

ОГЛАВЛЕНИЕ

Сокращения	14
Введение	17
Раздел первый.	
Основы реализации функциональных элементов	
микроэлектроники на базе резистивно-емкостных сред.....	25
Глава 1. Основные определения	
и возможности реализации элементов	
на базе резистивно-емкостных сред	26
Глава 2. Технологические основы реализации ФЭМ	
на базе резистивно-емкостной среды	31
2.1. Технология изготовления тонкопленочных <i>RC</i> -ЭРП.....	31
2.1.1. Технология получения тонких пленок.....	32
2.1.2. Методы формирования рисунка слоев	
при изготовлении тонкопленочных <i>RC</i> -ЭРП	35
2.2. Технология изготовления толстопленочных <i>RC</i> -ЭРП	36
2.3. Полупроводниковые <i>RC</i> -ЭРП.....	41
2.4. Другие методы изготовления <i>RC</i> -ЭРП.....	43
2.4.1. <i>RC</i> -ЭРП на основе микропровода.....	43
2.4.2. Электрохимические <i>RC</i> -ЭРП	44
2.5. Технология подгонки параметров ФЭМ	
на основе <i>RC</i> -ЭРП	48
Контрольные вопросы	53
Глава 3. Конструктивные основы реализации ФЭМ	
на базе пленочной резистивно-емкостной среды.....	55
3.1. Число и структура слоев пленочных <i>RC</i> -ЭРП	56
3.2. Геометрия слоев пленочных <i>RC</i> -ЭРП	60
3.3. Перекрытие слоев пленочных <i>RC</i> -ЭРП	67
3.4. Электрические контакты пленочных <i>RC</i> -ЭРП	69
3.5. Вырезы и разрезы в слоях пленочных <i>RC</i> -ЭРП.....	72
Контрольные вопросы	75

Глава 4. Физические основы создания ФЭМ на базе параметрической и нелинейной резистивно-емкостной среды.....	77
4.1. Динамические неоднородности.....	77
4.2. Физические основы создания параметрических ФЭМ на базе резистивно-емкостной среды с использованием чувствительных к воздействию внешних полей резистивных материалов	80
4.2.1. Резистивные материалы с чувствительностью к воздействию тепловых полей	80
4.2.2. Резистивные материалы с чувствительностью к воздействию магнитных полей.....	83
4.2.3. Фоторезистивные материалы.....	85
4.2.4. Тензорезистивные материалы.....	88
4.3. Физические основы создания параметрических ФЭМ на базе резистивно-емкостной среды с использованием чувствительных к воздействию внешних полей диэлектриков	90
4.3.1. Поляризация в диэлектрических материалах	90
4.3.2. Пироэлектрический эффект	93
4.3.3. Применение сегнетоэлектриков и других материалов.....	95
4.4. Нелинейные <i>RC</i> -ЭРП.....	97
Контрольные вопросы	101
Глава 5. Схемотехнические основы реализации электрических характеристик ФЭМ на базе резистивно-емкостной среды.....	102
5.1. Схемотехнические факторы при определении электрических характеристик.....	102
5.2. Варианты включения ОО и ОН <i>R-C-0</i> ЭРП как многополюсного элемента.....	103
5.3. Варианты включения ОО и ОН <i>RC</i> -ЭРП со структурой слоев вида <i>R-C-NR</i> как многополюсного элемента.....	108
5.4. Варианты включения ОО <i>RC</i> -ЭРП со структурой слоев вида <i>0-C-R-NC-0</i> как многополюсного элемента.....	115
5.5. Оценка потенциальных возможностей реализации заданных электрических характеристик ФЭМ в зависимости от количества выводов многополюсных <i>RC</i> -ЭРП.....	117
5.6. Оценка потенциальных возможностей реализации заданных электрических характеристик ФЭМ на основе <i>RC</i> -ЭРП за счет вариантов соединения составляющих их элементов	120

