

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ЯРОСЛАВА МУДРОГО»

МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ СТУДЕНТОВ

XXII научная конференция
преподавателей, аспирантов и студентов НовГУ
13–18 апреля 2015 года

Часть 2

ВЕЛИКИЙ НОВГОРОД
2015

УДК 001
М34

Печатается по решению
РИС НовГУ

М34

Материалы докладов студентов. XXII научная конференция преподавателей, аспирантов и студентов НовГУ. Великий Новгород, 13–18 апреля 2015 г. / сост. Г. В. Волошина, Т. В. Прокофьева; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2015. – Ч 2. –180 с.

ISBN 978-5-89896-556-3

Тексты статей публикуются в авторской редакции.

УДК 001

ISBN 978-5-89896-556-3

© Новгородский государственный
университет, 2015
© Авторы статей, 2015

СИНТЕЗ ФИЛЬТРОВ СВЧ С ХАРАКТЕРИСТИКАМИ СПЕЦИАЛЬНОЙ ФОРМЫ

Стремительное развитие информационных систем различного назначения, в том числе наземных и спутниковых телекоммуникационных систем, приводит к необходимости более эффективного использования выделенного для их диапазона частот. Это предъявляет повышенные требования к параметрам устройств частотной селекции, используемым в данных системах. В работе описывается метод синтеза фильтров СВЧ, использующий матрицы связи при синтезе фильтров с характеристиками специальной формы, необходимых для реализации аппаратных средств, соответствующих современным требованиям.

Традиционные методы синтеза фильтров были основаны на определении элементов фильтра-прототипа в виде лестничной цепи путём разложения на множители фильтрационной функции, заданной в полиномиальной форме.

Фильтры Чебышева, Баттерворта – самые распространённые, имеющие решения в аналитической форме и нули симметричной функции передачи на бесконечности (вне полосы заграждения). В фильтрах Чебышева, Баттерворта требуется много звеньев для сильного подавления сигнала в полосе заграждения. Для эффективного подавления сигнала на заданных частотах необходимо получение нулей функции передачи на этих частотах. Иногда возникает необходимость большего подавления с одной стороны полосы пропускания – несимметричность характеристики. В некоторых случаях необходимо получить две полосы пропускания, разделённые небольшой полосой заграждения, реализованные в одном фильтре.

В начале 1970-х были сделаны два важных достижения в поле исследований по разработкам фильтров, соответствующих новым требованиям. Одним из них была разработка методов синтеза фильтрационных функций, объединяющих встроенные нули функции передачи и равномерную групповую задержку, нацеленные в основном на микроволновую реализацию фильтра.

Затем был представлен так называемый «свернутый» фильтр с перекрестными связями между резонаторами, дополняющими обычные связи между соседними резонаторами. Эти перекрестные связи, позволили реализовывать специальные функции фильтрации, а именно, получать нули функции передачи для отсечения крайне близкого к полосе пропускания шума, получать несимметричные функции передачи, а также линеаризацию групповой задержки в полосе пропускания или всего этого в структурах одного фильтра.

Возможны два подхода к решению поставленных задач:

1) Получение нужного распределения нулей функции передачи при полиномиальном подходе через полиномы сложной формы (обобщенные полиномы Чебышева, эллиптические функции), что является достаточно сложной процедурой и не позволяет оценить физическую реализуемость системы до окончания процедуры.

2) Решение задачи путём анализа многосвязной цепи, соответствующей ФНЧ-прототипу фильтра N -го порядка (рисунок 1), где M_{ij} – частотно-независимые коэффициенты связи между контурами.

