

Содержание

От автора	8
Используемые символы и обозначения.....	11
Введение	16
ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ	19
1.1. Линейные четырехполюсники.....	19
1.1.1. Комплексная частота	19
1.1.2. Передаточная функция	23
1.1.3. Системная функция	25
1.1.4. Линейные цепи во временной и частотной области.....	26
1.1.5. Распределение полюсов и устойчивость	30
1.2. Характеристики фильтров второго порядка.....	33
1.2.1. Биквадратная системная функция	34
1.2.2. Классификация фильтров.....	35
1.2.3. Характеристики полюсов.....	36
1.3. Фильтр-прототип нижних частот	41
1.3.1. Фильтр нижних частот второго порядка	41
1.3.2. Схема допусков (технические требования).....	44
1.3.3. Принцип аппроксимации характеристики фильтра нижних частот.....	46
1.3.4. Фильтр нижних частот n -го порядка	47
1.4. Аппроксимации характеристик фильтра нижних частот	49
1.4.1. Фильтры Баттерворта.....	50
1.4.2. Фильтры Чебышева.....	55
1.4.3. Инверсные фильтры Чебышева.....	58
1.4.4. Эллиптические фильтры.....	64
1.4.5. Фильтры Томпсона-Бесселя.....	67
1.4.6. Сравнение стандартных аппроксимаций	78
1.4.7. Другие методы аппроксимации	82
1.5. Частотные преобразования.....	86
1.5.1. Преобразование типа НЧ \rightarrow НЧ.....	86
1.5.2. Преобразование типа НЧ \rightarrow ВЧ	88
1.5.3. Преобразование типа НЧ \rightarrow ПП	90
1.5.4. Преобразование типа НЧ \rightarrow ПЗ	100
1.5.5. Преобразование типа НЧ \rightarrow ВП.....	101
1.5.6. Преобразование нормированных НЧ-элементов	102

ГЛАВА 2. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ	108
2.1. Каскадная реализация.....	109
2.1.1. Модель обратной связи и передаточная функция	109
2.1.2. Получение комплексно-сопряженных полюсов.....	112
2.1.3. Получение конечных нулей передачи	115
2.1.4. Каскадная реализация на элементах ОКС	115
2.1.5. Параллельные структуры	116
2.2. Моделирование двухполюсника с помощью конвертора полного сопротивления.....	116
2.2.1. Конвертор полного сопротивления.....	116
2.2.2. Электронное моделирование индуктивности	118
2.2.3. Метод проектирования на основе ЧЗОС	119
2.2.4. Метод внедрения	124
2.2.5. Правила разработки для метода на основе ОКС.....	126
2.3. Разработка фильтров с использованием многопетлевой обратной связи ...	126
2.3.1. Реализация методом переменных состояния.....	127
2.3.2. Структура второго порядка, полученная методом переменных состояния	131
2.3.3. Реализация методом FLF-структур	134
2.4. Выводы.....	137
 ГЛАВА 3. АКТИВНЫЕ БАЗОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ	140
3.1. Операционный усилитель.....	141
3.1.1. Свойства и характеристики.....	141
3.1.2. Неинвертирующий усилитель	151
3.1.3. Инвертирующий усилитель	152
3.1.4. Суммирующий усилитель	154
3.1.5. Инвертирующий интегратор.....	155
3.1.6. Неинвертирующий интегратор.....	157
3.1.7. Фильтр нижних частот первого порядка (демпфированный интегратор).....	160
3.1.8. Отрицательный конвертор полного сопротивления (НИС).....	161
3.2. Обобщенный конвертор полного сопротивления (ОКС)	164
3.2.1. Принцип действия и свойства	164
3.2.2. ОКС как двухполюсник для моделирования индуктивности	166
3.2.3. ОКС как двухполюсник для реализации ЧЗОС	166
3.2.4. ОКС в качестве согласующего двухполюсника (метод внедрения) ...	168
3.2.5. ОКС в качестве реализуемого каскадным методом фильтрующего четырехполюсника.....	169

3.3. Усилитель напряжения, управляемый током (УНУТ).....	170
3.3.1. Свойства и характеристики.....	170
3.3.2. Основные схемы.....	175
3.4. Усилитель тока, управляемый напряжением (УТУН).....	176
3.4.1. Свойства и характеристики.....	176
3.4.2. Схемы на УТУН.....	179
3.5. Преобразователь тока (Current Conveyor).....	182
3.5.1. Принцип действия и свойства.....	182
3.5.2. Основные схемы.....	184
ГЛАВА 4. КАСКАДНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ.....	186
4.1. Обзор.....	186
4.2. Фильтрующие звенья с одинарной обратной связью.....	187
4.2.1. Общая структура.....	187
4.2.2. Фильтр нижних частот.....	191
4.2.3. Фильтр верхних частот.....	202
4.2.4. Полосно-пропускающий фильтр.....	208
4.3. Фильтрующие звенья с двойной обратной связью.....	217
4.3.1. Общая структура.....	217
4.3.2. Фильтр нижних частот.....	220
4.3.3. Фильтр верхних частот.....	224
4.3.4. Полосно-пропускающий фильтр.....	225
4.4. Фильтрующие звенья с конвертором полного сопротивления.....	232
4.4.1. Фильтр нижних частот.....	233
4.4.2. Фильтр верхних частот.....	234
4.4.3. Полосно-пропускающий фильтр.....	234
4.4.4. Влияние реальных свойств усилителя.....	236
4.5. Фильтрующие звенья с конечными нулями.....	237
4.5.1. Всечастотный фильтр.....	237
4.5.2. Фильтрующие звенья с заграждающей характеристикой.....	244
4.5.3. Эллиптические фильтры нижних частот.....	249
4.6. Биквадратные и универсальные фильтры.....	255
4.6.1. Основные структуры для метода переменных состояния.....	255
4.6.2. Схемы с инвертирующими интеграторами.....	256
4.6.3. Схемы с демпфированным интегратором.....	259
4.6.4. Структура с опережающей обратной связью.....	265
4.6.5. Параллельная структура.....	267
4.7. Фильтрующие звенья на УТУН и преобразователях тока.....	269
4.7.1. Схемы на УТУН.....	270

4.7.2. Схемы на УТУН и конденсаторах.....	272
4.7.3. Схемы на преобразователях тока.....	277
4.8. Выводы и рекомендации.....	281
4.8.1. Критерии принятия решения при выборе схемы.....	281
4.8.2. Сравнительный обзор.....	286
ГЛАВА 5. ПРЯМОЙ СИНТЕЗ ФИЛЬТРОВ.....	291
5.1. Моделирование компонентов с помощью активных элементов.....	291
5.1.1. Фильтр нижних частот.....	291
5.1.2. Фильтр верхних частот.....	295
5.1.3. Полосно-пропускающий фильтр.....	296
5.2. Схемы фильтров с многопетлевой обратной связью.....	299
5.2.1. Структура типа «чехарда».....	299
5.2.2. Реализация методом FLF-структур.....	303
ГЛАВА 6. МЕТОДЫ СИНТЕЗА АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ НА ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ КОНДЕНСАТОРАХ.....	310
6.1. Введение в дискретную обработку сигнала.....	311
6.1.1. Системная функция и z-преобразование.....	312
6.1.2. Преобразование частотных переменных.....	315
6.2. Основные элементы на переключаемых конденсаторах.....	321
6.2.1. Инвертирующий интегратор на основе прямой аппроксимации Эйлера.....	322
6.2.2. Инвертирующий интегратор на основе обратной аппроксимации Эйлера.....	325
6.2.3. Инвертирующий билинейный интегратор.....	326
6.2.4. Дифференциатор.....	327
6.2.5. Фильтр нижних частот первого порядка.....	328
6.3. Проектирование и использование фильтров на переключаемых конденсаторах.....	329
6.3.1. Методы разработки.....	329
6.3.2. Усилительная техника.....	334
6.3.3. Использование интегральных схем фильтров на переключаемых конденсаторах.....	335
6.4. Моделирование фильтров на переключаемых конденсаторах в частотной области.....	339
6.4.1. Непрерывная во времени модель комбинации переключателя и конденсатора.....	339
6.4.2. Пример моделирования фильтра нижних частот первого порядка на переключаемых конденсаторах.....	346

ГЛАВА 7. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФИЛЬТРОВ ...	351
7.1. Общая информация	351
7.2. Компьютерные программы для проектирования фильтров.....	351
7.2.1. Системный обзор	351
7.2.2. Пример проектирования фильтров с использованием компьютерных программ.....	360
7.2.3. Выводы, ограничения и оценки	363
7.3. Оптимизация фильтров с использованием компьютерных программ	365
7.3.1. Постановка задачи.....	365
7.3.2. Оптимизация фильтров посредством согласования полюсов	367
7.3.3. Примеры оптимизации фильтров посредством согласования полюсов	368
7.3.4. Выводы.....	373
ГЛАВА 8. ЛИНЕЙНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ.....	376
8.1. Теоретические основы	376
8.1.1. Принцип работы генератора.....	376
8.1.2. Условие колебаний.....	377
8.2. Структуры генераторов	385
8.2.1. Четырехполюсные генераторы	385
8.2.2. Двухполюсные генераторы	386
8.2.3. Критерии выбора.....	386
8.3. Схемы четырехполюсного генератора.....	387
8.3.1. Полосно-пропускающий RC-генератор	387
8.3.2. RC-генератор нижних частот.....	389
8.3.3. Всечастотный генератор.....	391
8.3.4. Квадратурный генератор.....	392
8.4. Схемы двухполюсного генератора.....	396
8.4.1. Затухание резонансного контура с отрицательным конвертором сопротивления	396
8.4.2. Резонатор на обобщенном конверторе сопротивления.....	400
8.5. Выводы.....	404
Литература	407