Контрольные вопросы	127
Раздел второй.	
Математические и алгоритмические основы	
проектирования функциональных элементов	
и устройств микроэлектроники	
на базе резистивно-емкостных сред	129
Глава 6. Общий подход к анализу	
функциональных элементов на основе	
многослойной резистивно-емкостной среды	130
6.1. Термины, определения и классификация	
идеализированных RC -ЭРП по распределению	
потенциала в резистивных слоях.....	130
6.2. Условно-графические обозначения идеализированных	
пассивных функциональных элементов на основе	
многослойной резистивно-емкостной среды	134
6.3. Обобщенные уравнения элементов на основе	
n -слойной неоднородной резистивно-емкостной среды.....	137
6.4. Классификация элементов на основе	
n -слойной неоднородной резистивно-емкостной среды.....	143
6.4.1. Классификация базового пятислойного	
3-ДН $R1-C1-R2-C2-R3$ ЭРП.....	144
6.4.2. Классификация базового трехслойного	
2-ДН $R1-C1-R2$ ЭРП	147
6.4.3. Классификация базового пятислойного	
ОО $R1-C1-R2-C2-R3$ ЭРП.....	151
6.5. Общий подход к анализу функциональных элементов	
на основе многослойной резистивно-емкостной среды	
и устройств на их основе.....	153
Контрольные вопросы	156
Глава 7. Вычисление первичных параметров	
одномерных однородных $R-C-0$ ЭРП	
и расчет геометрических размеров	
их конструктивных вариантов	157
7.1. Исходные предпосылки	157
7.2. Вычисление первичных параметров ОО $R-C-0$ ЭРП.....	158
7.3. Расчет геометрических размеров ОО $R-C-0$ ЭРП.....	162
7.4. Расчет у-параметров ОО $R1-G1-C1-R-C2-G2-R2$ ЭРП.....	166
7.4.1. Электрические модели одномерных систем	
с распределенными параметрами	167
7.4.2. Вывод уравнений	
ОО $R1-G1-C1-R-C2-G2-R2$ ЭРП.....	169

7.4.3. Вывод аналитических выражений у-параметров	174
Контрольные вопросы	180
Глава 8. Математические и алгоритмические основы анализа и синтеза одномерных неоднородных RC-ЭРП	
со структурой слоев вида R-C-0	181
8.1. Исходные предпосылки и соображения	181
8.2. Аналитическое вычисление	
первичных параметров ОН R - C -0 ЭРП	183
8.3. Вычисление первичных параметров ОН R - C -0 ЭРП	
путем его моделирования лестничной RC -цепью	
с сосредоточенными параметрами	189
8.4. Определение первичных параметров	
ОН R - C -0 ЭРП численными методами	192
8.4.1. Общий подход к определению	
первичных параметров ОН R - C -0 ЭРП	192
8.4.2. Вычисление первичных параметров	
ОН R - C -0 ЭРП методом конечных элементов	195
8.5. Вычисление первичных параметров ОН R - C -0 ЭРП	
методом конечных распределенных элементов	206
8.5.1. Суть метода конечных	
распределенных элементов	206
8.5.2. Вычисление у-параметров ОН RC -ЭРП	
с неоднородностью по ширине методом КРЭ	208
8.5.3. Вычисление у-параметров параметрического	
ОН RC -ЭРП методом КРЭ	210
8.6. Вычисление у-параметров	
комплементарных ОН RC -ЭРП	213
8.6.1. Общий подход к определению у-параметров	
комплементарных ОН RC -ЭРП	213
8.6.2. Аналитическое вычисление у-параметров	
ОК R - C -0 ЭРП с траекторией прорези первого типа	215
8.6.3. Определение у-параметров ОК RC -ЭРП	
с траекторией прорези второго типа методом КРЭ	216
Контрольные вопросы	218
Глава 9. Математические и алгоритмические основы анализа и синтеза двумерных однородных RC-ЭРП	
со структурой слоев вида R-C-0	219
9.1. Исходные предпосылки и соображения	219
9.2. Анализ ДО RC -ЭРП методом конечных элементов	223
9.2.1. Математическая формулировка задачи анализа	
ДО RC -ЭРП методом конечных элементов	223

