

Перестраиваемые полосовые LC-фильтры СВЧ диапазона

И.В. Забегайло, А.Н. Яковлев

Омский научно-исследовательский институт приборостроения

Аннотация: Рассмотрена возможность реализации перестраиваемых LC-фильтров СВЧ диапазона, получаемых с помощью преобразований Нортон, выведены соотношения для расчета значений элементов схем таких фильтров, проведено компьютерное моделирование. Даны рекомендации по выбору элементов перестройки LC-фильтров СВЧ диапазона.

Ключевые слова: перестраиваемый полосовой LC-фильтр, преобразования Нортон, дискретный конденсатор переменной ёмкости, варикап, диапазон частот.

1. Введение

Неотъемлемой частью современных радиотехнических систем, как гражданского, так и военного назначения, являются радиоприемные и радиопередающие устройства от технических параметров, которых во многом зависят характеристики этих систем.

В радиоприемной и радиопередающей аппаратуре находят применение устройства частотной селекции в значительной степени, определяющие их диапазон рабочих частот, помехозащищенность, качество передачи информации, скрытность, габаритные размеры и т.д.

В адаптивных системах связи в качестве частотно избирательных цепей широко используются перестраиваемые LC-фильтры. Как правило диапазон рабочих частот таких фильтров не превышает нескольких сотен МГц. Создание таких фильтров на более высокие частоты связано с трудностями физической реализуемости элементов схем.

Рассмотрим возможность реализации перестраиваемых полосовых LC-фильтров СВЧ диапазона, применяя преобразования Нортон.

2. Расчетные соотношения

Количество схемных решений пригодных для практического создания перестраиваемых полосовых фильтров ограничено. Одна из таких схем, выполненная на основе связанных резонаторов, приведена на рисунке 1. Расчет элементов такой схемы может быть проведен как по характеристическим параметрам [1, 2, 3], так и по рабочим [4].

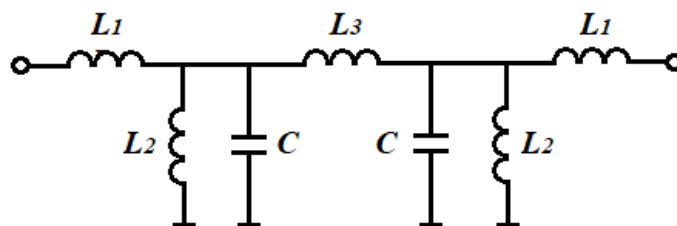


Рисунок 1. Схема полосового LC-фильтра.

Проведенный расчет полосовых фильтров СВЧ диапазона как по

характеристическим так и по рабочим параметрам показывает, что значение контурной индуктивности L_2 оказывается неприемлемо маленьким, а ёмкости C чрезмерно большой.

Изготовление таких элементов является затруднительным, а в ряде случаев невозможным. Для решения этой проблемы проведем преобразования этих элементов. Для этого разделим L_2 на две параллельные индуктивности L'_2 и L''_2 , как показано на рисунке 2. При этом значение индуктивности L''_2 задаем таким, чтобы при дальнейшей трансформации фильтра эта индуктивность могла быть выполнена на практике. Индуктивность L'_2 определяется по формуле (1).

$$L'_2 = \frac{L_2 L''_2}{L''_2 - L_2} \quad (1)$$

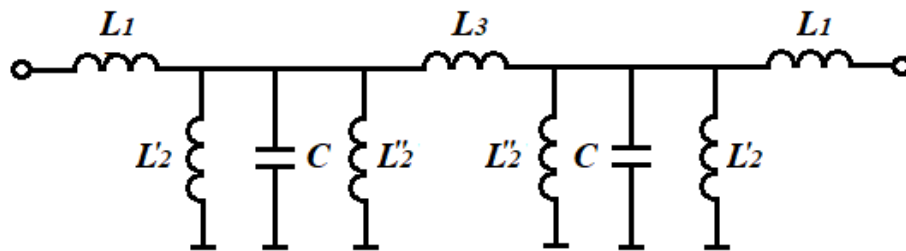


Рисунок 2. Схема полосового LC-фильтра с разделенными катушками индуктивности L'_2 и L''_2 .

Значения индуктивности L'_2 и ёмкости C может быть приведено к физически реализуемым значениям, при помощи трансформации Нортона, эквивалентные схемы которой приведены на рисунке 3 [5].

