

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

П. А. ЗЕМЛЯНУХИН

**ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СИГНАЛОВ
НЕЛИНЕЙНЫМИ ЦЕПЯМИ СИСТЕМ
ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ**

Учебное пособие

Ростов-на-Дону – Таганрог
Издательство Южного федерального университета
2020

УДК 621.391(075.8)

ББК 32.811я73

3-535

Печатается по решению кафедры информационной безопасности телекоммуникационных систем Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета (протокол № 14 от 26 февраля 2020 г.)

Рецензенты:

ведущий научный сотрудник лаборатории информационных технологий и процессов управления Южного научного центра РАН,
доктор технических наук *С. Г. Капустян*

доцент, доцент кафедры вычислительной техники института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, кандидат технических наук
А. О. Пьявченко

Землянухин, П. А.

3-535 Преобразование сигналов нелинейными цепями систем передачи информации : учебное пособие / П. А. Землянухин ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2020. – 142 с.

ISBN 978-5-9275-3570-5

В учебном пособии рассмотрены вопросы, связанные с формированием и преобразованием сигналов в нелинейных цепях систем передачи информации, приведены материалы для выполнения студентами индивидуальных заданий.

УДК 621.391(075.8)

ББК 32.811я73

ISBN 978-5-9275-3570-5

© Южный федеральный университет, 2020

© Землянухин П. А., 2020

© Оформление. Макет. Издательство

Южного федерального университета, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 3 |
| 1. ПОНЯТИЕ РЕЗИСТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С НЕЛИНЕЙНОЙ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ..... | 5 |
| 1.1. Свойства, параметры и характеристики нелинейных резистивных элементов..... | 5 |
| 1.2. Нелинейные резистивные элементы..... | 10 |
| 2. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СИГНАЛОВ И СПЕКТРОВ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ..... | 16 |
| 2.1. Понятие линейной, нелинейной и параметрической систем | 16 |
| 2.2. Безынерционное преобразование периодических сигналов и спектров..... | 17 |
| 2.3. Выбор ВАХ нелинейного резистивного элемента применительно к оператору нелинейного преобразования..... | 19 |
| 2.4. Методы аппроксимации ВАХ нелинейных резистивных элементов..... | 21 |
| 2.5. Расчет значений коэффициентов применительно к выбранной аппроксимирующей функции..... | 22 |
| 3. МЕТОДЫ АНАЛИЗА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ И СПЕКТРОВ НЕЛИНЕЙНЫМ РЕЗИСТИВНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ... | 26 |
| 3.1. Метод степенного полинома..... | 26 |
| 3.2. Метод кусочно-линейной аппроксимации..... | 37 |
| 3.3. Метод аппроксимации ВАХ нелинейного резистивного элемента экспоненциальной функцией..... | 31 |
| 3.4. Порядок нахождения отклика нелинейного резистивного элемента относительно сложных входных сигналов..... | 32 |
| 4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ С НЕЛИНЕЙНЫМИ РЕЗИСТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ..... | 36 |
| 4.1. Работа нелинейных резистивных элементов в режиме малого сигнала..... | 36 |
| 4.2. Работа нелинейных резистивных элементов в режиме большого сигнала..... | 38 |

| | |
|--|-----|
| 4.3. Безынерционные нелинейные элементы при воздействии на них узкополосных радиосигналов..... | 41 |
| 4.4. Резонансное усиление сигналов с использованием нелинейных резистивных элементов..... | 46 |
| 4.5. Умножение частоты сигналов..... | 54 |
| 4.6. Амплитудно-модулированные радиосигналы..... | 59 |
| 4.6.1. Спектр амплитудно-модулированных колебаний..... | 64 |
| 4.6.2. Модуляторы амплитудно-модулированных колебаний..... | 65 |
| 4.7. Некогерентное детектирование радиосигналов..... | 72 |
| 4.7.1. Детектирование амплитудно-модулированных колебаний..... | 72 |
| 4.7.2. Детектирование частотно- и фазомодулированных сигналов..... | 86 |
| 4.8. Преобразование частоты сигналов..... | 94 |
| 5. МАТЕРИАЛЫ К ИНДИВИДУАЛЬНЫМ ЗАДАНИЯМ..... | 99 |
| 6. ПОЛОЖЕНИЯ К ПОРЯДКУ ВЫПОЛНЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ (РАСЧЕТНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ) ЗАДАНИЙ..... | 107 |
| 7. ОБЩИЕ РАСЧЕТЫ К ВЫПОЛНЕНИЮ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ..... | 110 |
| 8. ПЕРВОЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ: НАХОЖДЕНИЕ ОТКЛИКА НЕЛИНЕЙНОГО РЕЗИСТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ АППРОКСИМАЦИИ ЕГО ВАХ ПОЛИНОМОМ..... | 120 |
| 9. ВТОРОЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ: НАХОЖДЕНИЕ ОТКЛИКА НЕЛИНЕЙНОГО РЕЗИСТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ЕГО ВАХ... | 123 |
| 10. ТРЕТЬЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ: НАХОЖДЕНИЕ ОТКЛИКА НЕЛИНЕЙНОГО РЕЗИСТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ АППРОКСИМАЦИИ ЕГО ВАХ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЙ ФУНКЦИЕЙ..... | 130 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 137 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... | 138 |