9.2.2. Вариационная постановка решения задачи	226
9.2.3. Пример реализации МКЭ	
к задаче анализа ДО <i>RC</i> -ЭРП.....	231
9.2.4. Алгоритм вычисления матрицы А и вектора f.....	235
9.2.5. Вычисление у-параметров.....	246
9.2.6. Структура программы	
для анализа <i>RC</i> -ЭРП на основе МКЭ	249
9.2.7. Гибридная схема для двумерной задачи.....	251
9.3. Анализ ДО <i>RC</i> -ЭРП методом разделения переменных	253
9.4. Метод конечных распределенных элементов	
для двумерной задачи	260
Контрольные вопросы	265
Глава 10. Анализ одномерных неоднородных <i>RC</i>-ЭРП	267
10.1. Предварительные соображения.....	267
10.2. Исследование влияния количества элементов	
разбиения ОН <i>RC</i> -ЭРП на точность	
вычисленных частотных характеристик.....	268
10.3. Оценка функциональных возможностей ОК <i>RC</i> -ЭРП.....	270
Контрольные вопросы	276
Глава 11. Анализ двумерных однородных <i>RC</i>-ЭРП	278
11.1. Предварительные соображения.....	278
11.2. Выбор базовой конструкции <i>RC</i> -ЭРП	
эвристическими методами	281
11.3. Точность математической модели	286
11.4. Исследование функциональных возможностей	
ДО <i>RC</i> -ЭРП для построения	
широкополосного фазовращателя.....	290
11.5. Экспериментальная проверка точности	
математической модели при помощи	
дискретной физической модели <i>RC</i> -ЭРП	296
11.6. Экспериментальная проверка точности	
математической модели при помощи	
непрерывной физической модели <i>RC</i> -ЭРП	299
Контрольные вопросы	302
Глава 12. Анализ двумерных комплементарных	
<i>RC</i>-ЭРП и устройств на их основе	303
12.1. Исследование влияния высоты ступени	
на частотные характеристики ДК <i>RC</i> -ЭРП.....	303
12.2. Исследование влияния количества ступенек прорези	
на частотные характеристики ДК <i>RC</i> -ЭРП.....	308

12.3. Исследование влияния длины реза на частотные характеристики <i>RC</i> -ЭРП	310
12.4. Анализ устройств на основе ДК <i>RC</i> -ЭРП	313
12.4.1. Анализ РФ на основе ДК <i>RC</i> -ЭРП	313
12.4.2. Анализ <i>ARC</i> -фильтра на основе ДК <i>RC</i> -ЭРП	315
Контрольные вопросы	318
Глава 13. Анализ <i>RC</i>-ЭРП с фрактальной геометрией	319
13.1. Общие понятия	319
13.2. Фрактальная геометрия в <i>RC</i> -ЭРП	320
13.2.1. Кривые Коха	320
13.2.2. Канторовские множества	323
13.2.3. Кривые Серпинского	326
13.3. Исследование <i>RC</i> -ЭРП с фрактальной геометрией	327
Контрольные вопросы	331
Раздел третий.	
Анализ и синтез функциональных элементов и устройств микроэлектроники на основе резистивно-емкостных сред	333
Глава 14. Расчет схемных функций электрических цепей, содержащих <i>RC</i>-ЭРП	334
14.1. Функции электрических цепей на элементах со сосредоточенными параметрами	334
14.1.1. Понятие функций электрических цепей	334
14.1.2. Определение функций цепей методом узловых потенциалов	336
14.2. Анализ цепей, содержащих <i>RC</i> -ЭРП	341
14.2.1. Анализ пассивных цепей	341
14.2.2. Анализ активных цепей, содержащих <i>RC</i> -ЭРП и зависимые источники напряжения	345
14.3. Расчет РЭЦ с учетом неидеальностей активных и пассивных элементов	349
Контрольные вопросы	357
Глава 15. Чувствительность функций электрических цепей, содержащих <i>RC</i>-ЭРП	358
15.1. Понятие чувствительности, ее разновидности и основные свойства	358
15.2. Билинейная теорема	361
15.3. Методика определения относительной чувствительности функций РЭЦ, содержащих <i>RC</i> -ЭРП	367

