

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
Рашид Шакирович Нигматуллин и его научная школа (М.Р. Вяселев, Ю.К. Евдокимов) .....	9
<b>Раздел I. Фрактальные элементы, устройства и методы обработки информации: состояние и перспективы (А.Х. Гильмутдинов, А.А. Потапов, П.А. Ушаков) .....</b>	<b>29</b>
<b>Глава 1.1. Применение операторов дробного интегрирования и дифференцирования в синтезе фрактальных элементов .....</b>	<b>29</b>
<b>Глава 1.2. Методы физического моделирования дробных операторов .....</b>	<b>31</b>
1.2.1. Первая группа методов реализации .....	31
1.2.2. Вторая группа методов реализации .....	32
1.2.3. Третья группа методов реализации .....	32
<b>Глава 1.3. Конструктивно-технологические основы реализации RC-ЭРП .....</b>	<b>33</b>
1.3.1. Технологические методы изготовления элементов .....	33
1.3.2. Классификация конструктивных признаков и варианты конструкций RC-ЭРП .....	34
<b>Глава 1.4. Уравнения и классификация многослойных RC-ЭРП .....</b>	<b>39</b>
1.4.1. Уравнения RC-ЭРП со структурой слоев вида R1-C-R2 .....	39
1.4.2. Классификация пленочных элементов по характеру распределения потенциалов в резистивных слоях .....	41
<b>Глава 1.5. Фракталы в микро- и нанотехнологиях .....</b>	<b>43</b>
1.5.1. Фрактальные сигнатуры в задачах оценки микрорельефа обработанных поверхностей .....	43
1.5.2. Скейлинг и фрактальная размерность полимерных композитов .....	46
<b>Глава 1.6. Фрактальные фотонные и магنونные кристаллы. Фрактальные радиопоглощающие / маскирующие материалы и покрытия .....</b>	<b>50</b>
1.6.1. Метаматериалы и фрактальные композиты .....	50
1.6.2. Конструирование фотонных запрещенных зон с помощью планарных фрактальных структур .....	50
1.6.3. Эксперимент .....	51
1.6.4. Расчеты .....	52
1.6.5. Модуляция параметров падающей электромагнитной волны .....	54
1.6.6. Фрактальные сверхволновые отражатели и их применение .....	57
<b>Глава 1.7. Анализ и синтез фрактальных антенн .....</b>	<b>59</b>
1.7.1. Зарождение фрактальных антенн и области их применения .....	59
1.7.2. Расчет электродинамических свойств многодиапазонных фрактальных антенн .....	60

<b>Глава 1.8. Методы анализа фрактальных элементов на основе RC-ЭПП</b> . . .	66
1.8.1. Постановка задачи . . . . .	66
1.8.2. Концепция многослойного виртуального обобщенного элемента с распределенными параметрами . . . . .	69
1.8.3. МОКРЭ: одномерный случай . . . . .	70
1.8.4. МОКРЭ: двумерный случай . . . . .	72
<b>Глава 1.9. Методы синтеза RC-ЭПП</b> . . . . .	77
1.9.1. Традиционные методы синтеза . . . . .	77
1.9.2. Генетические алгоритмы . . . . .	79
1.9.3. Операторы генетического алгоритма . . . . .	80
1.9.4. Теоретико-множественный подход к кодированию конструктивных элементов топологии . . . . .	81
<b>Глава 1.10. Перспективные области применения RC-ЭПП</b> . . . . .	83
1.10.1. Дифференцирование и интегрирование дробного порядка . . . . .	84
1.10.2. Аналоговое моделирование динамических систем дробного порядка . . . . .	85
1.10.3. Системы управления дробного порядка . . . . .	85
1.10.4. Гибридные вычислительные машины . . . . .	86
1.10.5. Измерение физических величин . . . . .	86
1.10.6. Другие области применения . . . . .	87
<b>Глава 1.11. Существующие проблемы обработки многомерных сигналов</b> . . . . .	88
<b>Глава 1.12. Методы построения фрактальных сигналов и «фрактальная» передача информации</b> . . . . .	89
<b>Глава 1.13. Методы обработки сверхслабых сигналов и малоконтрастных изображений</b> . . . . .	91
1.13.1. Текстурные сигнатуры . . . . .	92
1.13.2. Отказ от гауссовских статистик в экспериментах. Тонкая структура отраженных сигналов и новый класс признаков . . . . .	93
1.13.3. Фрактальные сигнатуры и степенные распределения . . . . .	95
1.13.4. Примеры фрактальной обработки тематических изображений . . . . .	97
1.13.5. Фракталы и вейвлеты: сопоставление . . . . .	100
<b>Глава 1.14. Анализ и синтез эталонного словаря фрактальных признаков</b> . . . . .	102
1.14.1. Фрактальные примитивы . . . . .	102
1.14.2. Формальные грамматики . . . . .	103
1.14.3. Формализация проблемы . . . . .	103
<b>Глава 1.15. Фрактальный непараметрический обнаружитель радиолокационных сигналов</b> . . . . .	105
1.15.1. Постановка задачи . . . . .	105
1.15.2. Структурные схемы ФНОРС . . . . .	105
1.15.3. Системообразующие принципы ФНОРС . . . . .	107
1.15.4. Избранные примеры фрактальной обработки реальных радиосигналов . . . . .	109
1.15.5. Вычисление фрактальных характеристик реального сигнала с помощью ФНОРС . . . . .	110
<b>Глава 1.16. Реализация операторов дробного интегрирования и дифференцирования</b> . . . . .	112
1.16.1. Обобщенные частотные критерии синтеза операторов ДИД . . . . .	112
1.16.2. Синтез ДЛФ на основе RC-ЭСЦП . . . . .	115
1.16.3. Синтез ДЛФ на основе RC-ЭПП . . . . .	116
<b>Заключение к разделу I</b> . . . . .	117
<b>Литература</b> . . . . .	118

