



А. Н. Зикий, А. В. Помазанов  
А. П. Плёнкин

# Преобразование частоты радиосигналов в телекоммуникационных системах

учебное пособие



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Инженерно-технологическая академия

**А. Н. ЗИКИЙ**  
**А. В. ПОМАЗАНОВ**  
**А. П. ПЛЁНКИН**

**ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТОТЫ  
РАДИОСИГНАЛОВ В  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

*Учебное пособие*

Ростов-на-Дону – Таганрог  
Издательство Южного федерального университета  
2022

УДК 621.396.62

ББК 32.842

3-601

*Печатается по решению кафедры информационной безопасности телекоммуникационных систем Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета (протокол № 19 от 16 марта 2022 г.)*

**Рецензенты:**

доктор технических наук,

профессор Южного федерального университета *К. Е. Румянцев*

кандидат технических наук, старший научный сотрудник,

начальник лаборатории АО «ТНИИС» *С. В. Крикотин*

**Зикий, А. Н.**

3-601 Преобразование частоты радиосигналов в телекоммуникационных системах : учебное пособие / А. Н. Зикий, А. В. Помазанов, А. П. Плёткин ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2022. – 195 с.

ISBN 978-5-9275-4207-9

Изложены принципы построения и основы проектирования преобразователей частоты радиосигналов, применяемых в телекоммуникационных системах. Рассматриваются вопросы схемотехники и конструкции смесителей, умножителей частоты. Приводятся многочисленные результаты разработки и экспериментальных исследований преобразователей различных диапазонов длин волн. Учебное пособие написано на основе оригинальных работ авторов, опубликованных в научных журналах.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности 10.05.02 – Информационная безопасность телекоммуникационных систем и изучающих дисциплину «Устройства телекоммуникационных систем», может быть полезно при курсовом и дипломном проектировании.

УДК 621.396.62

ББК 32.842

ISBN 978-5-9275-4207-9

© Южный федеральный университет, 2022

© Зикий А. Н., Помазанов А. В.,

Плёткин А. П., 2022

© Оформление. Макет. Издательство

Южного федерального университета, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. КЛАССИФИКАЦИЯ СМЕСИТЕЛЕЙ И ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ .....	6
1.1. Классификация транзисторных смесителей .....	6
1.2. Выбор диодов для смесителей СВЧ .....	10
2. СМЕСИТЕЛИ ДЕЦИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА .....	12
2.1. Экспериментальное исследование смесителя на микросхеме К174ПС4 .....	12
2.2. Экспериментальное исследование смесителя на микросхеме 1АМ81008 .....	16
2.3. Смеситель дециметрового диапазона на комбинации линий передачи .....	19
2.4. Экспериментальное исследование однодиодного микропо- лоскового смесителя .....	23
2.5. Моделирование и экспериментальное исследование субгар- монического смесителя .....	26
2.6. Смеситель с большим динамическим диапазоном .....	36
2.7. Исследование динамического диапазона смесителя по комби- национным составляющим .....	43
2.8. Экспериментальное исследование монолитного смесителя ...	50
2.9. Двойной балансный смеситель дециметрового диапазона волн	56
2.10. Узкополосный балансный смеситель .....	62
3. СМЕСИТЕЛИ САНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА .....	68
3.1. Двойной балансный смеситель на симметрирующих транс- форматорах .....	68
3.2. Смеситель 10-сантиметрового диапазона .....	73
3.3. Ортомодовый смеситель .....	79
3.4. Балансный смеситель с двумя мостами Ланге .....	83
3.5. Моделирование балансного смесителя с мостом Ланге .....	88

3.6. Экспериментальное исследование смесителя на микросхеме LTC5553 .....	93
4. СМЕСИТЕЛИ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА .....	101
4.1. Экспериментальное исследование субгармонического смесителя .....	101
4.2. Однодиодный смеситель миллиметрового диапазона .....	105
5. УМНОЖИТЕЛИ ЧАСТОТЫ .....	112
5.1. Типы умножителей частоты, основные характеристики .....	112
5.2. Генератор четырёх частот .....	119
5.3. Варакторный умножитель частоты на 170 МГц .....	126
5.4. Варакторный умножитель частоты 400 МГц .....	130
5.5. Генератор гармоник .....	135
5.6. Диодный генератор гармоник .....	135
5.7. Экспериментальное исследование микросхемы LTC 5553 в режиме умножения частоты .....	139
5.8. Экспериментальное исследование микросхемы LTC 5553 в режиме умножения частоты с направленным ответвителем .....	146
5.9. Гетеродин сантиметрового диапазона для защищенной системы связи .....	150
5.10. Умножитель частоты миллиметрового диапазона .....	153
5.11. Умножитель частоты высокой кратности .....	159
5.12. Экспериментальные исследования кварцевого калибратора [88] .....	165
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	176
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	177
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	190
Приложение А. Фотографии смесителей .....	190
Приложение Б. Фотографии умножителей .....	192
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ .....	196