

Кейт Бриндли

Джо Карр

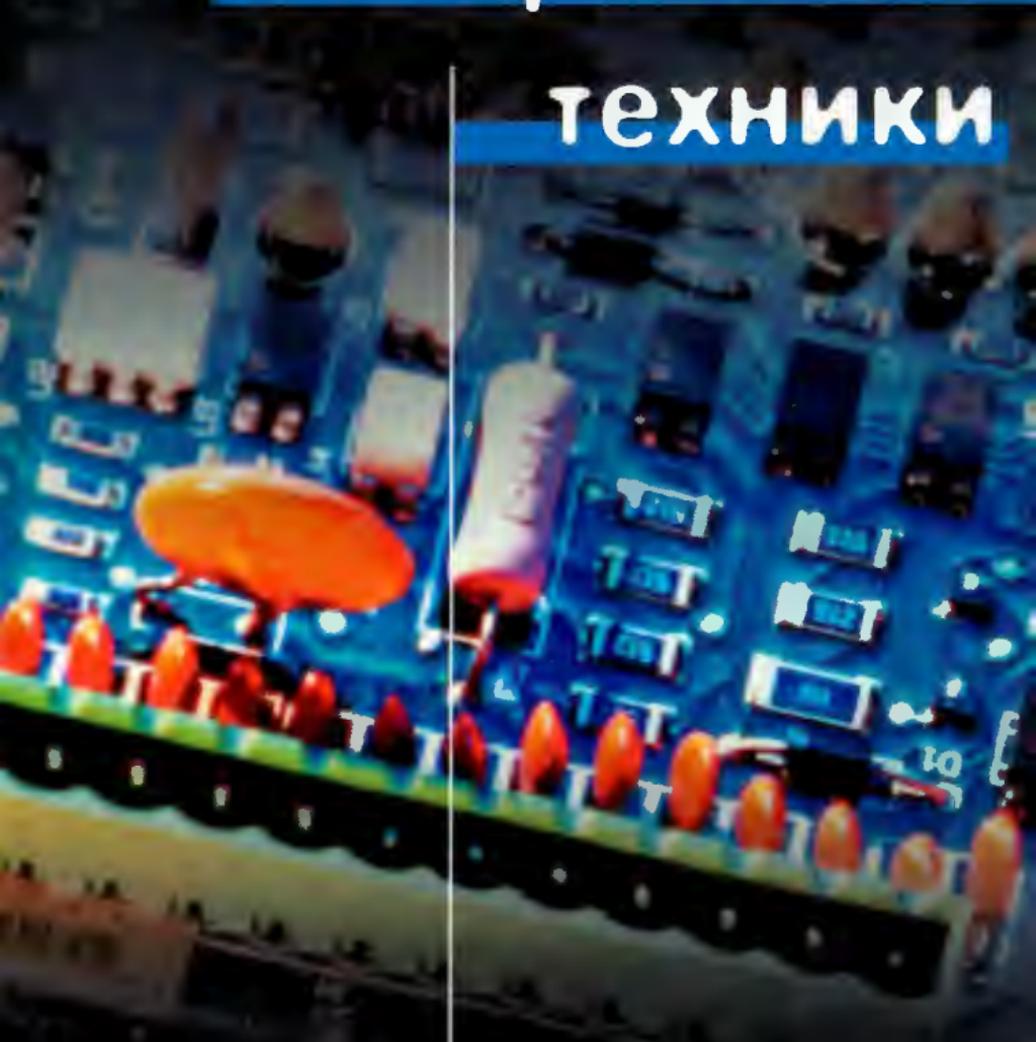
Карманный  
справочник

 Newnes

**Инженера**

**электронной**

**техники**



 ОДЭКА

 АМК  
ИЗДАТЕЛЬСТВО

4-е издание

---

Keith Brindley  
Joe Carr

Newnes

# Electronics Engineer's

Pocket Book

Second Edition

 Newnes

---

Карманный справочник  
**ИНЖЕНЕРА ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ**



МОСКВА

2014

---

**Кейт Бриндли  
Джозеф Карр**

Карманный справочник

**Инженера  
электронной  
техники**

**4-е издание**



УДК 621.38(035)

ББК 32.85я2

Б15

**Б15 Бриндли К., Карр Дж.**

Карманный справочник инженера электронной техники / Пер. с англ. 4-е изд., перераб. — М.: ДМК Пресс, 2014. — 480 с.: ил.

ISBN 978-5-97060-110-5

В справочнике собраны сведения об основах современной электронной техники. Достаточно полно представлена элементная база полупроводниковой электроники, рассмотрены основы построения практически всех возможных узлов, образующих электронные схемы, приведены данные о функциональных назначениях и цоколевке интегральных схем популярных серий. Не обойдены вниманием основы оптоэлектроники — свето- и фотоэлектрические приборы, лазеры и оптические волноводы. Немалую часть книги занимает разнообразный справочный материал — физические величины, их единицы и коэффициенты преобразования этих единиц из одной системы в другую, аббревиатуры терминов, используемых в электронике, данные о радиотехнических кабелях и разъемах, выпускаемых промышленностью, и много других полезных сведений. Книгу завершают толковый и англо-русский словари, содержащие около 1400 терминов, используемых в электронике.

Справочник будет полезен разработчикам электронной аппаратуры, студентам соответствующих специальностей, а также всем, интересующимся основами современной электроники.

УДК 621.38(035)

ББК 32.85я2

Данное издание книги «Newnes Electronics Engineer's Pocket Book» Кейта Бриндли и Джозефа Карра осуществлено Издательским домом «Додэка-XXI» по договору с издательством «Эльзевир», Великобритания, OX5 1GB, г. Оксфорд, Кидлингтон, Лэнгфорд Лейн, Боливар.

This edition of Newnes Electronics Engineer's Pocket Book by Keith Brindley; Joseph Carr is published by arrangement with Elsevier Ltd, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, OX5 1GB, England, OR.

Newnes Electronic Engineer's Pocket Book 2ed by Brindley/Carr

ISBN 978-0750639729 (англ.) ©Reed Educational & Professional Publishing Ltd

ISBN 978-5-97060-110-5 (рус.) © Издание, ДМК Пресс  
®Серия «Карманный справочник»

