

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.372.542.5

Юркин  
Юрий Тадеушевич

Синтез трансформирующих фильтров высших порядков диапазона  
сверхвысоких частот

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-39 80 02 «Радиотехника, в том числе системы и устройства  
радионавигации, радиолокации и телевидения»

Научный руководитель

Курочкин Александр Евдокимович  
кандидат технических наук, доцент

Минск 2021

## ВВЕДЕНИЕ

К радиотехническим системам, работающим в сверхвысокочастотном (СВЧ) диапазоне частот, на современном этапе развития предъявляются повышенные требования к рабочему диапазону частот, передаваемой мощности, технологичности, масса-габаритным параметрам и так далее. Но стоит отметить, что при разработке высокочастотных радиотехнических систем одной из ключевых задач является – задача широкополосного согласования импедансов источника сигнала и нагрузки во всем радиоинформационном тракте радиотехнической системы.

При исследовании и проектировании микроэлектронных устройств нужно принимать во внимание очень многие факторы, обусловленные спецификой диапазона СВЧ. Уменьшение габаритов фильтра достигается при использовании планарной технологии.

При этом анализ и синтез трансформирующих фильтров диапазона СВЧ должен быть более точным, поскольку их изготовление требует больших затрат времени и средств. Продолжительность синтеза зависит от выбора начальных значений конструктивных параметров и от выбора метода оптимизации.

Несмотря на то, что в последние годы предложено большое количество конструкций фильтров и согласующих устройств СВЧ, разработка новых методов реализации микроволновых фильтров продолжается.

Таким образом, проблема синтеза согласующих устройств является одной из важных среди проблем, при создании современных систем беспроводной связи. Эта проблема имеет большое техническое значение и является весьма сложной проблемой теории цепей диапазона СВЧ.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Разработка новых принципов построения и методов расчета фильтров с повышенными селективными свойствами и заданными значениями коэффициента отражения является актуальной задачей в теоретическом и практическом отношении.

**Цель работы.** Разработка новых подходов, методов расчета и схемотехнических решений для построения фильтров в распределенном элементном базисе с заданными параметрами.

### **Задачи исследования:**

- 1) Провести анализ способов реализации трансформирующих фильтров произвольного порядка диапазона СВЧ;
- 2) Провести анализ возможности реализации трансформирующих фильтров высших порядков диапазона СВЧ;
- 3) Произвести синтез и расчет трансформирующих фильтров произвольного порядка диапазона СВЧ;
- 4) Провести оценку АЧХ и коэффициента отражения синтезированного фильтра, реализованного на микрополосковых линиях;
- 5) Выработать рекомендации по реализации трансформирующих фильтров высших порядков диапазона СВЧ.

**Объект исследования.** Трансформирующий фильтр.

**Предмет исследования.** Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) и коэффициент отражения.

**Научная новизна работы.** В связи с совершенствованием технологий изготовления микроэлектронной элементной базы и роста рабочей частоты до миллиметрового диапазона возникает проблема согласования таких устройств в широкой полосе. Поэтому в данной диссертации была выполнена следующая работа:

- 1) Разработана аналитическая методика расчета амплитудно-частотной характеристики различного вида фильтров, которую предложено использовать для анализа и сравнения коэффициентов передачи, коэффициентов отражения и ФЧХ трансформирующих фильтрующих структур в диапазоне СВЧ.
- 2) Изложен и проверен метод теории малых отражений для синтеза трансформирующих фильтров диапазона СВЧ на МПЛ с использованием аппроксимирующей характеристики Чебышева.
- 3) Построены и проанализированы четвертьволновые трансформаторы.

### **Апробация работы.**

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на 56 научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 2020 (2 доклада).

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, списка литературы, двух приложений, изложена на 87 страницах, содержит 41 рисунок и 1 таблицу. Список литературы содержит 52 наименования.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во введении обоснована актуальность разработки новых принципов построения и методов расчета трансформирующих фильтров, сформулирована цель работы и ее основные задачи. Также определен и предмет объект исследования, определена научная новизна работы.