15.4. Чувствительность нулей и полюсов передаточной функции.....	376
Контрольные вопросы	381
Глава 16. Анализ активных фильтров, содержащих RC-ЭРП, методом корневых годографов.....	383
16.1. Формулировка проблемы анализа ARC-фильтров, содержащих RC-ЭРП.....	383
16.1.1. Определение «эквивалентных» полюсов по характерным точкам АЧХ.....	385
16.1.2. Определение «доминирующих» полюсов решением характеристического трансцендентного уравнения.....	388
16.2. Приближенные методы нахождения полюсных годографов ARC-фильтров, содержащих RC-ЭРП	391
16.2.1. Метод численного решения характеристического трансцендентного выражения (метод 1).....	392
16.2.2. Метод фазовой поверхности в декартовой системе координат (метод 2)	394
16.2.3. Метод фазовой поверхности в полярной системе координат (метод 3)	398
16.3. Методы построения годографов нулей передаточной функции цепей, содержащих RC-ЭРП.....	403
Контрольные вопросы	405
Глава 17. Общие вопросы синтеза RC-ЭРП.....	406
17.1. Постановка задачи и концепция синтеза	406
17.1.1. Понятие синтеза RC-ЭРП	406
17.1.2. Общие подходы к синтезу конструкции RC-ЭРП	407
17.1.3. Общая постановка задачи синтеза.....	414
17.2. Регулярные методы оптимизации функций	416
17.3. Генетические алгоритмы	418
Контрольные вопросы	422
Глава 18. Синтез одномерных конструкций RC-ЭРП с помощью генетического алгоритма	423
18.1. Синтез одномерных неоднородных RC-ЭРП со структурами слоев вида R-C-0 и R-C-G-0 с помощью генетического алгоритма.....	423
18.1.1. Выбор способа кодирования информации о параметрах одномерного RC-ЭРП.....	425
18.1.2. Генетический алгоритм	427

18.2. Программа синтеза одномерных неоднородных по ширине <i>RC</i> -ЭРП со структурами слоев вида <i>R-C-0</i> и <i>R-C-G-0</i>	432
Контрольные вопросы	437
Глава 19. Синтез одномерных структурно неоднородных <i>RC</i>-ЭРП на основе резистивно-емкостной среды со структурой слоев вида <i>R1-G1-C1-R-C2-G2-R2</i>.....	439
19.1. Кодирование информации о параметрах ОСН <i>RC</i> -ЭРП.....	440
19.1.1. Кодирование параметрических и конструктивных факторов	440
19.1.2. Кодирование схемотехнических факторов.....	441
19.2. Разработка генетического алгоритма синтеза ОСН <i>RC</i> -ЭРП	447
19.2.1. Общая структура генетического алгоритма синтеза.....	447
19.2.2. Алгоритмы формирования родительских особей	451
19.2.3. Реализация оператора кроссинговера (скрещивания)	451
19.2.4. Реализация оператора мутации.....	453
19.2.5. Вычисление фитнес-функции (функция полезности)	453
19.3. Пример синтеза элемента с постоянной фазой на основе ОСН <i>RC</i> -ЭРП	454
19.4. ОСО <i>RC</i> -ЭРП: конструкции и потенциальные возможности.....	458
19.4.1. Простейший ОСО <i>RC</i> -ЭРП со структурой слоев вида <i>R-C-NR</i>	458
19.4.2. Пример ЭПФ на основе ОСО <i>RC</i> -ЭРП с четырьмя участками.....	460
Контрольные вопросы	461
Глава 20. Синтез конструкций двумерных <i>RC</i>-ЭРП.....	463
20.1. Предварительные замечания.....	463
20.2. Разработка ГА синтеза конструкций двумерных <i>RC</i> -ЭРП со структурами слоев вида <i>R-C-0</i> и <i>R-C-G-0</i>	467
20.2.1. Кодирование информации о конструкции ДО <i>RC</i> -ЭРП.....	468
20.2.2. Выбор и обоснование структуры генетического алгоритма синтеза конструкции ДО <i>RC</i> -ЭРП	471
20.3. Разработка программы синтеза ДО <i>RC</i> -ЭРП	475
20.3.1. Описание интерфейса программы.....	476