# О г л а в л е н и е

От авторов .....12

## Часть первая. КОМПОНЕНТЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

1.1.	Основные понятия о строении вещества	14
1.2.	Структура атома	14
1.3.	Электроны и электрический ток	15
1.4.	Движение электрона в электрическом поле	16
1.5.	Движение электрона в магнитном поле	17
1.6.	Структура вещества	18
1.7.	Примесные полупроводники	19
1.8.	<i>p-n</i> -переход	21
1.9.	Резисторы	22
1.10.	Переменные резисторы	24
1.11.	Цветовое кодирование резисторов и конденсаторов	24
1.12.	Цветовое и буквенное кодирование резисторов и конденсаторов (стандарт BS 1852)	26
1.13.	Конденсаторы	27
1.14.	Катушки индуктивности	29
1.15.	Трансформаторы	30
1.16.	Полупроводниковые приборы	33
1.17.	Полупроводниковые диоды	33
1.18.	Стабилитрон	34
1.19.	Варикап	35
1.20.	Туннельный диод	36
1.21.	Биполярный транзистор	36
1.21.1.	Усилитель с общей базой	37
1.21.2.	Усилитель с общим эмиттером	38
1.22.	Полевые транзисторы	39
1.23.	Транзистор с одним <i>p-n</i> -переходом	43
1.24.	Кремниевый управляемый вентиль и семейство тиристоров	43
1.25.	Обозначения параметров биполярных транзисторов	45
1.26.	Обозначения параметров однопереходных транзисторов	48
1.27.	Обозначения параметров полевых транзисторов	48
1.28.	Обобщенные сведения о транзисторах и диодах	50
1.28.1.	Биполярные транзисторы	51
1.28.2.	Полевые транзисторы	59
1.28.3.	Мощные МОП-транзисторы (ДМОП и УМОП)	61
1.28.4.	Однопереходные транзисторы	61
1.28.5.	Двунаправленные тиристоры (симисторы)	61
1.28.6.	Корпуса и цоколевка транзисторов и тиристоров	62
1.28.7.	Выпрямительные мосты	64
1.28.8.	Стабилитроны	65
1.28.9.	Стабилизаторы напряжения	65
	Параметры стабилизаторов напряжения	65
	Корпуса и цоколевка стабилизаторов напряжения	66
1.28.10.	Диоды	67
	Выпрямительные диоды	67

Диоды общего назначения	68
1.29. Логические элементы — терминология	69
1.30. Символьные обозначения и таблицы истинности основных логических элементов	70
1.31. Терминология и символьные обозначения логических микросхем средней степени интеграции	72
1.32. Интегральные схемы (серия 74)	75
1.32.1. Классификация по номерам приборов	75
1.32.2. Классификация по функциональному назначению	81
1.33. Цоколевка микросхем серии 74	88
1.34. КМОП интегральные схемы (серия 4000)	105
1.34.1. Классификация по номерам приборов	105
1.34.2. Классификация по функциональному назначению	109
1.35. Цоколевка микросхем серии 4000	112
1.36. Символы параметров логических схем	122
1.37. Параметры операционных усилителей	124
1.37.1. Операционные усилители на биполярных транзисторах	124
1.37.2. Операционные усилители на полевых транзисторах и на комбинациях биполярных и полевых транзисторах	127
1.38. Тороидальные ферритовые и порошковые сердечники	129
1.38.1. Материалы для сердечников	129
Порошковое железо	129
Ферритовые материалы	130
1.38.2. Формулы и таблицы для расчетов	130
1.39. Система обозначений полупроводниковых приборов и материалов «Pro Electron»	137

## Часть вторая. СХЕМЫ И СИСТЕМЫ

2.1. Мостовая схема Уитстона	140
2.2. Высокочастотные мосты	140
2.2.1. Мост Максвелла	141
2.2.2. Мост Хэя	142
2.2.3. Мост Шеринга	143
2.3. Усилители электрических сигналов	143
2.4. Основные принципы построения усилителей	144
2.4.1. Период и частота	144
2.4.2. Коэффициент гармоник	144
2.4.3. Ряд Фурье	145
2.4.4. Коэффициент усиления	147
2.4.5. Ширина полосы пропускания	148
2.5. Основные схемы транзисторных усилителей	149
2.6. Усилитель с общим эмиттером	149
2.7. Усилитель с общим коллектором (эмиттерный повторитель)	153
2.8. Усилитель с общей базой	154
2.9. Многокаскадные усилители	156
2.10. Отрицательная обратная связь	158

2.11. Усилители звуковой частоты .....	159
2.12. Усилители мощности .....	161
2.12.1. Усилители класса А .....	161
2.12.2. Усилители класса В .....	162
2.12.3. Усилители класса АВ .....	163
2.12.4. Усилители класса С .....	163
2.12.5. Усилители классов D и E .....	164
2.13. Классификация усилителей по параметрам .....	164
2.13.1. Малосигнальный усилитель .....	165
2.13.2. Высокочастотный усилитель мощности .....	165
2.13.3. Основные параметры ВЧ-усилителей .....	166
2.14. Видеоусилители .....	170
2.15. Частотно-избирательные усилители .....	171
2.16. Измерение интермодуляционных искажений .....	175
2.17. Усилители на интегральных схемах .....	177
2.18. Усилители постоянного тока .....	178
2.18.1. Основные принципы .....	178
2.18.2. Дифференциальный усилитель .....	179
2.18.3. Усилитель постоянного тока с прерывателем .....	181
2.19. Интегральные операционные усилители и схемы на их основе .....	182
2.19.1. Инвертирующий усилитель (инвертор) .....	184
2.19.2. Сумматор .....	185
2.19.3. Повторитель напряжения .....	186
2.19.4. Неинвертирующий усилитель .....	186
2.19.5. Дифференциальный усилитель .....	188
2.19.6. Интегратор .....	189
2.19.7. Дифференциатор .....	190
2.19.8. Фильтры .....	192
2.19.9. Триггер Шмитта .....	194
2.19.10. Повторитель напряжения/инвертор .....	195
2.19.11. Преобразование ток/напряжение .....	196
2.19.12. Схема с линейно изменяющимся выходным сигналом .....	197
2.19.13. Схема выделения максимальных значений .....	198
2.20. Монолитные СВЧ интегральные микросхемы .....	199
2.21. Шумовые параметры усилителей .....	200
2.21.1. Отношение сигнал/шум .....	200
2.21.2. Шум-фактор, коэффициент шума и шумовая температура .....	200
2.21.3. Шум в каскадных усилителях .....	201
2.22. Генераторы .....	202
2.23. Индуктивно-емкостные контуры .....	202
2.24. Генератор Колпитца .....	204
2.25. Генератор Хартли .....	205
2.26. Генераторы с фазовым сдвигом .....	206
2.27. Генератор с трехкаскадным RC-фильтром .....	206
2.28. Генератор на основе моста Вина .....	207
2.29. Кварцевые генераторы .....	209
2.30. Кварцевый генератор, работающий на обертонах .....	210
2.31. Генераторы прямоугольных импульсов .....	211

2.32. Мультивибратор	212
2.33. Ждуший мультивибратор (одновибратор)	214
2.33.1. Устойчивое состояние	217
2.33.2. Переходное состояние	218
2.33.3. Квазустойчивое состояние	218
2.33.4. Период релаксации	219
2.34. Генератор прямоугольных импульсов на операционном усилителе	220
2.35. Блокинг-генератор	221
2.36. Генераторы прямоугольных импульсов на цифровых интегральных схемах	221
2.37. Цифровые схемы	223
2.38. Основные логические элементы	223
2.38.1. Логический элемент И	223
2.38.2. Логический элемент ИЛИ	224
2.38.3. Логический элемент НЕ (инвертор)	225
2.38.4. Логические элементы И-НЕ и ИЛИ-НЕ	225
2.38.5. Логический элемент Иключающее ИЛИ	226
2.39. Положительная и отрицательная логика	226
2.40. Комбинационная логика	227
2.41. Булева алгебра	229
2.42. Карты Карно	232
2.43. Триггеры	234
2.43.1. RS-триггер	234
2.43.2. D-триггер	235
2.43.3. JK-триггер	236
2.44. Таймеры и схемы с одним устойчивым состоянием	236
2.45. Логика, управляемая предшествующими событиями	238
2.46. Арифметические и вычислительные схемы	241
2.47. Шифраторы и дешифраторы	244
2.48. Счетчики	244
2.49. Синхронные счетчики	246
2.50. Счетчики для недвончных сигналов	246
2.51. Арифметические устройства	247
2.52. Сдвиговый регистр	249
2.53. Практические рекомендации	250
2.54. Транзисторно-транзисторная логика (ТТЛ)	252
2.55. Логические схемы на КМОП-транзисторах	254
2.56. Эмиттерно-связанная логика (ЭСЛ)	256
2.57. Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП)	257
2.58. Аналого-цифровые преобразователи (АЦП)	258
2.59. Оптоэлектроника	259
2.60. Датчики (сенсоры)	260
2.60.1. Фоторезистивный элемент (фоторезистор)	260
2.60.2. Фотогальванический элемент	260
2.60.3. Фотодиод	261
2.60.4. Фототранзистор	262
2.60.5. Другие приборы	262
2.60.6. Сравнительные характеристики светочувствительных приборов	263
2.61. Светодиодающие диоды (светодиоды)	263