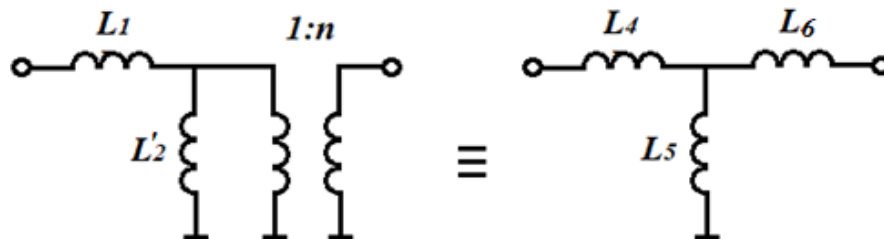


Рисунок 3. Эквивалентные схемы преобразования Нортона.

При этом выбираем коэффициент трансформации n таким образом, чтобы после преобразования значения элементов схемы были наиболее удобными для практической реализации в СВЧ диапазоне, и выполнялось неравенство (2). Тогда индуктивности входного и выходного звена будут определяться соотношениями (3), при этом остальные индуктивности схемы увеличатся, а ёмкости уменьшатся в n^2 раз.

$$1 < n < 1 + \frac{L_1}{L'_2} \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
 L_4 &= L_1 + (1 - n)L'_2 \\
 L_5 &= nL'_2 \\
 L_6 &= n(n - 1)L'_2
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

После преобразований схема фильтра принимает вид, изображенный на рисунке 4.

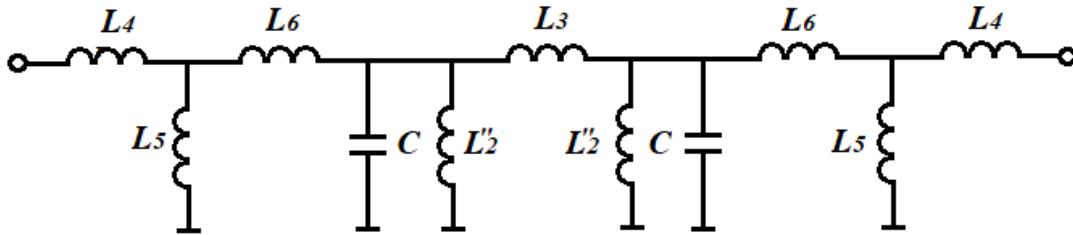


Рисунок 4. Схема полосового фильтра после преобразований Нортона.

Однако после трансформирования значение индуктивности L_3 в заданном частотном диапазоне оказывается не выполнимым, поэтому П-образную секцию схемы необходимо преобразовать в Т-образную, как показано на рисунке 5, при этом значения трансформируемых элементов определяются по формулам (4).

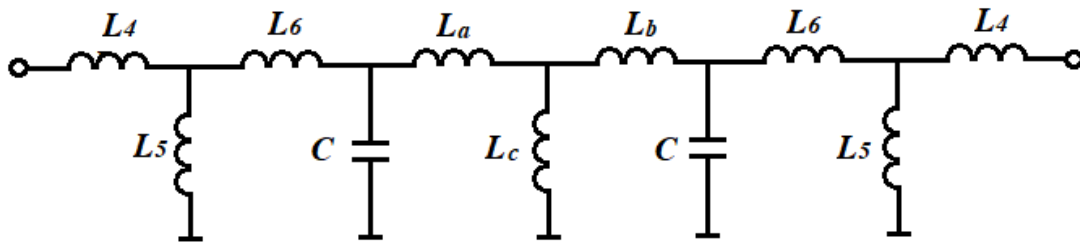


Рисунок 5. Схема перестраиваемого полосового фильтра.

$$\begin{aligned}
 L_a = L_b &= \frac{L''_2 L_3}{2L''_2 + L_3} \\
 L_c &= \frac{L''_2{}^2}{2L''_2 + L_3}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

3. Компьютерное моделирование

На основе полученных расчетных значений элементов было проведено компьютерное моделирование с перестройкой фильтра по частоте от 700 МГц и 1500 МГц.