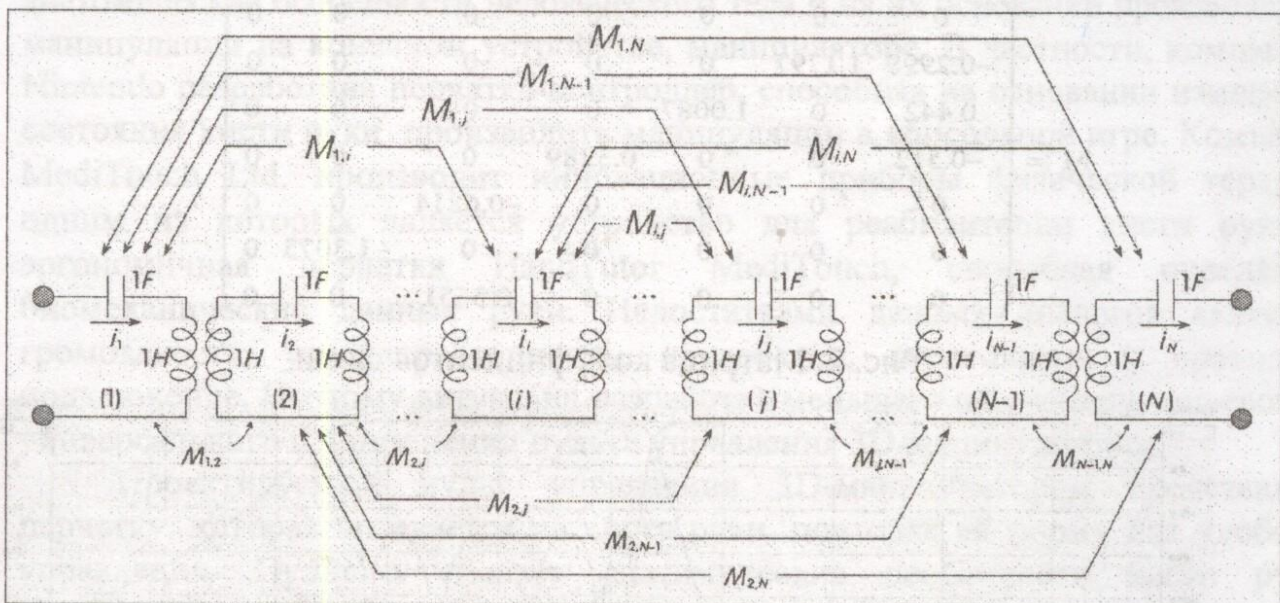


Рис. 1. ФНЧ-прототип фильтра N -го порядка.

Матрица коэффициентов связи находится из решения системы уравнений Кирхгофа для данной цепи в матричной форме [1]:

$$e_g[1, 0, 0, \dots, 0]^t = [j\mathbf{M} + s\mathbf{I} + \mathbf{R}] \cdot [i_1, i_2, i_3, \dots, i_N]^t$$

Характеристики фильтра (S-параметры) однозначно определяются матрицей коэффициентов связи [2]:

$$S_{11} = 1 + 2jR(\lambda\mathbf{I} - j\mathbf{R} + \mathbf{M})_{1,1}^{-1}$$

$$S_{21} = -2jR(\lambda\mathbf{I} - j\mathbf{R} + \mathbf{M})_{N,1}^{-1}$$

где частотная переменная $s=j\omega$ заменена переменной угловой частоты λ .

Для перехода от ФНЧ-прототипа к полосовому фильтру можно воспользоваться частотным преобразованием:

$$\lambda = \frac{f_0}{\Delta f} \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)$$

Синтез матрицы коэффициентов связи по заданным характеристикам фильтра можно выполнить с использованием методики изложенной в [2]. Весьма эффективным также является использование процедур параметрического синтеза. Целевой функцией системы в этом случае являются S-параметры, а варьируемыми параметрами – коэффициенты матрицы связи.

В качестве примера, иллюстрирующего вышеизложенное, рассмотрим полосовой фильтр 5-го порядка с асимметричной характеристикой, с центральной частотой $f_0=1220$ МГц, полосой пропускания $\Delta f=50$ МГц, с пятью нулями передачи: двумя на частотах 1176 МГц и 1162 МГц, и тремя на бесконечности. Применяв описанный ранее метод [1,2], получим матрицу коэффициентов связи и АЧХ фильтра, приведённые на рис. 2 и 3 соответственно.

$$M := \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.2998 & 1.1797 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.442 & 0 & 1.0087 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.512 & 0 & 0 & 0.3289 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0.6814 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.3075 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5651 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Рис. 2. Матрица коэффициентов связи

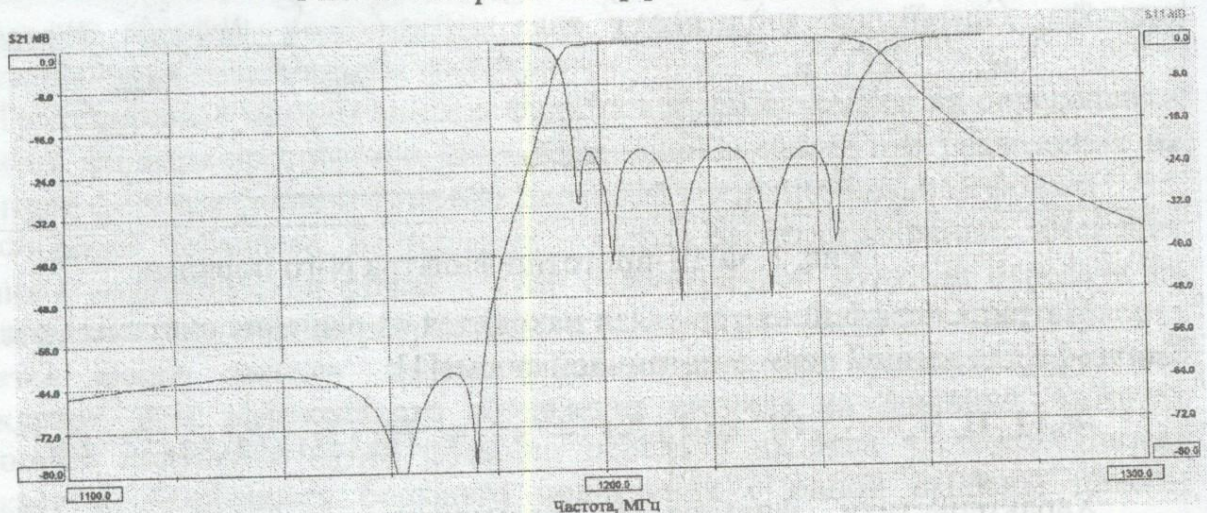


Рис. 3 Амплитудно-частотная характеристика фильтра

Литература

1. А. Е. Atia and A. E. Williams, «New types of bandpass filters for satellite transponders» COMSAT Technical Review, vol. 1, no.1, pp. 21-43, 1971.
2. R. J. Cameron, «General coupling matrix synthesis methods for Chebyshev filtering functions» IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 47, no. 4, pp. 433-442, Apr. 1999.