2.62. Инжекционный лазер	265
2.63. Лампы накаливания	266
2.64. Неоновые лампы	267
2.65. Жидкокристаллические дисплеи	267
2.66. Лазеры	269
2.67. Классификация лазеров	272
2.68. Применение фотоэлементов	273
2.69. Оптическая изоляция	275
2.70. Цифровые индикаторы	276
2.71. Пульты дистанционного управления	278
2.72. Оптоволоконная связь	279
2.73. Представление величин в децибелах	282
2.73.1. Сравнение одноименных параметров	282
2.73.2. Специальные системы представления в децибелах	283
2.74. Фильтры	283
2.74.1. Узкополосный режекторный фильтр (фильтр-пробка)	283
2.74.2. Двойные Т-образные схемы узкополосных режекторных фильтров (фильтров-пробок)	285
2.74.3. Активный двойной Т-образный фильтр-пробка	287
2.74.4. Схемы регулируемых мостовых Т-образных фильтров	289
2.74.5. Пираторы	290
2.74.6. Предостережение	291
2.75. Индуктивно-емкостные высокочастотные фильтры	292
2.75.1. Принципы построения фильтров	293
2.75.2. Фильтры нижних частот	293
2.75.3. Фильтры верхних частот	295

## Часть третья. СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

3.1. Аббревиатуры и символы	298
3.2. Единицы измерения физических величин и их обозначения	305
3.3. Физические величины, используемые в электронике	312
3.4. Фундаментальные постоянные (основные константы)	313
3.5. Соотношения между единицами электрических величин	313
3.6. Размерности физических величин	314
3.7. Основные величины системы СИ	315
3.8. Единицы физических величин	315
3.9. Греческий алфавит	317
3.10. Преобразование кратных и дольных единиц	318
3.11. Коэффициенты преобразования единиц измерения физических величин	319
3.12. Доли дюйма и их метрические эквиваленты	325
3.13. Таблица соответствия кодов (часть первая)	327
3.14. Таблица соответствия кодов (часть вторая)	330
3.15. Управляющие символы ASCII	334
3.16. Полезные формулы	336
3.16.1. Законы Булевой алгебры	336
3.16.2. Емкость	336
3.16.3. Волновое сопротивление	337

3.16.4. Эквивалентное сопротивление	337
3.16.5. Частота — длина волны — скорость	337
3.16.6. Дальность радиогоризонта	338
3.16.7. Импеданс (полное сопротивление)	338
3.16.8. Индуктивность	338
3.16.9. Расширение пределов шкалы измерения	339
Увеличение пределов шкалы измерения амперметра или миллиамперметра	339
Увеличение пределов шкалы измерения вольтметра	339
3.16.10. Отрицательная обратная связь	339
3.16.11. Закон Ома	340
3.16.12. Мощность	340
3.16.13. Отношение мощностей сигналов	340
3.16.14. Добротность	340
3.16.15. Реактивное сопротивление	340
3.16.16. Сопротивление	341
3.16.17. Резонанс	341
3.16.18. Постоянная времени	341
3.16.19. Коэффициент трансформации трансформатора	342
3.16.20. Номинальная мощность	342
3.16.21. Длина волны резонансного контура	342
3.17. Десятичные множители и приставки	343
3.18. Реактивное сопротивление емкости	343
3.19. Реактивное сопротивление индуктивности	344
3.20. Постоянные времени $RC$	345
3.21. Постоянные времени $R/L$	347
3.22. Символьные обозначения компонентов в соответствии со стандартом BS 3939	349
3.22.1. Базовые символы	349
3.22.2. Обозначения переключателей и контактов	350
3.22.3. Обозначения полупроводниковых приборов	355
3.22.4. Обозначения звуковых электронных приборов	356
3.23. Символы, используемые в радиосвязи	357
3.24. Символы логических элементов	359
3.25. Символы, используемые в принципиальных схемах (блок-схемах, структурных схемах)	361
3.26. Символы, используемые для частотных спектров	363
3.27. Символы, используемые для маркировки оборудования (стандарт BS 6217)	364
3.28. Таблица децибел	372
3.29. Таблица пересчета степеней числа 2 в децибелы	373
3.30. Разъемы и соединения	374
3.30.1. Обмен данными при помощи модемов	374
3.30.2. Номера выводов разъема модема	376
3.30.3. Автоматический вызов	377
3.31. EIA 232	378
3.32. EIA 449	379
3.33. Сравнение стандартов EIA 232, EIA 449 и V 24	381
3.34. Интерфейс «Центроникс»	383
3.35. Разъемы для звуковой аппаратуры	384

3.36. Коаксиальные разъемы .....	385
3.37. Разъемы для видеомагнитофонов, телеаппаратуры, теле/видеокамер .....	386
3.38. Разъем SCART (стандарт BS 6552) .....	388
3.39. Номинальные напряжения низковольтных сетей .....	389
3.39.1. Европа .....	389
3.39.2. Азия .....	389
3.39.3. Северная Америка .....	390
3.39.4. Острова Вест-Индии .....	390
3.39.5. Южная Америка .....	391
3.39.6. Африка .....	391
3.39.7. Океания .....	392
3.40. Высокочастотные кабели серии RG (США) .....	393
3.41. Высокочастотные кабели серии UR (Великобритания) .....	395
3.42. Батареи и аккумуляторы .....	396

#### Часть четвертая. СЛОВАРИ

4.1. Толковый словарь терминов .....	400
4.2. Краткий англо-русский словарь терминов .....	455

<b>ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ .....</b>	<b>475</b>
-----------------------------------	------------

---

## О т а в т о р о в

У этой книги существует, если можно так сказать о книге, родословная. Представленное издание всего лишь второе, однако оно является компиляцией (сборное издание) двух справочников («Карманного справочника для радиоинженеров и инженеров электронной техники» и «Карманного справочника по электронике» издательства Newnes), которые выдержали более двадцати изданий. Самое первое издание «Карманного справочника для радиоинженеров и инженеров электронной техники» вышло в свет в 1940 году, и с тех пор перерабатывалось и видоизменялось вплоть до 18-го издания, опубликованного в 1989 году, прежде чем было принято в качестве основы для данной книги. У «Карманного справочника по электронике» похожая история, опубликованный впервые в 1963 году, до 1986 года он выдержал 5 изданий. Редакторы книги, которую вы держите сейчас в руках, выражают огромную благодарность всем редакторам и корректорам, которые работали над этими двумя книгами все эти годы.

