на землю, вносящие паразитную индуктивность.

На рисунке 4 б показано, что в результате проведенных изменений в топологии АЧХ фильтра, в полосе пропускания и в ближней зоне в полосе задерживания, повторяет расчетную, при этом затухание в дальней зоне не менее 40 дБ на частоте до 8300 МГц.

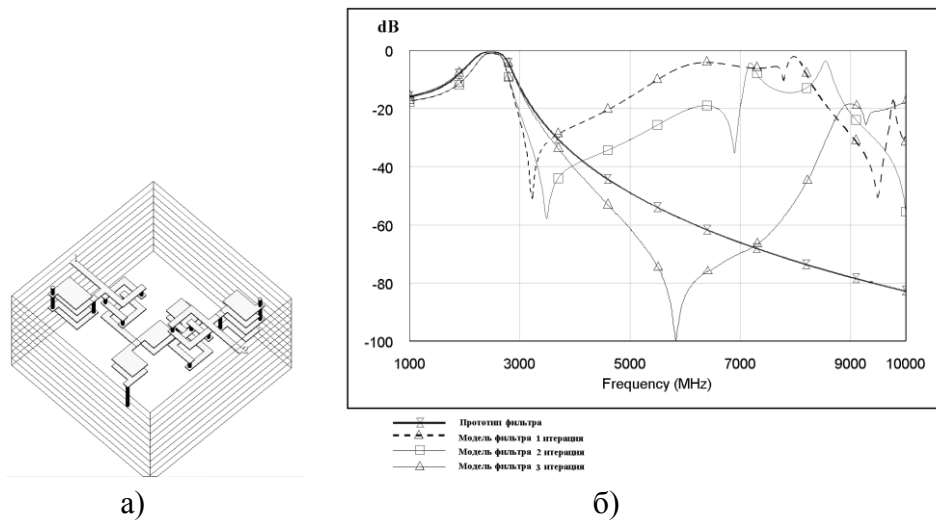


Рисунок 4 – Топология (а) и АЧХ (б) СВЧ фильтра

Учитывая выше сказанное, был изготовлен опытный образец фильтра из материала DuPont 951PX, с размерами $6 \times 6 \times 1$ мм³. На рисунке 5 приведен внешний вид разработанного модуля (рисунок 5 б) и приведены сравнительные характеристики модели и опытного образца (рисунок 5 а).

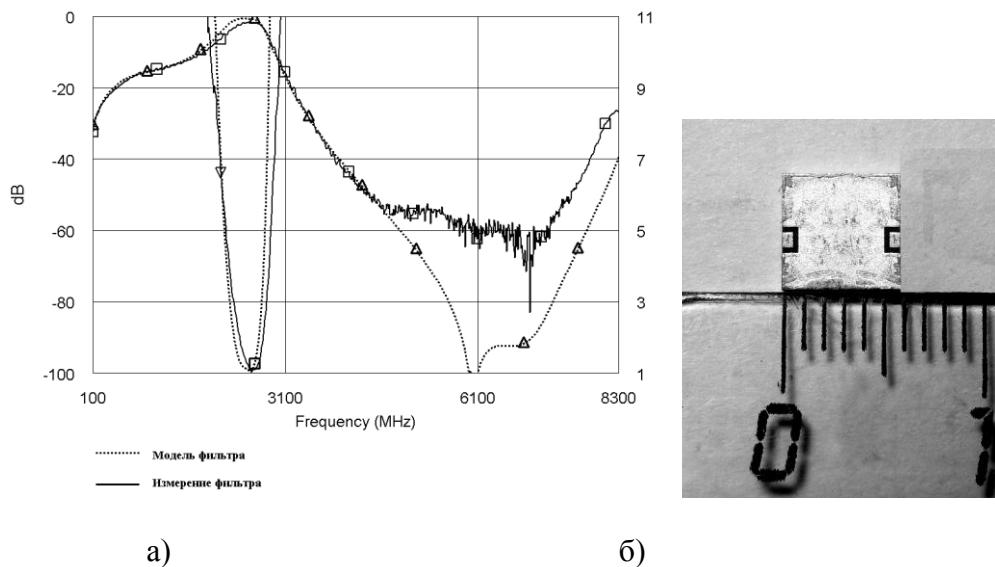


Рисунок 5 – АЧХ и КСВН (а) и внешний вид (б) СВЧ фильтра

Как видно из рисунка 5 а, АЧХ и КСВН опытного образца достаточно точно повторяют характеристики фильтра – прототипа в полосе пропускания и в ближней зоне в полосе задерживания, при этом затухание в дальней зоне составляет более 40 дБ на частоте до 8000 МГц. Отличия характеристик, главным образом, обусловлены метрологическими погрешностями.

Анализ результатов моделирования и эксперимента показывает, что характеристики интегральных СВЧ фильтров могут быть существенно улучшены при детальной проработке топологии, за счет уменьшения паразитных связей между элементами, а также элементами и общей шиной, что позволяет увеличить затухание фильтра в дальней зоне и повысить эффективность его работы.

Библиографический список:

1. Дьяченко Т.С., Тюменцев А.И. Оптимизация топологии толсто пленочного фильтра СВЧ для улучшения характеристики в полосе задерживания. // Обмен опытом в области создания сверхширокополосных радиоэлектронных систем: материалы IV общероссийской научно-технической конференции – 2012. – С. 65 – 67.
2. Ханзел Г. Е. Справочник по расчету фильтров. Пер. с англ./ Под ред. А.Е. Знаменского. – М.: Сов. радио, 1974. – 288 с.
3. Борейко Д.А., Дьяченко Т.С., Тюменцев А.И. Исследование параметров катушек индуктивности выполненных по LTCC технологии. // Техника радиосвязи– 2012. – Вып. 17. – С. 73 – 83.
4. Дьяченко Т.С., Тюменцев А.И. Исследование добротности печатных катушек индуктивности. // Микроэлектроника СВЧ – 2012. – Том 2. – С. 234 – 238.