

Министерство образования и науки Российской Федерации  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

Г.Н. ДЕВЯТКОВ

# МОДЕЛИРОВАНИЕ И АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

Утверждено редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия

НОВОСИБИРСК  
2010

УДК 621.372.632.018.424(075.8)  
Д 259

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. *В.П. Разинкин*;  
доц. *Н.И. Коржавин*

Работа выполнена на кафедре конструирования  
и технологии радиоэлектронных средств

**Девятков Г.Н.**

Д 259 Моделирование и автоматизированное проектирование широкополосных преобразователей частоты : учеб. пособие / Г.Н. Девятков. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010. – 68 с.

ISBN 978-5-7782-1345-6

Изложены матричные модели идеального и реального диодов с приоткрыванием  $p$ – $n$ -перехода, а также методы автоматизированного синтеза согласующее-фильтрующих цепей широкополосных преобразователей частоты. Рассмотрено необходимое программное обеспечение для их проектирования на персональных ЭВМ.

Предназначено для студентов старших курсов радиотехнических специальностей.

УДК 621.372.632.018.424(075.8)

Девятков Геннадий Никифорович

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
ШИРОКОПОЛОСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ**

**Учебное пособие**

Редактор *Т.П. Петроченко*  
Выпускающий редактор *И.П. Брованова*  
Дизайн обложки *А.В. Ладыжская*  
Компьютерная верстка *Л.А. Веселовская*

---

Подписано в печать 09.03.2010. Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная. Тираж 100 экз.  
Уч.-изд. л. 3,95. Печ. л. 4,25. Изд. № 3. Заказ № Цена договорная

---

Отпечатано в типографии  
Новосибирского государственного технического университета  
630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

**ISBN 978-5-7782-1345-6**

© Девятков Г.Н., 2010  
© Новосибирский государственный  
технический университет, 2010

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ОСНОВЫ РАБОТЫ И ПОСТРОЕНИЯ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ НА ДИОДАХ С ПРИОТКРЫВАНИЕМ $p$ - $n$ -ПЕРЕХОДА И ИХ РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	5
1.1. Преобразовательный диод, его режимы работы и основные параметры .....	5
1.2. Схемы преобразователей частоты .....	9
2. МАТРИЧНАЯ МОДЕЛЬ ДИОДА С ПРИОТКРЫВАНИЕМ $p$ - $n$ -ПЕРЕХОДА..	13
2.1. Эквивалентное представление диода с приоткрыванием $p$ - $n$ -перехода .....	13
2.2. $z$ -матрица идеального диода с приоткрыванием $p$ - $n$ -перехода .....	15
2.3. Условия максимальной передачи мощности в преобразователе частоты.....	17
2.4. $z$ -матрицы реальных диодов с приоткрыванием $p$ - $n$ -перехода.....	23
2.5. Автоматизированный анализ и нахождение оптимальных режимов работы диодов с приоткрыванием $p$ - $n$ -перехода в реальных конструкциях преобразователей частоты.....	26
3. МЕТОДЫ СИНТЕЗА ШИРОКОПОЛОСНЫХ СОГЛАСУЮЩЕ- ФИЛЬТРУЮЩИХ ЦЕПЕЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ .....	30
3.1. Синтез широкополосных согласующе-фильтрующих цепей преобразователей частоты параллельного типа с использованием $z$ -матрицы диода.....	30
3.2. Реализация широкополосных согласующе-фильтрующих цепей в сосредоточенно-распределенном и распределенном электрическом элементном базисе .....	38
3.3. Синтез широкополосных согласующе-фильтрующих цепей балансных преобразователей частоты.....	43
3.2.1. Обобщенные схемы балансных преобразователей частоты на диодах ..	43
3.2.2. Особенности синтеза широкополосных согласующе-фильтрующих цепей балансных преобразователей частоты.....	45
4. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ НА ДИОДАХ С ПРИОТКРЫВАНИЕМ $p$ - $n$ -ПЕРЕХОДА С ПОМОЩЬЮ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ППП .....	51
4.1. Автоматизированный анализ и нахождение оптимальных режимов работы диодов с приоткрыванием $p$ - $n$ -перехода в реальных конструкциях преобразователей частоты.....	52
4.2. Автоматизированный синтез согласующе-фильтрующих цепей широкополосных преобразователей частоты на диодах .....	57
Список литературы .....	59
Приложение. Пакеты прикладных программ «MOD».....	60
«Расчет умножителя частоты» .....	64