Справочники по электронике, в основной массе, весьма своеобразны по своей сути; зачастую многие аспекты в них рассматриваются столь узко и подробно, что эти книги интересны лишь небольшому кругу специалистов. При работе над справочником у нас не было стремления заострить внимание на конкретных деталях, тем более что цена книги сравнительно невелика. Создавая ее, мы хотели удовлетворить запросы большинства людей, интересующихся электроникой и связанными с ней областями. При выборе того, что включить в книгу, а от чего отказаться, мы задавали себе вопрос: «Что мы обычно ищем в справочниках?» и старались включить в книгу всю важную информацию, относящуюся к электронике, — таблицы, коэффициенты преобразования, символы и т.п. Все то, что может быть вычислено с помощью компьютера или калькулятора, в книгу не вошло.

Мы надеемся, что сумели разместить требуемую информацию таким образом, чтобы доступ к ней был наиболее легким и при этом цена осталась доступной большинству желающих приобрести эту книгу.

*Кейт Бриндли, Джо Карр*

---

Часть первая

# **Компоненты электронной техники**

## 1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О СТРОЕНИИ ВЕЩЕСТВА

Весь окружающий нас мир состоит из молекул — наименьших частиц вещества, способных существовать независимо и обладающих всеми свойствами этого вещества. Исследования, проведенные Далтоном (английский физик, создатель химического атомизма) и другими учеными в начале девятнадцатого века, показали, что молекулы состоят из групп атомов различных типов. Эти атомы относятся к основным элементам, из которых строится вещество. В природе существует более 100 элементов, от водорода (самого легкого из них) до урана (одного из самых тяжелых).

Например молекула поваренной соли состоит из одного атома натрия и одного атома хлора. Молекула сернокислой меди состоит из одного атома меди, одного атома серы и четырех атомов кислорода.

Атомы слишком малы, чтобы их можно было наблюдать непосредственно под микроскопом, но их существование доказано с помощью экспериментов.

## 1.2. СТРУКТУРА АТОМА

Эффекты, возникающие при газовом разряде, навели на мысль, что атом не является неделимым, а состоит из еще меньших частиц. Эти частицы были названы элементарными, а атом представлен в виде небольшой солнечной системы с тяжелым ядром в центре, состоящим из положительно заряженных и нейтральных частиц. Они получили названия протонов и нейтронов. Вокруг этого ядра вращается скопление отрицательно заряженных частиц, именуемых электронами.

Поскольку атом электрически нейтрален, отрицательный заряд, соответствующий заряду электронов, должен быть равен по величине (но противоположен по знаку) положительному заряду, соответствующему заряду протонов. Эксперименты, проводимые с электростатическими зарядами, показали, что разноименные заряды притягиваются, исходя из чего можно утверждать, что частицы, входящие в атом, удерживаются электростатическими силами.

Следовательно, отличия между разными атомами обусловлены их составом (структурой). Атом водорода состоит из одного положительно заряженного протона и одного отрицательно заряженного электрона; атом гелия содержит два протона, два нейтральных нейтрона и два электрона (Рис. 1.1).

Работы Бора и других физиков, проведенные в начале двадцатого столетия, показали, что орбиты электронов располагаются в оболочках, и каждой из них соответствует определенное максимальное число электронов. Первая оболочка может содержать два электрона, вторая — восемь электронов. В общем

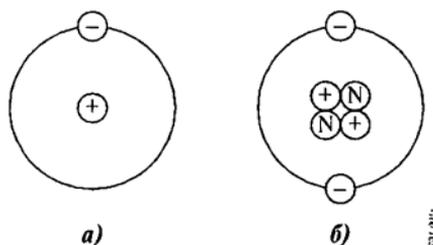


Рис. 1.1. Структура атома: а — атом водорода; б — атом гелия

случае количество электронов в каждой оболочке определяется выражением:

$$2n^2, \text{ где } n = 1, 2, 3 \text{ и т.д.}$$

Все химические реакции и электрические эффекты связаны с поведением электронов во внешней оболочке каждого отдельного атома. Например, если оболочка заполнена полностью, атом не способен вступать в реакцию с любым другим атомом и вместе с такими же атомами образует инертный газ (гелий, аргон).

### 1.3. ЭЛЕКТРОНЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Если последняя оболочка заполнена не полностью, силы, связывающие электроны с ядром, слабы. При тепловом воздействии эти электроны легко отрываются, в результате чего образуется положительно заряженный атом — ион. Свободные электроны перемещаются внутри вещества до тех пор, пока не встретятся с другим ионом, которым и будут захвачены. Процесс генерации свободных электронов и их повторного захвата является непрерывным, и поэтому можно представить, что такое вещество как бы пропитано отрицательно заряженным газом.

Если теперь к противоположным концам тела, состоящего из этого вещества, приложить разнополярные электрические потенциалы, свободные электроны начнут ускоренно двигаться к контакту, потенциал которого является положительным. Во время движения они будут сталкиваться с атомами, из которых состоит вещество, выделяя энергию, воспринимаемую нами как тепло. В результате электроны дрейфуют к положительному контакту с приблизительно постоянной скоростью. Такое движение электронов создает электрический ток.

В то время как электроны поглощаются положительным контактом источника напряжения, отрицательный контакт электроны испускает. Разность потенциалов может рассматриваться в виде некоего электронного «насоса».

С помощью такой модели можно объяснить многие наблюдаемые эффекты. При увеличении разности потенциалов сред-

няя скорость движения электронов возрастает, следовательно, электрический ток пропорционально увеличивается. При столкновении электронов с атомами последним передается энергия, которая выделяется в виде тепла. Этот эффект известен как нагрев электрическим током или тепловое действие тока.

Материалы, в которых происходят такие эффекты, носят название омических проводников (по имени Ома — автора одноименного закона). Закон утверждает, что для омических проводников:

$$\frac{V}{I} = \text{const.}$$

Константа в этом выражении — электрическое сопротивление материала, обозначаемое символом  $R$ . Если напряжение  $V$  выражено в вольтах, а ток  $I$  — в амперах, то сопротивление  $R$  выражается в омах.

Электрическое сопротивление бывает не только омическим; из-за нагрева и некоторых других эффектов отношение  $V/I$  у ряда материалов принимает комплексную форму. (Различают активное (омическое) сопротивление, реактивное (емкостное и индуктивное) сопротивление и комплексное (векторная сумма активной и реактивной составляющих) — прим. редактора).

Если связи между электронами на внешней орбите достаточно сильны, образуется лишь небольшое количество свободных электронов. При появлении разности потенциалов только эти электроны приходят в движение, и, следовательно, ток будет невелик. Вещества с такими характеристиками называют диэлектриками.

#### 1.4. ДВИЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОНА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Если между двумя пластинами в вакууме существует разность потенциалов, то на электрон, оказавшийся между ними, будет действовать сила притяжения, направленная к пластине, потенциал которой положителен (Рис. 1.2).



Рис. 1.2. Электрическое поле между параллельными пластинами

Эта сила заставит электрон двигаться по прямой с ускорением, совпадающим с направлением силы притяжения. При этом электрон не будет испытывать столкновений, так как пластины находятся в вакууме. Этот эффект используют в вакуумных электронных лампах.