В первом разделе были рассмотрены основные методы устранения отраженной волны и описаны используемые для этой цели устройства. Перечислены основные типы фильтров и их характеристики. Определены основные задачи при синтезе согласующих цепей, а также основные подходы и методы. Представлено математическое описание цепей СВЧ, с помощью ABCD-параметров и матрицы рассеяния. Были выделены основные моменты при проектировании согласующих цепей и их простые звенья. Рассмотрен критерий Боде-Фано. Произведен краткий обзор программного обеспечения, используемого для синтеза цепей в диапазоне СВЧ. Рассмотрены основные зависимости в МПЛ.

Синтезированы трансформирующие цепи на основе трехзвенного четвертьволнового трансформатора. Сравнивая результаты синтеза трансформирующей цепи трехзвенного четвертьволнового трансформатора и трансформирующей цепи на основе низкочастотного прототипа в полосе частот  $\Delta f = (3,5 \dots 7,505)$  ГГц можно отметить следующее:

1) Синтез трансформирующей цепи на основе трехзвенного четвертьволнового трансформатора показал, что максимальный коэффициент передачи  $|S_{21}|$  составил 0,96712 на частоте 4,1 ГГц. Минимальный коэффициент отражения  $|S_{11}|$  составил 0,09737 на частоте 4,4 ГГц. Значение КСВН в полосе пропускания составляет находится в диапазоне от 1,23 до 1,42 на границах полосы пропускания.

2) Максимальный КСВН для трансформирующей цепи на основе трехзвенного четвертьволнового трансформатора равен 1,21. После проведения оптимизации, минимальное значение КСВН увеличилось, но дополнительно, значение КСВН в полосе пропускания стало более стабильным.

Во втором разделе представлены теоретические выкладки теории малых отражений и описаны основные свойства полиномов Чебышева.

В работе представлен расчет двухсекционного трансформатора с характеристикой Чебышева. И на основе полученных характеристических сопротивлений секций трансформатора произведен пересчет ширины и длины МПЛ в программном обеспечении (ПО) AWR MicrowaveOffice – TXLINE 2003. В данном ПО представлена эта трансформирующая цепь на отрезках линии передачи. Отражен внешний вид топологии двухсекционного трансформатора и построен график для коэффициента передачи  $|S_{21}|$  этого трансформатора.

В третьем разделе рассмотрены основные технологии и основные моменты изготовления печатных плат диапазона СВЧ. Описаны четвертьволновые трансформаторы с максимально плоской и чебышевской характеристиками. Представлена реализация трансформирующих фильтров порядков 10 и 24 на распределенных элементах. Топология строилась на отрезках линии передачи с чередующимися волновыми сопротивлениями.

В результате были представлены структура трансформирующего фильтра 10 и 24-го порядка, реализованные в программном обеспечении AWR MicrowaveOffice.

Критерием качества при создании согласующих цепей является максимальное значение коэффициента передачи  $|S_{21}|$  и минимальные значения коэффициентов отражения  $|S_{11}|$  и  $|S_{22}|$ .

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы:

1) Изложен и проверен метод теории малых отражений для синтеза трансформирующих фильтров диапазона СВЧ на МПЛ с использованием аппроксимирующей характеристики Чебышева. Данный метод позволяет получить требуемый коэффициент отражения в зависимости от электрической длины линии, при правильном выборе коэффициента отражения и использования достаточного количества звеньев.

2) Предоставлены краткие рекомендации по синтезу трансформирующих цепей и более подробно описаны указания (рекомендации) по реализации устройств СВЧ диапазона на микрополосковых линиях.

3) Собран и предоставлен актуализированный краткий список основных программных обеспечений, предназначенных для разработки и моделирования различных устройств СВЧ диапазона.

4) Проведен анализ четвертьволновых трансформаторов. Реализованы трансформирующие фильтры высокого порядка на отрезках линии передачи с разными волновыми сопротивлениями.

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**

1. Юркин Ю.Т., Синтез трансформирующих фильтров высших порядков диапазона сверхвысоких частот / Ю.Т. Юркин // Радиотехника и электроника: сборник тезисов докладов – Минск: БГУИР, 2020. с. 244-245.

2. Юркин Ю.Т., Методы синтеза согласующих цепей / Ю.Т. Юркин, И.С. Гузак // Радиотехника и электроника: сборник тезисов докладов – Минск: БГУИР, 2020. с. 246-247.