<b>Раздел II. Фрактальные элементы на основе многослойной резистивно-емкостной структуры с неоднородным распределением параметров: модель, анализ и синтез</b> ( <i>А.Х.Гильмутдинов, В.А.Мокляков, П.А. Ушаков</i> )	131
---	-----

<b>Глава 2.1. Одномерные структурно-неоднородные RC-ЭРП</b>	133
---	-----

<b>Глава 2.2. Математическая модель ОКРЭ</b>	134
--	-----

2.2.1. Вывод уравнений однородной R1-G1-C1-R2-C2-G2-R2-линии	134
--	-----

2.2.2. Вывод аналитических выражений у-параметров ОКРЭ	137
--	-----

2.2.3. Проверка корректности выражений у-параметров ОКРЭ	141
--	-----

<b>Глава 2.3. Математические и алгоритмические основы анализа ОСН RC-ЭРП методом обобщенных конечных распределенных элементов</b>	144
---	-----

2.3.1. Способ преобразования матрицы проводимостей ОКРЭ в матрицы проводимостей КРЭ	144
---	-----

2.3.2. Математическая модель ОСН RC-ЭРП	149
---	-----

2.3.3. Алгоритм и программа анализа ОСН RC-ЭРП	153
--	-----

2.3.4. Примеры анализа ОСН RC-ЭРП и проверка достоверности результатов анализа	156
--	-----

<b>Глава 2.4. Математические и алгоритмические основы синтеза фрактальных элементов на основе ОСН RC-ЭРП</b>	162
--	-----

2.4.1. Общая концепция синтеза RC-ЭРП	162
---------------------------------------	-----

2.4.2. Обоснование метода синтеза ОСН RC-ЭРП	163
--	-----

2.4.3. Общая постановка задачи синтеза конструкций с помощью генетического алгоритма	165
--	-----

2.4.4. Разработка генетического алгоритма синтеза конструкции ОСН RC-ЭРП с заданными частотными характеристиками	168
--	-----

2.4.5. Выбор и обоснование способов и алгоритмов реализации генетических операторов	173
---	-----

2.4.6. Разработка генетического алгоритма и программы синтеза ОСН RC-ЭРП	179
--	-----

2.4.7. Исследование возможностей синтеза ФЭ на основе ОСН RC-ЭРП	184
--	-----

<b>Заключение к разделу II</b>	187
--------------------------------	-----

<b>Литература</b>	188
-------------------	-----

<b>Раздел III. Методы фрактальной геометрии и дробных операторов в задачах анализа и синтеза сложных систем и устройств</b> ( <i>Ю.К. Евдокимов, Е.С. Денисов, Д.В. Шахтурин (гл. 3.1-3.6), М.Р. Вячеслав, Д.В. Глебов, А.В. Трибунских (гл. 3.7)</i> )	191
---	-----

<b>Глава 3.1. Распределенные измерительные среды и континуум-измерения</b>	192
--	-----

3.1.1. Основные понятия. Принцип континуум-измерений	193
--	-----

3.1.2. Количественная мера «распределенности». Классификация непрерывно-распределенных и дискретно-распределенных датчиков	195
--	-----

3.1.3. Оптимальный метод опроса дискретно-распределенных датчиков	198
---	-----

<b>Глава 3.2. Исследование фрактальной топологии больших сетей. Согласование топологии сети с геометрией объекта</b>	200
--	-----

3.2.1. Системные свойства телекоммуникационных сетей	201
--	-----

3.2.2. Фрактальный характер топологии большой сети	202
--	-----

3.2.3. Критерий согласования топологии большой сети с геометрией объекта	206
--	-----

3.2.4. Моделирование задержек сообщений во фрактальных структурах	208
---	-----

<b>Глава 3.3. Импеданс и адмиттанс одномерного распределенного электрохимического датчика</b> .....	210
3.3.1. Электрическая модель распределенного электрохимического датчика. ....	210
3.3.2. Математические модели для входного импеданса и адмиттанса одномерного распределенного электрохимического датчика .....	214
3.3.3. Измерительный алгоритм, основанный на представлении входного адмиттанса распределенного датчика в виде ряда .....	215
<b>Глава 3.4. Фликкер-шум как фрактальный случайный процесс. Генерация фликкер-шума</b> .....	217
<b>Глава 3.5. Нелинейная и линейная электрические модели водородного топливного элемента и идентификация его параметров</b> .....	220
3.5.1. Нелинейная электрическая модель водородного ТЭ .....	221
3.5.2. Линейная электрическая модель ТЭ .....	222
3.5.3. Схема и результаты эксперимента .....	223
<b>Глава 3.6. Электрический шум водородного топливного элемента и исследование его диагностических свойств</b> .....	228
3.6.1. Диагностические свойства электрических шумов водородного топливного элемента .....	228
3.6.2. Описание экспериментальной установки .....	230
3.6.3. Результаты эксперимента .....	231
<b>Глава 3.7. Оптимальный синтез резистивно-емкостных цепей, реализующих дробные операторы</b> ( <i>М.Р. Вяселев, Д.В. Глебов, А.В. Трибунских</i> ) .....	236
3.7.1. Краткий обзор и постановка задачи .....	237
3.7.2. Алгоритм синтеза .....	239
3.7.3. Результаты синтеза и их проверка .....	240
<b>Заключение к разделу III</b> .....	245
<b>Литература</b> .....	247
<b>Раздел IV. Дробные операторы дифференцирования и интегрирования и их применение в диэлектрической спектроскопии</b> ( <i>Р.Р. Низматуллин, С.И. Осокин, А.А. Арбузов</i> ) .....	252
<b>Глава 4.1. Физический и геометрический смыслы операции временного дробного интегрирования с действительными и комплексными показателями степени</b> .....	253
4.1.1. Процедура усреднения гладкой функции на бинарном множестве Кантора .....	255
4.1.2. Обобщение операции усреднения на произвольный самоподобный процесс .....	257
4.1.3. Оценка нулевой Фурье-компоненты и эффективности однодогового приближения .....	260
<b>Глава 4.2. Возможные обобщения дробных операторов применительно к пространственным структурам</b> .....	265
4.2.1. Пространственный интеграл для бинарного множества Кантора .....	266
4.2.2. Некоторые обобщения и условия существования ПДН .....	270
<b>Глава 4.3. Основы традиционной теории диэлектрической релаксации. Ее возможности и недостатки</b> .....	281
4.3.1. Основные понятия диэлектрической спектроскопии .....	281
4.3.2. Проблемы интерпретации диэлектрических спектров .....	287
4.3.3. Примеры применения метода диэлектрической спектроскопии к исследованиям различных гетерогенных систем .....	294