Интересный эффект возникает в случае, когда движущийся электрон попадает в электрическое поле, вектор которого перпендикулярен направлению движения электрона. В системе, показанной на Рис. 1.3, пучок электронов испускается прибором, называемым электронной пушкой. Электроны движутся вдоль оси  $X$  и проходят между двумя пластинами, находящимися под разноименными потенциалами, в свою очередь, создающими электрическое поле, вектор которого направлен по оси  $Y$ .

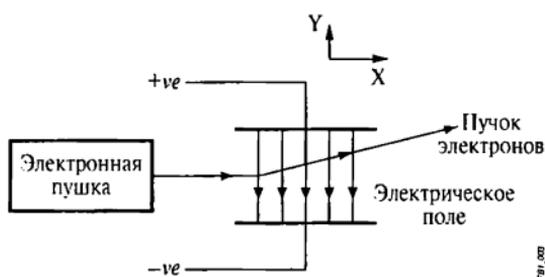


Рис. 1.3. Отклонение пучка электронов в электрическом поле

Попадая в электрическое поле, электроны получают ускорение в направлении  $Y$ , о чем говорилось ранее, но их скорость в направлении  $X$  остается неизменной. В результате, как показано на рисунке, электронный пучок отклоняется от первоначального направления движения. Изменяя разность потенциалов на пластинах, можно управлять углом отклонения. Используя этот эффект, была создана электронно-лучевая трубка.

## 1.5. ДВИЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОНА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Эксперименты показали, что магнитное поле приводит к появлению силы, действующей на провода, по которым течет ток. Подобный эффект можно ожидать и в случае движущегося электрона, который также представляет собой электрический ток.

Направление действия этой силы определяется при помощи правила левой руки. Сила воздействует на электрон при его движении перпендикулярно направлению вектора магнитного поля. Эта сила направлена под прямым углом и к вектору магнитного поля, и к направлению движения электрона. Следовательно, при движении параллельно направлению магнитного поля электрон не испытывает воздействия этой силы.

Существует одно важное отличие между движением электрона в магнитном поле и в электрическом поле. В электрическом поле направление действия силы неизменно, тогда как в магнитном сила всегда направлена под прямым углом к направлению движения электрона (Рис. 1.4).



Рис. 1.4. Движение электронов в магнитном поле

Следовательно, электрон, попавший в магнитное поле соответствующего направления, будет двигаться по спирали вдоль направления вектора магнитного поля. Этот эффект используется в катушках магнитной фокусировки в телевизионной трубке.

## 1.6. СТРУКТУРА ВЕЩЕСТВА

Вещество может существовать в трех фазах: твердой, жидкой и газообразной. В жидкой и газообразной фазах молекулы вещества могут свободно двигаться, в твердой же фазе положение молекул фиксированно, и они могут лишь совершать колебания около своего среднего положения. Колебания молекул воспринимаются нами как выделение тепла.

У некоторых соединений и элементов наблюдается кристаллическая структура (в качестве простых примеров можно привести поваренную соль и сульфат меди). Кристаллы образуются в результате объединения атомов в определенную геометрическую структуру, которая сохраняется во всем объеме кристалла.

На Рис. 1.5 изображена кристаллическая структура германия, симметричное строение которой очевидно.

Огромное количество электронных приборов появилось благодаря проводимости электрического тока твердым телом. Способность вещества проводить электрический ток зависит от его способности генерировать свободные электроны, о чем уже говорилось ранее.

Такие элементы, как кремний и германий, имеют на своей внешней орбите четыре электрона. Благодаря этому кристаллическая решетка этих элементов представляет собой плотно скомпанованную структуру типа кристаллической решетки ал-

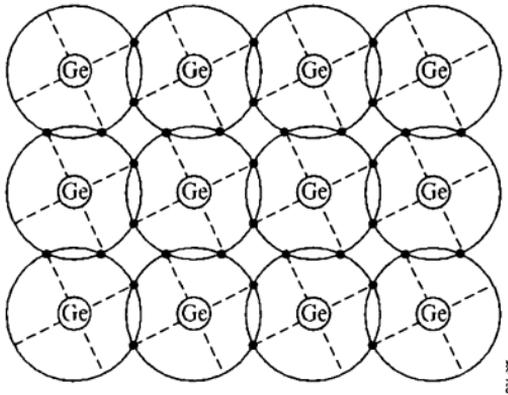


Рис. 1.5. Модель кристалла германия

маза. Из-за сильной связи электронов кристаллический кремний и германий в чистом виде обладают хорошо выраженными диэлектрическими свойствами.

## 1.7. ПРИМЕСНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ

В чистом виде кремний и германий обладают свойствами диэлектриков, однако их проводимость коренным образом меняется при добавлении небольшого количества примесей.

Показанная на Рис. 1.6 структура представляет собой модель кристаллической решетки германия, в которой один из атомов германия замещен атомом мышьяка. Его называют атомом примеси. На внешней орбите мышьяка пять электронов, поэтому, хотя атом мышьяка и «встанет» в кристалл, один электрон останется свободным.

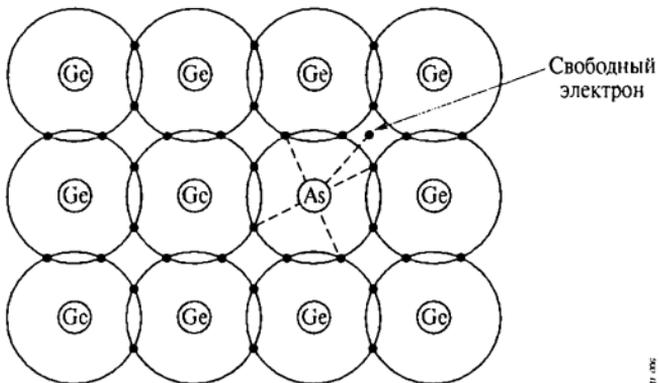


Рис. 1.6. Модель полупроводника n-типа

Этот избыточный электрон очень подвижен и легко может стать носителем тока при появлении разности потенциалов. Контролировать количество свободных электронов можно, изменяя количество вносимой в полупроводник примеси. Примеси, при добавлении которых к полупроводнику образуются свободные электроны, называются донорами, а сами полупроводники, в которые добавлена примесь, — примесными полупроводниками.

Проводимость в полупроводнике с донорной примесью создается свободными электронами, и такой полупроводник называют полупроводником *n*-типа (*n* происходит от английского *negative* — «отрицательный»).

При введении в кристаллическую решетку полупроводника атома примеси, на внешней оболочке которого находятся три электрона (например, бор, индий), наблюдается сходный эффект. На Рис. 1.7 показана такая структура. Отсутствие электрона приводит к образованию «дырки» в кристалле, что равносильно появлению положительного заряда. Если к такому полупроводнику приложить напряжение, электроны начнут двигаться к положительному контакту, а дырки, очевидно, — в обратном направлении. Двигающиеся дырки принято рассматривать как положительно заряженные носители тока. Такие полупроводники называют полупроводниками *p*-типа (*p* означает «положительный»), а примеси — акцепторами.

