УДК 621.372.54

Тюменцев А.И., Хроленко Т.С., Шорохова А.В.
ОАО «Омский научно-исследовательский институт приборостроения»

Индуктивные трансформации в интегральных фильтрах

В работе показана возможность расширения рабочего диапазона частот и реализуемых полос пропускания интегральных фильтров за счет применения индуктивных трансформаций.

Ключевые слова: Трансформация сопротивления, LTCC, интегральный фильтр.

К фильтрам, используемым в современных устройствах радиолокации и радионавигации, космической техники, мобильной связи предъявляются жесткие требования к массогабаритным показателям, при обеспечении высоких электрических параметров в диапазоне частот от десятков МГц до нескольких ГГц.

Традиционные LC-фильтры на сосредоточенных элементах характеризуются сравнительно низким диапазоном рабочих частот, как правило, не более нескольких сотен мегагерц [1] и обладают достаточно высокими габаритами и массой. Создание таких фильтров на более высокие частоты ограничивается физической реализуемостью элементов схемы и чрезвычайной сложностью конструкции, заключающейся в оптимизации компоновки структуры фильтра и топологии проводников.

От указанных выше недостатков свободны интегральные LC-фильтры [2-4], выполненные в виде высоко-интегрированных многослойных трехмерных структур. Такие фильтры могут быть реализованы на основе хорошо известных схем, состоящих из катушек индуктивностей и конденсаторов. Однако, в отличие от LC-фильтров, выполненных по традиционной технологии, подобные устройства обладают рядом характерных особенностей, без учета которых их создание является крайне затруднительным. Прежде всего, такие особенности связаны с возможностью физической реализации схем в интегральном виде. Значения элементов схем в ряде случаев могут оказаться физически нереализуемыми. Кроме того, особенности интегральной технологии также накладывают ограничения на выбор схем фильтров с точки зрения реализуемости их конструкций.

Одна из схем, нашедшая широкое применение для реализации интегральных фильтров, приведена на рис.1.

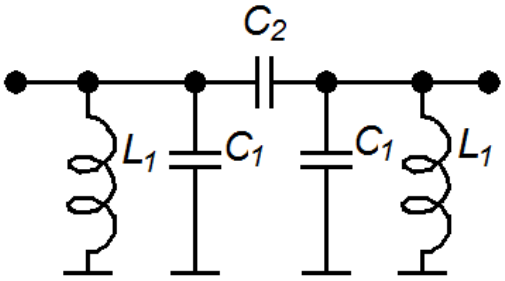


Рис. 1. Исходная схема фильтра

Проведенный в работах [3, 4] анализ такой схемы, показал, что при сравнительно узких относительных полосах пропускания (20% и менее), емкости контуров получаются большими, а их индуктивности напротив слишком малыми для физической реализации в интегральном виде. При этом реализация такой схемы при узких полосах пропускания в интегральном виде возможна только для частот выше 500 МГц.

Одним из возможных путей расширения диапазона реализуемых относительных полос пропускания и рабочих частот может стать применение индуктивных трансформаций, что позволит получить конструктивно-реализуемые номиналы элементов схемы, за счет трансформации элементов на большее сопротивление.

На основе известных методик [1, 5, 6] определяются элементы схемы, которые затем могут быть трансформированы до более удобных при помощи индуктивных трансформаций (1). Однако при этом сопротивление трансформированной схемы R2 также изменится в n^2 раз.

$$L_1' = L_1 n^2$$

$$C_3 = \frac{C_1}{n^2} \qquad (1)$$

$$C_4 = \frac{C_2}{n^2}$$

$$n = \sqrt{\frac{R_2}{R_1}}$$

где n - коэффициент трансформации,

R1 - сопротивление исходной схемы,

R2 – сопротивление трансформированной схемы.

Для согласования фильтра на исходную нагрузку R1, необходимо ввести индуктивную трансформацию, что позволит изменить сопротивление фильтра на входе и выходе в n раз, оставив трансформированные значения неизменными [5]. Окончательная схема фильтра примет вид, как показано на рис. 2

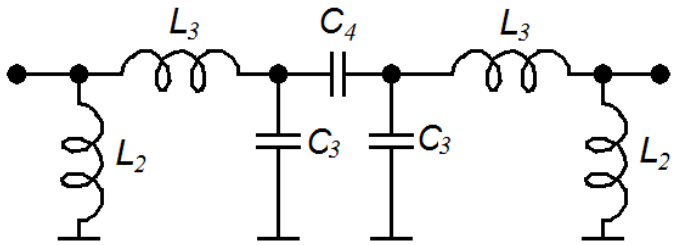


Рис. 2. Схема фильтра с индуктивной трансформацией

Тогда значения элементов трансформации можно будет рассчитать исходя из соотношений приведенных в [6] по следующим формулам:

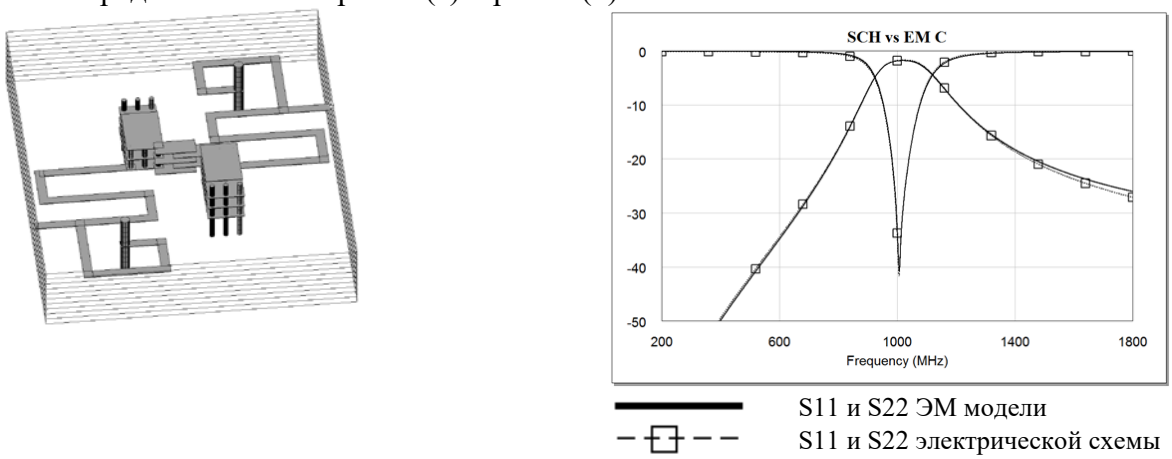
$$L_2 = \frac{L_1'}{n}$$

$$L_3 = L_2(n-1) \qquad (2)$$

Проведенный анализ показал, что использование индуктивных трансформаций позволяет расширить диапазон рабочих частот на 400 МГц в низкочастотной области и реализуемых относительных полос пропускания до 5% по сравнению с известной схемой интегрального фильтра на связвнных контурах.

В качестве примера на основе приведенных выше соотношений был проведен расчет фильтра на частоту 1 ГГц с полосой пропускания 20% с применением индуктивной трансформации. Для исходной схемы получены следующие значения: L1=1,125 нГн, C1=3,183 пФ, C2=19,32 пФ. Конденсаторы C2 и C3 имеют достаточно большие значения емкости для частоты 1 ГГц, что затрудняет физическую реализацию. Значения, полученные после проведенной трансформации: L2=L3=2,25 нГн, C3=4.97 пФ, C4=0,776 пФ.

Разработанная структура фильтра и сравнительный график S21 и S11 ЕМ-моделирования интегрального фильтра и схематехнического моделирования исходной схемы представленны на рис. 3 (а) и рис. 3 (б) соотвесттвенно.



а) б)

Рис. 3. Разработанный фильтр на 1 ГГц с Δf=200 МГц

Как видно из примера, введение индуктивных трансформаций позволит увеличить диапазон рабочих частот на 400 МГц в низкочастотной области и реализуемых относительных плос пропускания до 5%, за счет изменения значений элементов схемы при сохранениии ее характеристических параметров. При этом электрические параметры трансформированной схемы полностью повторяют параметры исходной без введения дополнительных коэффициентов.

Таким образом, в работе показана возможность получения пригодных для физической реализации в интегральном исполнении фильтров, за счет использования индуктивных трансформаций.

Библиографический список

1. Ханзел Г. Е. Справочник по расчету фильтров [текст] / Пер. с англ. под ред. А.Е. Знаменского. – М.: Сов. радио, 1974. – 288 с.
2. Вендик И.Б. Многослойные интегральные схемы сверхвысоких частот на основе керамики с низкой температурой обжига. Часть 2. Средства проектирования и реализация пассивных устройств [текст] / И.Б. Вендик, Д.В. Холодняк, А. В. Симин // Компоненты и технологии. - 2005, Вып. 6. – С. 210 – 216.
3. Хроленко Т.С. Интегральные LC-фильтры ВЧ и СВЧ диапазонов на основе современных материалов: Дис. кан. тех. наук – Омск – 2013. – 172 с.
4. Тюменцев А.И. Улучшение параметров полосовых LC-фильтров путем преобразования мостовых звеньев в неуравновешенные лестничные: Дис. кан. тех. наук – Омск – 2013. – 162 с.
5. Черне, Х.И. Индуктивные связи и трансформации в электрических фильтрах [текст] / Х.И. Черне. – М.: Связьиздат, 1962. – 316 с.
6. Rhea W. HF Filter Design and Computer Simulation [текст] / W. Rhea //Randall.- 1994. – 448p.