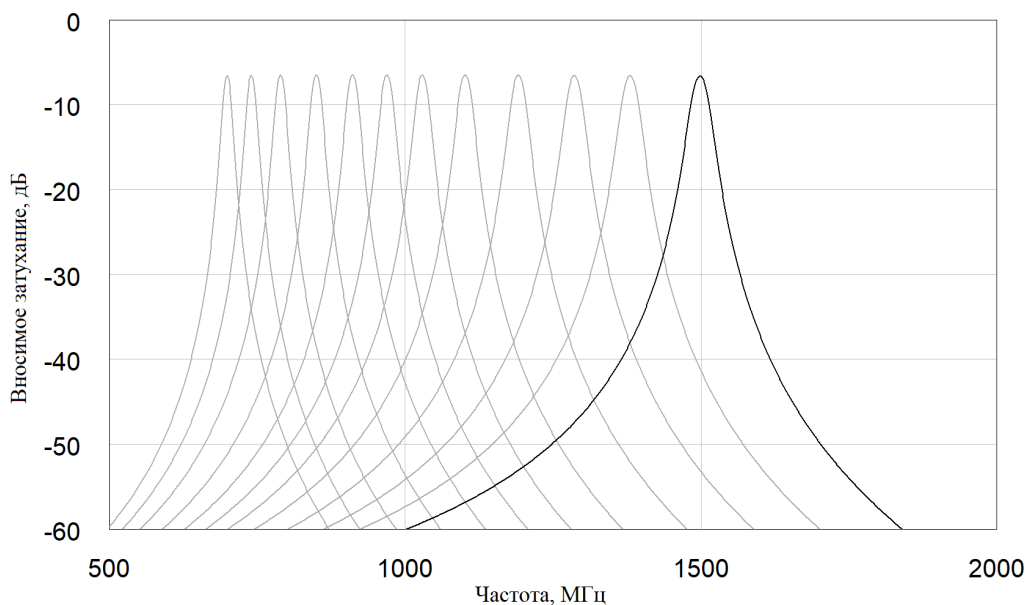


Рисунок 6. АЧХ полосового LC-фильтра при перестройке в диапазоне частот от 700 МГц до 1500 МГц.

Как видно из представленных графиков амплитудно-частотных характеристик, приведенных на рисунке 6, изменяя ёмкость конденсаторов, рассматриваемого полосового фильтра, в пределах от 2 до 10 пФ, перестройка фильтра осуществляется в заданном диапазоне частот.

4. Выбор элемента перестройки

Такое изменение емкости может быть осуществлено при помощи дискретного конденсатора переменной ёмкости (ДКПЕ) или варикапа. Использование в качестве элемента перестройки ДКПЕ находит широкое применение при создании перестраиваемых фильтров в диапазоне частот до нескольких сотен МГц, поскольку в ряде случаев позволяет обеспечить меньшие нелинейные искажения по сравнению со схемами на варикапах. При этом для обеспечения широкого диапазона перестройки, точной настройки частоты фильтра и необходимого шага перестройки требуется использование большого количества коммутационных элементов.

Однако элементы коммутации в разомкнутом состоянии обладают собственной емкостью и при большом числе разрядов ДКПЕ общая емкость коммутационных элементов может быть сопоставима с контурной емкостью фильтра, что существенно ограничивает диапазон его перестройки по частоте. Особенно остро эта проблема возникает при проектировании перестраиваемых фильтров на частоты выше нескольких сотен МГц.

В связи с этим при создании перестраиваемых LC-фильтров СВЧ диапазона в качестве элемента перестройки наиболее целесообразно использование варикапов, применение которых позволяет обеспечить плавную перестройку фильтра в необходимых частотных пределах при изменении управляющего напряжения на варикапе.

5. Заключение

Представленные выше схмотехнические и расчетные результаты, подтвержденные компьютерным моделированием, показывают, что реализация перестраиваемых LC-фильтров СВЧ диапазона возможна на основе схемы фильтра на контурах с индуктивной связью, преобразованной с помощью трансформаторов

Нортонa. При этом в качестве элементов перестройки такого фильтра целесообразно выбирать варикапы.

Список литературы

1. Zverev A.I. Handbook of Filter Synthesis [текст]/ A.I. Zverev// John Wiley and Sons, Inc.- 1967. – 576 p.
2. Босый Н.Д. Электрические фильтры [текст] / Н.Д. Босый. – Киев: Технической литературы, 1957. - 516 с.
3. Пшесмыцкий О. Проектирование электрических лестничных фильтров [текст] / О. Пшесмыцкий, Пер. с польского под ред. М.Д. Корф.– М.: Связь, 1968. – 519 с.
4. Ханзел Г. Е. Справочник по расчету фильтров [текст] / Пер. с англ. под ред. А.Е. Знаменского. – М.: Сов. радио, 1974. – 288 с.
5. Черне, Х.И. Индуктивные связи и трансформации в электрических фильтрах [текст] / Х.И. Черне. – М.: Связьиздат, 1962. – 316 с.