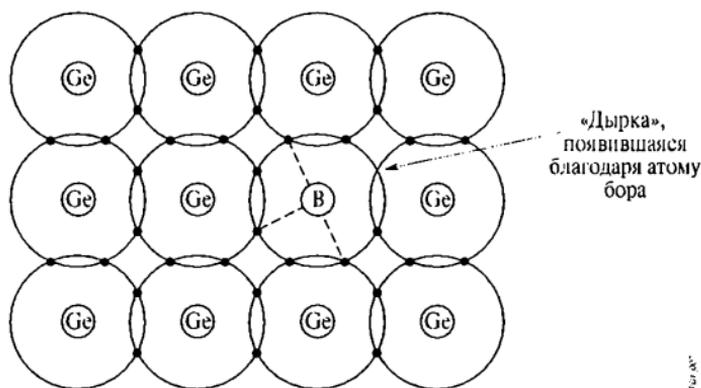
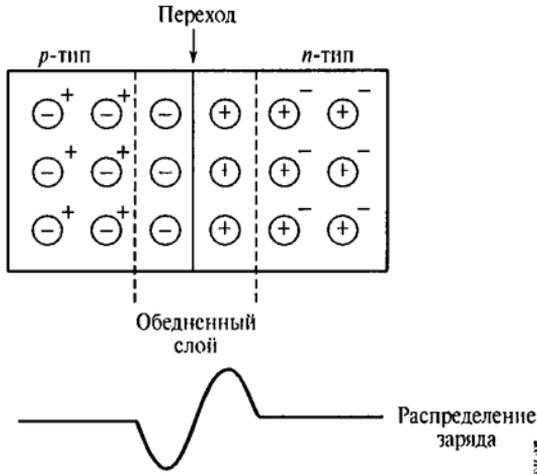


Рис. 1.7. Модель полупроводника *p*-типа

Наряду с носителями заряда, образованными при добавлении примесей в полупроводник, существуют также носители заряда, образующиеся в результате обычного теплового воздействия, приводящего к появлению свободных электронов. Очевидно, что такие носители заряда существуют как комплементарные (взаимно уравновешивающие) электроны/дырки, которые называют неосновными носителями. Носители же, появившиеся в результате добавления примесей, называют основными носителями.

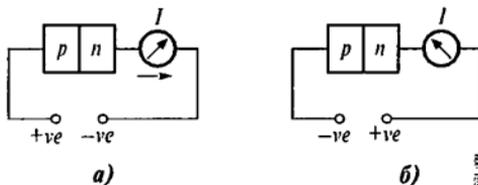
1.8. *p-n-ПЕРЕХОД*

Одна половина структуры, показанной на **Рис. 1.8**, легирована примесью *n*-типа, другая — примесью *p*-типа. На границе перехода дырки устремляются в слой *n*-типа, а электроны — в слой *p*-типа до тех пор, пока не установится равновесие и не образуется область без свободных носителей. Эта область называется обедненным слоем и, при отсутствии носителей заряда, обладает свойствами диэлектриков.

Рис. 1.8. *p-n-переход*

Наращение заряда в обедненном слое — это внутренний эффект, т.е. изменение разности потенциалов на концах *p-n*-перехода не наблюдается. Однако если к *p*-слою приложить положительный потенциал, а к *n*-слою — отрицательный, как показано на **Рис. 1.9а**, то дырки устремятся через переход из *p*-слоя в *n*-слой, а электроны — из *n*-слоя в *p*-слой. Возникнет ток, и прибор заработает.

Если к *p*-слою приложить отрицательный потенциал, а к *n*-слою — положительный, как показано на **Рис. 1.9б**, некоторые электроны и дырки переместятся, и основным эффектом будет увеличение обедненного слоя. После кратковременного

Рис. 1.9. *p-n-переход в качестве выпрямителя: а — прямое смещение; б — обратное смещение.*

протекания тока (эквивалентного зарядке конденсатора небольшой емкости), прибор перестанет проводить ток. На самом деле небольшой ток, вызванный неосновными носителями, все-таки будет протекать. Обычно его в расчет не принимают.

Таким образом, вольт-амперная характеристика *p-n*-перехода имеет ярко выраженную нелинейную форму, что можно увидеть на **Рис. 1.10**. Из рисунка следует, что, для того чтобы переход открылся (через него стал протекать ток), требуется небольшое напряжение, приложенное к переходу в прямом направлении. Оно необходимо для того, чтобы носители смогли преодолеть потенциальный барьер в обедненном слое, составляющий около 0.2 В для германия и 0.7 В для кремния.



**Рис. 1.10.** Типичная вольт-амперная характеристика *p-n*-перехода

Сам по себе *p-n*-переход — это прекрасный выпрямитель, но, помимо этого, он является основным элементом более сложных полупроводниковых приборов, которые будут рассмотрены позже.

## 1.9. РЕЗИСТОРЫ

Наверное, резисторы — это самые широко используемые компоненты электронных схем. В соответствии с законом Ома их сопротивление можно записать как:

$$\text{Сопротивление [Ом]} = \frac{\text{напряжение [В]}}{\text{ток [А]}} .$$

Номиналы резисторов, выпускаемых в настоящее время, лежат в диапазоне от долей ома до десятков мегаом. При протекании тока через резистор мощность выделяется в форме тепла и равна  $I^2 R$  ватт. Температура резистора возрастает до тех пор, пока излученное тепло не станет равным теплу, поглощенному окружающей средой. Возрастание температуры определяется максимальной мощностью, которая может быть рассеяна резистором.

Самый простой и самый дешевый резистор — угольный. Он состоит из небольшого угольного стержня с заданным сопротив-

лением. Обычно угольный стержень помещается в защитный корпус с контактами в виде осевых выводов. Сопротивление угольных резисторов лежит в пределах от нескольких Ом до 1 МОм, а мощность — от 0.125 до 2 Вт.

Сопротивление резистора изменяется с изменением температуры и может быть определено по формуле:

$$R_t = R_{20} (1 + \alpha t),$$

где  $R_{20}$  — сопротивление резистора при температуре 20°C,  $\alpha$  — температурный коэффициент (обычно 0.01% на градус Цельсия).

Угольные резисторы имеют большой отрицательный температурный коэффициент, вследствие чего они не пригодны для применения в устройствах, где требуется высокая точность.

Более высокая температурная устойчивость достигается при альтернативной конструкции угольных резисторов. На диэлектрическую подложку, чаще всего стеклянную, наносится тонкая угольная пленка. Величина сопротивления задается при помощи спиральных вырезов, формируемых вдоль тела резистора (такие резисторы называют тонкопленочными). Надежный контроль над производством позволяет использовать их в устройствах, требующих большой точности. Похожие методы создания резисторов применяются и для других резистивных материалов, таких как тугоплавкие металлы и оксиды металлов.

Для устройств, где требуется высокий показатель рассеиваемой мощности, используют проволочные резисторы. Они состоят из тонкой проволоки необходимой длины, намотанной на основание, а затем покрытой защитной стекловидной эмалью. При такой конструкции резистору неизбежно будет свойственна высокая индуктивность. Она может быть уменьшена при использовании неиндуктивных бифилярных (т.е. скрученных в виде двойной спирали) намоток, но полностью устранить ее не удается. При установке на печатные платы резисторов большой мощности необходимо принимать меры предосторожности: обдувать потоком воздуха для охлаждения и предохранять соседние компоненты схемы от воздействия достаточно высоких температур.