20.3.2. Работа с инструментами управления программы синтеза.....	478
Контрольные вопросы	485
Глава 21. Состояние и перспективы применения резистивно-емкостных элементов с распределенными параметрами.....	486
21.1. Применение <i>RC</i> -ЭРП в частотно-избирательных устройствах и фазовращателях	487
21.2. Применение <i>RC</i> -ЭРП для реализации фрактального импеданса	498
21.2.1. Понятия фрактального импеданса и фрактального элемента	498
21.2.2. Классификация ИПЭ комплексного дробного порядка	499
21.2.3. Физический смысл и размерность $F(\alpha, \beta)$ в зависимости от значений α и β	501
21.2.4. Частотные характеристики ИКФЭ	506
21.2.5. Реализация элементов с постоянной фазой на основе фрактальных <i>RC</i> -ЭРП	510
21.2.6. Реализация ЭПФ на основе ОН <i>RC</i> -ЭРП	511
21.2.7. Реализация ЭПФ на основе составных ОО <i>RC</i> -ЭРП.....	512
21.3. Реализация двухполюсников с линейной фазой на основе <i>RC</i> -ЭРП	518
21.3.1. Частотные характеристики и критерии синтеза двухполюсников с линейной фазой	518
21.3.2. Реализация ДЛФ на основе ОЧН <i>RC</i> -ЭРП.....	522
21.3.3. Реализация ДЛФ на основе ОСО <i>RC</i> -ЭРП.....	523
21.3.4. Реализация ДЛФ на основе ДО <i>RC</i> -ЭРП	524
21.4. Применение <i>RC</i> -ЭРП в устройствах управления динамическими системами дробного порядка.....	525
21.4.1. ПИД-регуляторы дробного порядка.....	526
21.5. Перспективные области применения <i>RC</i> -ЭРП	528
21.5.1. Гибридные вычислительные машины.....	528
21.5.2. Измерение физических величин.....	530
21.5.3. Идентификация параметров электрохимических, медицинско-биологических и биологических систем	530
21.5.4. Моделирование параметров элементов больших интегральных микросхем	532
21.5.5. Аналоговые частотно-избирательные фильтры дробного порядка	533

21.5.6. Аналоговое моделирование динамических систем дробного порядка	533
21.5.7. Аналоговые адаптивные фильтры.....	534
21.5.8. Другие перспективные применения <i>RC</i> -ЭРП.....	535
Контрольные вопросы	537
Глава 22. Активные частотно-избирательные фильтры на основе <i>RC</i>-ЭРП	539
22.1. Области применения и основные классы интегральных аналоговых фильтров	539
22.2. Обоснование выбора схемы звена \overline{ARC} -фильтра	542
22.3. Подход к синтезу \overline{ARC} -фильтров с ДО <i>RC</i> -ЭРП	544
22.4. Способ аппроксимации передаточной функции звена \overline{ARC} -фильтра дробно-рациональной функцией произвольного порядка.....	546
22.5. Критерии синтеза звена \overline{ARC} -фильтра с заданной формой полосного гидографа	550
22.6. Пример проектирования звена \overline{ARC} -фильтра на основе ДО <i>RC</i> -ЭРП	560
22.7. Оценка реализационных возможностей звена \overline{ARC} -фильтра на основе ДО <i>RC</i> -ЭРП.....	564
Контрольные вопросы	567
Глава 23. Устройства дробного интегрирования и дифференцирования	568
23.1. Исходные предпосылки	568
23.2. Примеры схемотехнической реализации устройств ДИД.....	573
23.3. Точность выполнения операций ДИД.....	578
23.3.1. Выбор критерия точности выполнения операций ДИД	578
23.3.2. Оценка точности выполнения операций ДИД в зависимости от ширины частотного диапазона постоянства фазы $\Delta\omega$	580
23.3.3. Оценка точности выполнения операций в зависимости от неравномерности ФЧХ устройства ДИД	583
Контрольные вопросы	585

Заключение	586
Приложение. Универсальная программа анализа <i>RC</i> -ЭРП и ее пользовательский интерфейс	591
Список литературы	597

