

**Волович Г.И.** Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. — М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2004. — 64 с.  
ISBN 5-94120-074-9

Предлагаемая читателю книга освещает принципы построения, свойства и особенности применения аналоговых и аналого-цифровых интегральных микросхем (ИМС): операционных усилителей, компараторов, таймеров, фильтров, линейных и импульсных стабилизаторов напряжения, коммутаторов, АЦП и ЦАП, драйверов, датчиков. В книге нашли отражение последние достижения в данных областях, при этом основное внимание уделено функциональным возможностям и особенностям применения ИМС в конкретной аппаратуре. Приведены наиболее важные параметры большого числа промышленных типов ИМС различного назначения.

Для специалистов в области электроники, автоматики, вычислительной техники, а также студентов высших и средних учебных заведений соответствующего профиля.

## Оглавление

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b>	9
<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	11
<b>Глава 1. ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ</b>	13
1.1. Общие сведения	13
1.2. Идеальный операционный усилитель	15
1.3. Основные схемы включения операционного усилителя	16
1.3.1. Дифференциальное включение	16
1.3.2. Инвертирующее включение	17
1.3.3. Неинвертирующее включение	18
1.4. Внутренняя схемотехника операционных усилителей	19
1.4.1. Требования к ОУ	19
1.4.2. Блок-схема операционного усилителя	20
1.4.3. Стандартная схема операционного усилителя	23
1.5. Схема замещения операционного усилителя	24
1.5.1. Входное сопротивление схемы	25
1.5.2. Выходное сопротивление схемы	25
1.6. Коррекция частотной характеристики	26
1.6.1. Частотные характеристики ОУ	27
1.6.2. Полная частотная коррекция	29
1.6.3. Внешняя частотная коррекция	32
1.6.4. Скорость нарастания	33
1.6.5. Компенсация емкостной нагрузки	34
1.7. Параметры операционных усилителей	35
1.7.1. Точностные параметры	35
1.7.2. Динамические параметры ОУ	46
1.7.3. Параметры, характеризующие усиление сигналов переменного тока	47
1.7.4. Эксплуатационные параметры ОУ	48
1.8. Типы операционных усилителей	49
1.9. Улучшение параметров операционных усилителей	53
1.9.1. Снижение напряжения смещения нуля	53
1.9.2. Повышение устойчивости ОУ	55
1.9.3. Снижение токов утечки	56
1.9.4. Защита операционных усилителей	57
1.9.5. Повышение выходного тока ОУ	59
1.9.6. Повышение выходного напряжения ОУ	60
1.9.7. Повышение быстродействия ОУ	62
1.9.7. Снижение шума ОУ	64
1.9.8. Экспериментальное определение параметров ОУ	65
<b>Глава 2. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА НА ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЯХ</b>	69
2.1. Линейные аналоговые вычислительные схемы на ОУ	69
2.1.1. Схема масштабирования	69
2.1.2. Схема суммирования	70
2.1.3. Схема интегрирования	71
2.1.4. Схема дифференцирования	73
2.2. Схемы линейного преобразования сигналов	75
2.2.1. Источники напряжения, управляемые током	75
2.2.2. Источники тока, управляемые напряжением	76
2.2.3. Инверторы сопротивления	82
2.2.4. Гираторы	83
2.3. Активные электрические фильтры на ОУ	87
2.3.1. Основные понятия	87
2.3.2. Фильтры нижних частот	88
2.3.3. Фильтры верхних частот	91
2.3.4. Полосовые фильтры	92
2.3.5. Полосно-подавляющие фильтры	93
2.3.6. Реализация фильтров на операционных усилителях	94
2.3.7. Реализация активных фильтров на основе метода переменных состояний	100
2.3.8. Фазовые фильтры	103
2.4. Измерительные усилители	106
2.4.1. Измерительный усилитель на одном ОУ	107

2.4.2. Измерительный усилитель на двух ОУ	110
2.4.3. Измерительный усилитель на трех ОУ	110
2.4.4. Применение измерительных усилителей	113
2.5. Схемы нелинейного преобразования сигналов на ОУ	115
2.5.1. Логарифмирующие и экспоненциальные преобразователи	115
2.5.2. Прецизионные выпрямители на ОУ	118
2.6. Генераторы сигналов на ОУ	123
2.6.1. Релаксационные генераторы	123
2.6.2. Генераторы синусоидальных колебаний	127
2.7. Аналоговые перемножители	130
2.7.1. Перемножитель с управляемым сопротивлением канала полевого транзистора	130
2.7.2. Перемножители на основе управляемых источников тока	130
2.8. Измерительные схемы на ОУ	133
2.8.1. Измерение заряда	133
2.8.2. Измерители амплитуды (пиковые детекторы)	135
2.8.3. Фотоэлектрические измерения	137
2.8.4. Мостовые измерительные схемы	139
2.8.5. Измерение температуры	142
2.8.6. Измерение действующего значения	144
<b>Глава 3. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ УСИЛИТЕЛИ НА БАЗЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ОУ</b>	152
3.1. Широкополосные усилители	152
3.1.1. Работа транзисторного усилительного каскада на высоких частотах	153
3.1.2. Применение операционных усилителей для усиления радиочастотных сигналов	155
3.1.3. Широкополосные ОУ с обратной связью по току	156
3.1.4. Усилители дифференциальных линий	162
3.2. Изолирующие усилители	166
3.3. Усилители класса D	170
3.3.1. Общие сведения	170
3.3.2. Виды широтно-импульсной модуляции	170
3.3.3. Схемотехника выходных каскадов усилителей класса D	172
3.3.4. Промышленные типы усилителей класса D	174
3.3.5. Помехи, порождаемые усилителями класса D и борьба с ними	175
<b>Глава 4. АНАЛОГОВЫЕ КОМПАРАТОРЫ И ТАЙМЕРЫ</b>	179
4.1. Общие сведения о компараторах	179
4.2. Аналоговый интегральный компаратор	181
4.2.1. Принципы построения интегральных компараторов	181
4.2.2. Компараторы с однополярным питанием	183
4.2.3. Скоростные компараторы	184
4.3. Применение компараторов	186
4.3.1. Двухпороговый компаратор	186
4.3.2. Детектор пересечения нуля	187
4.3.3. Сравнение напряжений противоположной полярности	187
4.3.4. Мультивибраторы	188
4.3.5. Применение компаратора в качестве ОУ	190
4.3.6. Генератор, управляемый напряжением	191
4.3.7. Логические элементы	193
4.3.8. Одновибраторы	195
4.3.9. Генератор временных задержек	198
4.3.10. Широтно-импульсный модулятор	199
4.3.11. Двухполупериодный выпрямитель	200
4.4. Параметры компараторов	201
4.5. Аналоговые таймеры	202
4.5.1. Таймер NE555	202
4.5.2. Основные схемы включения таймера	204
4.5.3. Типы интегральных таймеров	206
<b>Глава 5. ЛИНЕЙНЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПЯЖЕНИЯ</b>	209
5.1. Общие сведения	209
5.2. Схемотехника линейных стабилизаторов напряжения	209
5.2.1. Базовая схема линейного стабилизатора напряжения	210
5.2.2. Интегральный линейный стабилизатор напряжения	211
5.2.3. Стабилизация отрицательных напряжений	213
5.2.4. Уменьшение потерь в стабилизаторах	214
5.3. Устойчивость линейных стабилизаторов напряжения	216
5.3.1. Устойчивость $p-p$ -стабилизаторов	216
5.3.2. Устойчивость МПН-стабилизаторов	217
5.4. Основные параметры линейных стабилизаторов напряжения	220
5.4.1. Точностные параметры	220
5.4.2. Динамические параметры	221
5.4.3. Эксплуатационные параметры	223
5.5. Схемы включения линейных стабилизаторов напряжения	224
5.5.1. Типовое включение	224
5.5.2. Увеличение выходного напряжения	224
5.5.3. Повышение максимального выходного тока	225

5.5.4. Стабилизация тока	226
5.5.5. Источник двухполярного напряжения	226
5.5.6. Стабилизатор переменного напряжения	227
5.5.7. Эмиттерный повторитель с максимальной передачей тока в нагрузку	228
5.5.8. Получение искусственной общей точки	228
5.6. Источники опорного напряжения	229
5.6.1. ИОН на стабилитронах	229
5.6.2. ИОН на напряжении запрещенной зоны	231
5.6.3. ИОН на полевых транзисторах	236
5.6.4. Устойчивость ИОН	237
5.6.5. Параметры источников опорного напряжения	239
5.6.6. Применение ИОН	245
<b>Глава 6. ИМПУЛЬСНЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПЯЖЕНИЯ</b>	252
6.1. Общие сведения	252
6.2. Понижающий импульсный стабилизатор	254
6.2.1. Схема понижающего импульсного стабилизатора напряжения	254
6.2.2. Электромагнитные процессы в понижающем ИСН	255
6.2.3. Понижающие ИСН с синхронными выпрямителями	259
6.2.4. Многофазные ИСН	260
6.3. Повышающий импульсный стабилизатор	263
6.4. Инвертирующий импульсный стабилизатор	265
6.5. Составные схемы ИСН	267
6.5.1. Схема Кука	267
6.5.2. Несимметричный преобразователь первичной индуктивности	269
6.6. Инверторные схемы	272
6.6.1. Общие сведения	272
6.6.2. Нерегулируемые инверторы	273
6.6.3. Регулируемые инверторы	276
6.6.4. Однотактные инверторы	280
6.6.5. Резонансные инверторы	287
6.7. Сетевые источники питания	295
6.7.1. Общие сведения	295
6.7.2. Импульсные сетевые источники на базе обратного преобразователя	296
6.7.3. Организация обратной связи по выходному напряжению в сетевых источниках	300
6.8. Импульсные источники на коммутируемых конденсаторах	305
6.9. Корректоры коэффициента мощности	310
6.9.1. Общие положения	310
6.9.2. Алгоритмы формирования кривой входного тока	311
6.9.3. Контроллеры ККМ для сетей с широким диапазоном напряжений	315
6.10. Драйверы	317
6.10.1. Общие сведения	317
6.10.2. Схемы драйверов биполярных транзисторов	318
6.10.3. Драйверы МОП- и IGBT-транзисторов	319
6.10.4. Микросхемы драйверов МОП- и IGBT-транзисторов	321
6.11. Устойчивость импульсных стабилизаторов напряжения	325
6.11.1. Общие сведения	325
6.11.2. Устойчивость импульсных стабилизаторов с обратной связью по напряжению	325
6.11.3. Устойчивость импульсных стабилизаторов с дополнительной обратной связью по току дросселя	328
6.11.4. Особенности анализа устойчивости ИСН с силовыми трансформаторами	336
<b>Глава 7. АНАЛОГОВЫЕ КОММУТАТОРЫ</b>	341
7.1. Общие сведения	341
7.2. Электронные коммутаторы	342
7.3. Коммутаторы на полевых транзисторах	342
7.4. Промышленные аналоговые коммутаторы	345
7.4.1. Простейшие коммутаторы	345
7.4.2. Аналоговые мультиплексоры	347
7.4.3. Матричные коммутаторы	350
7.4.4. Оптореле	352
7.5. Характеристики аналоговых коммутаторов	354
7.5.1. Статические характеристики	354
7.5.2. Динамические характеристики	356
7.5.3. Эксплуатационные параметры	360
7.6. Применение аналоговых коммутаторов	361
7.6.1. Влияние нелинейности аналоговых коммутаторов на искажения передаваемых сигналов	361
7.6.2. Защита коммутаторов от перенапряжений	363
7.7. Устройства выборки-хранения	364
7.7.1. Схемы устройств выборки-хранения	364
7.7.2. Основные характеристики УВХ	367
7.7.3. Применение УВХ	372
7.8. Устройства на переключаемых конденсаторах	374
<b>Глава 8. ЦИФРОАНАЛОГОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ</b>	379

8.1. Общие сведения	379
8.2. Параллельные ЦАП	380
8.2.1. ЦАП с суммированием весовых токов	380
8.2.2. Параллельный ЦАП на переключаемых конденсаторах (ЦАП с суммированием зарядов)	392
8.2.3. ЦАП с суммированием напряжений	393
8.3. Последовательные ЦАП	395
8.3.1. ЦАП с широтно-импульсной модуляцией	395
8.3.2. Последовательный ЦАП на переключаемых конденсаторах	396
8.3.3. Сигма-дельта-ЦАП	397
8.4. Интерфейсы цифроаналоговых преобразователей	402
8.4.1. ЦАП с последовательным интерфейсом	403
8.4.2. ЦАП с параллельным интерфейсом	404
8.5. Применение ЦАП	406
8.5.1. Обработка чисел со знаком	406
8.5.2. Перемножители и делители аналоговых сигналов	408
8.5.3. Атенуаторы и интеграторы на ЦАП	410
8.5.4. Системы прямого синтеза сигналов	411
8.6. Параметры ЦАП	415
8.6.1. Статические параметры	416
8.6.2. Точность воспроизведения сигналов переменного тока	417
8.6.3. Динамические параметры	418
8.6.4. Шумы ЦАП	419
<b>Глава 9. АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ</b>	423
9.1. Общие сведения	423
9.1.1. Процедура аналого-цифрового преобразования	423
9.1.2. Апертурная погрешность	424
9.1.3. Шум квантования	426
9.1.4. Классификация АЦП	427
9.2. Параллельные АЦП	428
9.3. Последовательно-параллельные АЦП	430
9.3.1. Многоступенчатые АЦП	430
9.3.2. Конвейерные АЦП	431
9.3.3. Многотактные последовательно-параллельные АЦП	433
9.4. Последовательные АЦП	434
9.4.1. АЦП последовательного счета	434
9.4.2. АЦП последовательного приближения	436
9.5. Интегрирующие АЦП	438
9.5.1. АЦП многотактного интегрирования	438
9.5.2. Сигма-дельта АЦП	442
9.5.3. Преобразователи напряжение—частота	450
9.6. Интерфейсы АЦП	452
9.6.1. Общие сведения	452
9.6.2. АЦП с параллельным интерфейсом выходных данных	453
9.6.3. АЦП с последовательным интерфейсом выходных данных	454
9.6.4. Последовательный интерфейс сигма-дельта АЦП с процессорами	455
9.7. Параметры АЦП	456
9.7.1. Статические параметры	457
9.7.2. Динамические параметры	459
9.7.3. Шумы АЦП	459
9.7.4. Параметры, характеризующие качество преобразования сигналов переменного тока	460
9.8. Применение АЦП	463
9.8.1. Системы сбора данных	463
9.8.2. Кодеки	466
9.8.3. Измерение энергии	467
9.8.4. Управление двигателями переменного тока	469
<b>Глава 10. ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ</b>	476
10.1. Датчики температуры	476
10.1.1. Интегральные датчики температуры на биполярных транзисторах	476
10.1.2. Датчики температуры с цифровым выходом	483
10.1.3. Температурные компараторы	487
10.1.4. Точность датчиков температуры	488
10.2. Датчики ускорения (акселерометры)	490
10.2.1. Общие сведения	490
10.2.2. Пленочные пьезоэлектрические акселерометры	491
10.2.3. Объемные интегральные акселерометры	491
10.2.4. Поверхностные интегральные акселерометры	492
10.2.5. Точность интегральных акселерометров	499
10.3. Датчики давления	502
10.3.1. Устройство датчиков давления	502
10.3.2. Точность датчиков давления	506
10.4. Датчики влажности (гигрометры)	508
10.5. Датчики магнитного поля	510

10.5.1. Принцип действия датчика Холла	510
10.5.2. Интегральные датчики Холла	512
10.5.3. Применение датчиков Холла	514
10.5.4. Основные характеристики датчиков Холла	517