Резисторам присуще свойство генерировать достаточно большой шум; неупорядоченное движение электронов в резисторах приводит к небольшим изменениям напряжения, которые проявляются как высокочастотное «шипение» в звуковых системах или как дрожание (размывание контура) видеосигнала. Амплитуда шумового сигнала зависит от температуры, напряжения и тока, а также от конструкции резистора. Для применения в устройствах с низким уровнем шума лучше всего подходят металлопленочные резисторы. Для резистора такого типа с сопротивлением 10 кОм типичное значение шума составляет 0.5 мкВ/В.

Для маркировки резисторов используют либо цветовой код, отображающий величину сопротивления и допустимое отклонение, либо кодировку в соответствии со стандартом BS 1852. В таблице раздела 1.11 приведена расшифровка цветового кодирования резисторов и конденсаторов, а маркировка по стандарту BS 1852 приведена в таблице раздела 1.12.

## 1.10. ПЕРЕМЕННЫЕ РЕЗИСТОРЫ

Производство переменных резисторов сходно с производством резисторов с постоянным сопротивлением. В резисторах небольшой мощности используется угольная дорожка, по которой передвигается ползунок.

Резисторы, рассчитанные на высокую мощность, обычно делают проволочными. Резисторам обоих типов присущи свои недостатки: у угольных — это разрушение дорожек вследствие их загрязнения, у проволочных — для обеспечения достаточной точности необходимо большое количество витков.

Дорожки формируют на подложке из так называемой металлокерамики, промышленное использование которой непрерывно растет, поскольку ее превосходные характеристики подходят для производства и угольных, и проволочных резисторов.

Существуют линейные, логарифмические и антилогарифмические переменные резисторы. Связь между положением ползунка и значением сопротивления у линейных резисторов линейна. Соответственно у логарифмических и антилогарифмических переменных резисторов эта связь логарифмическая, что позволяет использовать их, например, в аудиоаппаратуре в качестве регуляторов громкости и баланса (это помогает компенсировать специфическую характеристику восприятия звуков человеческим ухом).

## 1.11. ЦВЕТОВОЕ КОДИРОВАНИЕ РЕЗИСТОРОВ И КОНДЕНСАТОРОВ

Цвет	Полоса А	Полоса В	Полоса С (множитель)		Полоса D (допустимое отклонение)			Полоса E	
			Резисторы	Конденсаторы	Резисторы	Конденсаторы (до 10 пФ) [пФ]	Конденсаторы (свыше 10 пФ) [пФ]	Тип резистора	Рабочее напряжение конденсатора (X100) [В]
Черный	—	0	1	1	—	2	±20%	—	—
Коричневый	1	1	10	10	±1%	0.1	±1%	—	100

(окончание)

Цвет	Полоса А	Полоса В	Полоса С (множитель)		Полоса D (допустимое отклонение)			Полоса E	
			Резисторы	Конденсаторы	Резисторы	Конденсаторы (до 10 пФ) [пФ]	Конденсаторы (свыше 10 пФ) [пФ]	Тип резистора	Рабочее напряжение конденсатора (X100) [В]
Красный	2	2	100	100	±2%	—	±2%	—	200
Оранжевый	3	3	1000	1000	—	—	±2.5%	—	300
Желтый	4	4	10000	10000	—	—	—	—	400
Зеленый	5	5	100000	—	—	0.5	±5%	—	500
Голубой	6	6	1000000	—	—	—	—	—	—
Фиолетовый	7	7	10000000	—	—	—	—	—	—
Серый	8	8	108	0.01 мкФ	—	0.25	—	—	—
Белый	9	9	109	0.1 мкФ	—	1	±10%	—	—
Серебристый	—	—	0.01	—	±10%	—	—	—	—
Золотистый	—	—	0.1	—	±5%	—	—	—	—
Розовый	—	—	—	—	—	—	—	Высоко-стабильные	—
Отсутствует	—	—	—	—	±20%	—	—	—	—

Следует иметь в виду, что соседние полосы одинакового цвета могут быть не разделены между собой.

### Рекомендуемые номиналы

#### Последовательность E12\*

1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7
3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2

#### Последовательность E24\*

1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6
1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0
3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1
5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1

\*Декады не показаны.

## 1.12. ЦВЕТОВОЕ И БУКВЕННОЕ КОДИРОВАНИЕ РЕЗИСТОРОВ И КОНДЕНСАТОРОВ (СТАНДАРТ BS 1852)

Номиналы резисторов обозначают следующим образом:

Номинал	Обозначение на корпусе
0.47 Ом	R47
1 Ом	1R0
4.7 Ом	4R7
47 Ом	47R
100 Ом	100R
1 кОм	1K0
10 кОм	10K
10 МОм	10M

Буквы, следующие за обозначением номинала, указывают допустимое отклонение:

F =  $\pm 1\%$ ; G =  $\pm 2\%$ ; J =  $\pm 5\%$ ; K =  $\pm 10\%$ ; M =  $\pm 20\%$ ;

Например, R33J = 0.33 Ом  $\pm 5\%$ ; 6K8K = 6.8 кОм  $\pm 10\%$ .

Номиналы конденсаторов обозначают следующим образом:

Номинал	Обозначение на корпусе
0.68 пФ	p68
6.8 пФ	6p8
1000 пФ	1n0
6.8 нФ	6n8
1000 нФ	1μ0
6.8 мкФ	6μ8

Допустимое отклонение обозначается буквами, как у резисторов. Величины до 999 пФ обозначаются в пикофарадах, от 1000 пФ (1 нФ) до 999000 пФ (999 нФ) — в нанофарадах, а от 1000 нФ (1 мкФ) и выше — в микрофарадах.

Некоторые конденсаторы маркируются с помощью кода, обозначающего номинал конденсатора в пФ (два первых знака), за которыми следует показатель степени десяти ( $3 = 10^3$ ). Буквы, обозначающие допустимое отклонение, такие же, как и для резисторов, за исключением C =  $\pm 0.25$  пФ. Например, 123J = 12 пФ  $\times 10^3 \pm 5\% = 12000$  пФ (или 0.012 мкФ).

### 1.13. КОНДЕНСАТОРЫ

Емкость конденсатора определяется уравнением

$$C = \frac{\epsilon A}{d},$$

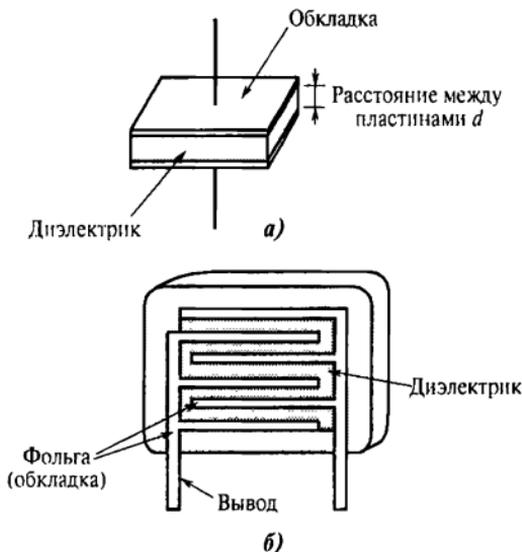
где  $A$  — площадь пластин конденсатора,  $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость материала между пластинами, а  $d$  — расстояние между пластинами. Соответствующая конструкция простого конденсатора с параллельными пластинами показана на **Рис. 1.11а**.