СОКРАЩЕНИЯ

- ARC — активная RC -цепь
 \overline{ARC} — активная RC -цепь, содержащая резистивно-емкостные элементы с распределенными параметрами
АВМ — аналоговая вычислительная машина
АЦП — аналогово-цифровой преобразователь
АФХ — амплитудно-фазовая характеристика
АЧХ — амплитудно-частотная характеристика
АЭ — активный элемент
ГА — генетический алгоритм
ГВМ — гибридная вычислительная машина
ГН — годограф нулей
ГПИ — графический пользовательский интерфейс
ДДП — дифференциатор дробного порядка
ДИД — дробные интегрирование/дифференцирование
ДЛФ — двухполюсник с линейной фазой
ДЛВФ — двухполюсник с линейно возрастающей фазой
ДЛУФ — двухполюсник с линейно убывающей фазой
ДН КРЭ — двумерный неоднородный конечный распределенный элемент
ДН RC -ЭРП — двумерный неоднородный резистивно-емкостный элемент с распределенными параметрами
ДО КРЭ — двумерный однородный конечный распределенный элемент
ДО RC -ЭРП — двумерный однородный резистивно-емкостный элемент с распределенными параметрами
ДУДП — дифференциальное уравнение дробного порядка

ИДП — интегратор дробного порядка
ИКФЭ — идеальный комплексный фрактальный элемент
ИНУН — источник напряжения, управляемый напряжением
ИНУТ — источник напряжения, управляемый током
ИПЭ — идеализированный пассивный элемент
ИТУН — источник тока, управляемый напряжением
ИТУТ — источник тока, управляемый током
КРЭ — конечный распределенный элемент
КЧХ — комплексная частотная характеристика
КЭ — конечный элемент
ЛАЧХ — логарифмическая амплитудно-частотная характеристика
МКРЭ — метод конечных распределенных элементов
НЧ — нижняя частота
ОВДИД — операторы вещественного дробного интегрирования и дифференцирования
ОКДИД — операторы комплексного дробного интегрирования и дифференцирования
ОК RC -ЭРП — одномерный комплементарный RC -элемент с распределенными параметрами
ОН RC -ЭРП — одномерный неоднородный RC -элемент с распределенными параметрами
ОСН RC -ЭРП — одномерный структурно неоднородный RC -элемент с распределенными параметрами
ОСО RC -ЭРП — одномерный структурно однородный RC -элемент с распределенными параметрами
ОУ — операционный усилитель
ПГ — полюсный годограф
PEC — резистивно-емкостная среда
РЭЦ — радиоэлектронная цепь
СКО — среднеквадратическое отклонение
УГО — условное графическое обозначение
ФВЧ — фильтр верхних частот

ФНЧ — фильтр нижних частот
ФЧХ — фазочастотная характеристика
ФЭ — фрактальный элемент
ФЭМ — функциональный элемент микроэлектроники
ЦВМ — цифровая вычислительная машина
ЧХ — частотная характеристика
ШФВ — широкополосный фазовращатель
ЭПА — элемент с постоянной амплитудой
ЭПФ — элемент с постоянной фазой
ЭЛФ — элемент с линейной фазой
ЭЛВФ — элемент с линейно возрастающей фазой
ЭЛУФ — элемент с линейно убывающей фазой
ЭРП — элемент с распределенными параметрами
ЭСП — элемент с сосредоточенными параметрами
ЭХПИ — электрохимический преобразователь информации

RC-фильтр — частотно-избирательный фильтр на *R*- и *C*-элементах со сосредоточенными параметрами

RC-ЭВДП — резистивно-емкостный элемент вещественного дробного порядка

RL-ЭВДП — резистивно-индуктивный элемент вещественного дробного порядка

RC-ЦРП — *RC*-цепь с распределенными параметрами

RC-ЭРП — *RC*-элемент с распределенными параметрами

R-C-0 — структура слоев вида «резистор — диэлектрик — проводник»

R-C-G-0 — структура слоев вида «резистор — диэлектрик — проводимость переходного слоя — проводник»

R-C-NR — структура слоев вида «резистор — диэлектрик — резистор с сопротивлением *NR*»

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru