

СИНТЕЗ ТРАНСФОРМИРУЮЩИХ ФИЛЬТРОВ ВЫСШИХ ПОРЯДКОВ ДИАПАЗОНА СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ

Юркин Ю.Т.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Курочкин А.Е. – к.т.н., доцент

Проблема согласования неравных сопротивлений решается использованием трансформирующего фильтра диапазона сверхвысоких частот. Описывается процедура алгоритма синтеза согласующего микроволнового фильтра низких частот.

Развитие современных систем беспроводной связи, работающих в сверхвысокочастотном (СВЧ) диапазоне частот, приводит к повышению требований к характеристикам отдельных составляющих системы, в том числе, и к основным компонентам СВЧ аппаратуры – СВЧ согласующим цепям.

Важной частью при разработке устройств СВЧ является согласование импедансов входной (источника сигнала) и выходной (нагрузки) цепей. Оно обеспечивает оптимальное построение устройств СВЧ. Данное согласование производится с помощью трансформирующего фильтра диапазона СВЧ.

Синтез трансформирующего фильтра диапазона СВЧ выполняется в два этапа [1]. На первом этапе осуществляется структурный синтез. Его задачей является выбор состава и структуры фильтра СВЧ. На втором этапе осуществляется параметрический синтез, задачей которого является определение значений параметров конструктивных элементов выбранной структуры, обеспечивающих заданную частотную характеристику. Повышение порядка трансформирующего фильтра обеспечивает улучшение АЧХ, но и усложняет его конструктивную реализацию.

Для анализа способов реализации трансформирующих фильтров СВЧ использовалась процедура синтеза широкополосной согласующей цепи методом низкочастотного прототипа на базе ФНЧ. Характеристика затухания от частоты фильтра-прототипа представлена на рисунке 1.

На первом этапе был произведен синтез квазиполосового фильтра нижних частот по следующему алгоритму:

- 1) выбор исходного фильтра-прототипа (в данном случае ФНЧ);
- 2) транспонирование частоты;
- 3) определение полюсов передаточной функции фильтра-прототипа;
- 4) определение полюсов передаточной функции согласующего фильтра;
- 5) формирование выражения для коэффициента отражения согласующего фильтра;
- 6) формирование выражения для входного (или выходного) сопротивления согласующего фильтра;
- 7) синтез лестничной цепи по методу Кауэра;
- 8) денормирование значений элементов лестничной цепи.

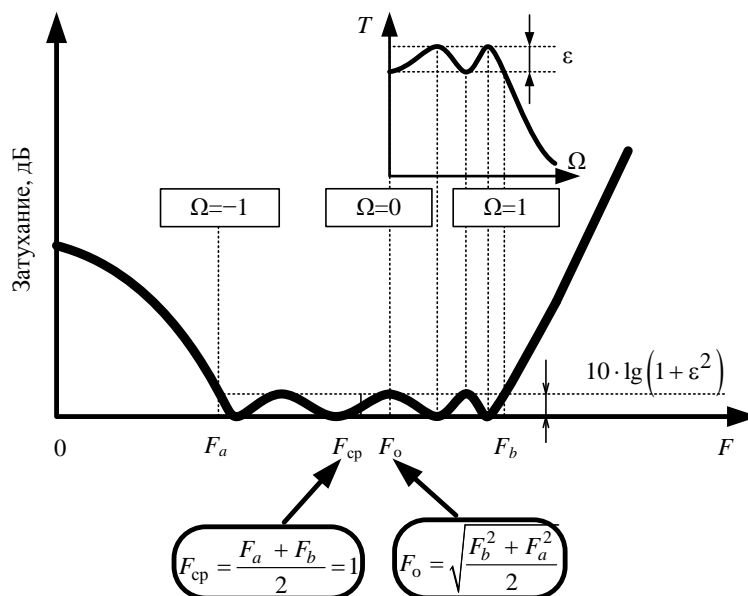


Рисунок 1 – Характеристика затухания квазиполосового фильтра нижних частот

С помощью, интерактивного скрипта Matching_BigNumber.html [2] были получены значения сосредоточенных элементов фильтра-прототипа.

На втором этапе, вначале производились преобразования схемы фильтра-прототипа в соответствующие эквивалентные схемы (с введением идеальных инверторов [3], с использованием тождеств Куроды [4] и т.д.), позволяющие упростить дальнейшие расчеты, а затем уже непосредственно выполнялись преобразования сосредоточенных элементов фильтра-прототипа в эквивалентные сопротивления распределенных элементов.

На третьем этапе, производился пересчет эквивалентных сопротивлений распределенных элементов в физические размеры, с учетом выбора определенной топологии трансформирующего фильтра СВЧ. Данный этап сопряжен с большой сложностью, так как требует работать сразу с большим количеством связанных переменных (толщиной подложки, шириной проводника, волновым сопротивлением отрезка, электрической длиной отрезка длинной линии и т.д.). Но программное обеспечение NI AWR Design Environment [5] (CST Microwave Studio [6] и д.р.) на данном этапе является ценным инструментом разработчика.

Затем были получены топологии трансформирующих фильтров диапазона СВЧ ($f_{cp} = 5$ ГГц; $R_s = 50$ Ом; $R_l = 10$ Ом; $n = 5$; $\epsilon_r = 9,8$), которые представлены на рисунках 2 и 3.



Рисунок 2 – Структура 1 топологии ступенчатого трансформирующего фильтра диапазона СВЧ



Рисунок 3 – Структура 2 топологии ступенчатого трансформирующего фильтра диапазона СВЧ

В заключение, представленные выше структуры топологий ступенчатых трансформирующих фильтров в своей реализации имеют узкие геометрические размеры, имеют неплохие показатели коэффициентов передачи и отражения, но требуют обязательной оптимизации параметров схемы.

Увеличение порядка низкочастотного фильтра-прототипа до $n = 20$ и расчета его элементов, с последующим преобразованием используя тождества Куроды, показало большое увеличение операций вычислений на каждом шаге, но сами вычисления являются простыми. В результате, количество преобразованных элементов возросло до 40. Данный метод синтеза позволяет получать трансформирующие фильтры на оптимальных шлейфах, однако, как было замечено выше, для вычислений высоких порядков фильтров требуется дополнительная вычислительная мощность.

Список использованных источников:

1. Никольский В.В. Автоматизированное проектирование устройств СВЧ / В.В. Никольский, В.П. Орлов, В.Г. Феоктистов и др. – М.: Радио и связь, 1982. – 272 с.
2. Курочкин А.Е. Разработка компьютерной JavaScript программы для синтеза квазиполосовых трансформирующих фильтров: Доклад / А.Е. Курочкин. – Минск: БГУИР, 2018. – 8 с.
3. Тюрнев В. В. Теория цепей СВЧ: Учеб. пособие / В. В. Тюрнев. – Красноярск: ИПЦ КГТУ (рукопись изд.2), 2006, –199 с.
4. Grebennikov A., Kumar N., Yarman S.B. Broadband RF and Microwave Amplifiers / CRC Press. 2016. – 743 p.
5. Разевиг В.Д. Проектирование СВЧ устройств с помощью Micro-wave Office. / В.Д. Разевиг, Ю.В. Потапов, А.А. Курушин. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 496 с.
6. Потапов Ю.В. СВЧ моделирование с помощью программы CST Microwave Studio / Ю.В. Потапов. – EDA Express, 2000. – 3 с.