<b>Глава 4.4. Основные положения фрактальной теории диэлектрической релаксации</b>	295
4.4.1. Основные теоретические положения	295
4.4.2. Зависимость степенных показателей от характерных времен релаксации	307
4.4.3. Взаимосвязь между зависящим от времени среднеквадратичным смещением $\langle r^2(t) \rangle$ и функцией релаксации $R(j\omega)$	308
4.4.4. Проверка полученных результатов на модельном эксперименте	316
<b>Глава 4.5. Новые методы анализа диэлектрических спектров</b>	318
4.5.1. Формат отношения	318
4.5.2. Обратный формат	321
4.5.3. Обобщенный обратный формат	322
4.5.4. Метод собственных координат (МСК)	326
4.5.5. Процедура взвешивания	329
4.5.6. Детектирование комплексных показателей	331
<b>Глава 4.6. Экспериментальные подтверждения существования дробной кинетики. Обработка реальных диэлектрических данных</b>	335
4.6.1. Реакция полимеризации винилирролидона	335
4.6.2. Процесс набухания нейтральных и заряженных гидрогелей	347
4.6.3. Анализ качества медоносных дынь	353
<b>Глава 4.7. Проблема детектирования коллективных движений в температурной области</b>	358
4.7.1. Введение и формулировка проблемы	358
4.7.2. Обнаружение коллективных движений и интерпретация обобщенного соотношения ФФТ	361
<b>Глава 4.8. Детектирование коллективных движений в температурной области. Подтверждение основных положений теории на реальных данных</b>	368
4.8.1. Проверка основной точки минимума («точки ОМ»)	370
4.8.2. Проверка точки максимума (« $\beta$ -точки»)	376
4.8.3. Проверка точки НЧ максимума (« $\alpha$ -точки»)	377
4.8.4. Проверка точки ВЧ максимума (« $\gamma$ -точка»)	381
<b>Глава 4.9. Вывод закона Фогеля-Фалчера-Таммана (ФФТ) из новой теории диэлектрической релаксации</b>	388
4.9.1. Проблемы вывода закона ФФТ на основе старой концепции диэлектрической релаксации	388
4.9.2. Вывод закона ФФТ из «дробной» кинетики и его обобщение	390
4.9.3. Численное моделирование температурной зависимости пика потерь	397
<b>Глава 4.10. Математическое приложение А</b>	405
<b>Глава 4.11. Математическое приложение Б</b>	407
<b>Заключение к разделу IV</b>	409
<b>Литература</b>	410
<b>Раздел V. О фрактальных радиосистемах, дробных операторах, скейлинге, и не только... (А.А.Потанов)</b>	417
<b>Глава 5.1. Ретроспектива работ по теории дробного интегро-дифференцирования</b>	418

---

5.1.1. Краткий исторический обзор	418
5.1.2. Хронология дробного исчисления	421
<b>Глава 5.2. Казанская школа методов дробных операторов профессора Р.Ш.Нигматуллина</b>	<b>431</b>
<b>Глава 5.3. Московская школа фрактальных методов в ИРЭ РАН</b>	<b>437</b>
5.3.1. Немного истории	437
5.3.2. Классификация фракталов	439
<b>Глава 5.4. Авторская концепция «Фрактальные элементы / импедансы и фрактальные радиосистемы».</b>	<b>441</b>
5.4.1. Предпосылки фрактальных систем	441
5.4.2. Первый фрактальный конденсатор	441
5.4.3. Аналоговая реализация полуинтегрального оператора в СВЧ диапазоне	445
5.4.4. Скейлинг шероховатого слоя и нанотехнологии	448
5.4.5. Кратко об авторской концепции фрактальных радиосистем	452
<b>Глава 5.5. Показатель Херста временных рядов и проблема адаптации</b>	<b>454</b>
5.5.1. Показатель Херста	454
5.5.2. Фрактальная адаптация систем	456
5.5.3. Новые фрактальные $H$ -сигналы	456
<b>Глава 5.6. Однородные функции, скейлинг и степенные законы</b>	<b>457</b>
5.6.1. Сложность и простота	457
5.6.2. Однородные функции и скейлинг	457
5.6.3. Степенные законы	459
<b>Глава 5.7. Возможные направления исследований</b>	<b>460</b>
<b>Заключение к разделу V</b>	<b>462</b>
<b>Литература</b>	<b>463</b>
<b>Редакционная коллегия</b>	<b>486</b>