В большинстве случаев конденсаторы с плоскими параллельными пластинами не годятся для практического применения. Например, емкость двух пластин площадью  $100 \text{ см}^2$ , расстояние между которыми  $1 \text{ мм}$ , составит около  $80 \text{ пФ}$ . Большей емкости можно достичь увеличением площади пластины  $A$  и диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  или уменьшением расстояния между пластинами  $d$ .

Однако конденсаторы должны работать при достаточно больших напряжениях, и эти противоречивые требования (большое напряжение и малое расстояние  $d$ ) ставят перед производителями электронных компонентов непростые задачи.

Чаще всего реальные конденсаторы конструируют, используя металлическую фольгу и материалы с высокой диэлектрической проницаемостью, такие как слюда или керамика. Конструкция такого конденсатора показана на **Рис. 1.11б**.

Альтернативным методом производства конденсаторов является напыление металлических пленок на диэлектрик. Конденсаторы такой конструкции (известные как серебряно-слюдя-



**Рис. 1.11.** Конструкция конденсаторов: а — конденсатор с параллельными пластинами; б — керамический конденсатор

ные) достаточно стабильны и имеют неплохие характеристики. Их емкость лежит в пределах от нескольких пФ до приблизительно 5000 пФ.

Более высокая емкость достигается при попеременном расположении слоев фольги и бумаги. Существует множество разновидностей фольговых конденсаторов, где в качестве диэлектрика используются различные материалы, например полиэфирные и поликарбонатные пленки.

Чтобы получить еще большую емкость, необходимо еще больше сократить расстояние между пластинами. Этого можно добиться, погрузив металлическую пластину в электролит. В этом случае диэлектриком между «пластинами» (металлом и электролитом) будет тонкая оксидная пленка. Конструкция металл/оксид/электролит имеет свойства конденсатора, а исключительно тонкий слой оксида (обычно  $10^{-4}$  мм) обеспечивает высокую емкость.

Дальнейшего увеличения емкости можно добиться с помощью травления металлической пластины. Эта процедура придает шероховатость поверхности, и, таким образом, площадь поверхности увеличивается. На основе идеи электролитического конденсатора возникло множество типов конструкций, в последней из которых используется тантал. Диэлектрическая проницаемость оксида тантала чрезвычайно высока, поэтому небольшие танталовые электролитические конденсаторы имеют высокую стабильность и очень малый ток утечки. Однако их диапазон рабочего напряжения невелик по сравнению с другими электролитическими конденсаторами и составляет обычно 10...20 В.

На каждый вывод электролитических конденсаторов всегда подается напряжение только определенной полярности. Если полярность напряжения будет изменена, то диэлектрическая оксидная пленка разрушится, и в электролите может образоваться газ, который создаст избыточное внутреннее давление, что может привести к разрушению корпуса конденсатора. Поэтому при монтаже очень важно убедиться в том, что электролитические конденсаторы установлены в соответствии с указанной полярностью.

Вообще электролитические конденсаторы далеко не самые лучшие. К их недостаткам, по сравнению с обычными конденсаторами, относятся низкий коэффициент мощности, большие утечки и довольно высокая цена. Вдобавок их срок службы достаточно мал, и они имеют склонность высыхать при высоких температурах окружающей среды. Следовательно, электролитические конденсаторы стоит применять только в тех случаях, когда использование конденсаторов другого типа не представляется возможным.

Для всех типов конденсаторов определяют максимально допустимое рабочее напряжение. Его значения лежат в диапа-

зоне от нескольких вольт (для танталовых электролитических) до нескольких киловольт (для специальных бумажных). Поэтому для схемы, куда устанавливается конденсатор, должно быть определено пиковое (не среднесквадратическое) значение напряжения, которое может возникнуть во время работы (включая переходные процессы), и в соответствии с ним следует подобрать конденсатор.

Для резонансных индуктивно-емкостных генераторов требуются конденсаторы переменной емкости. Емкость таких конденсаторов изменяется регулировкой площади пластин  $A$ , расстояния между пластинами  $d$  или диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  в соответствии с уравнением, приведенным выше. В конденсаторах переменной емкости с изменяемой площадью пластин в качестве диэлектрика служит воздух, а площадь изменяется регулировкой относительного углового положения двух пластинчатых обкладок. Для подстроечных конденсаторов чаще всего используется конструкция, где изменяется расстояние  $d$  между подпружиненными пластинами. Конденсаторы с изменяемой диэлектрической проницаемостью встречаются редко, но иногда их устанавливают в измерительные преобразователи, где перемещение тела влечет за собой изменение емкости, когда диэлектрический материал вносится между двумя пластинами с фиксированным положением. Изменение емкости у всех переменных конденсаторов мало и обычно не превышает нескольких сот пикофарад. Большее изменение емкости достигается в варикапах, речь о которых пойдет позже.

## 1.14. КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ

В основном катушки индуктивности применяются в качестве составной части индуктивно-емкостных контуров в генераторах или высокочастотных схемах. Поэтому важно, чтобы катушки индуктивности обладали достаточной стабильностью при приемлемых размерах.

Для катушек с относительно малой индуктивностью достаточно одного слоя провода, навитого вокруг каркаса. Чтобы получить более высокие значения индуктивности, используют многослойные катушки, хотя они имеют сравнительно большую паразитную емкость.

Если в схеме установлено несколько катушек индуктивности, между ними имеет место индуктивная связь, которая может служить причиной нежелательных эффектов, таких как неустойчивая работа усилителя. Если поместить катушку в корпус, в материале корпуса будут наводиться вихревые токи, которые создадут магнитное поле, направленное противоположно магнитному полю катушки. Это приведет к некоторому уменьшению напряженности магнитного поля в катушке индуктивности, зато напряженность поля за пределами корпуса будет сведена к нулю.

Зачастую для изготовления катушек индуктивности большего номинала применяют ферритовые сердечники — это дает возможность наматывать меньшее количество витков для получения заданной величины индуктивности. Кроме того, на основе подвижных железных сердечников изготавливают катушки регулируемой индуктивности (Рис. 1.12). При передвижении железного стержня изменяется магнитная проницаемость, а, следовательно, и индуктивность катушки. Изменение индуктивности составляет всего несколько процентов, однако этого достаточно для подстройки резонансного контура. В случаях, когда требуется значительное изменение индуктивности, обычно используют переключаемые катушки.

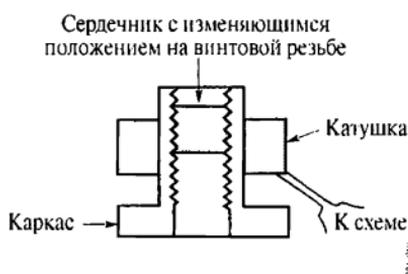


Рис. 1.12. Катушка с регулируемой индуктивностью (в разрезе)

Иногда катушки индуктивности с номиналом более 1 Гн используют как сглаживающий фильтр в источниках питания, хотя в наше время такие приборы встречаются достаточно редко. Такие катушки индуктивности называют дросселями, в основе их конструкции лежит сердечник с многослойной структурой, похожий на сердечники, применяемые в трансформаторах.

## 1.15. ТРАНСФОРМАТОРЫ

Трансформаторы применяют для изменения амплитуды сигнала переменного тока. В отличие от усилителя, трансформатор — пассивный элемент, не дающий усиления мощности.

Все трансформаторы могут быть условно разделены на два класса: силовые и согласующие. Силовые трансформаторы преобразуют напряжение переменного тока в источниках питания. Согласующие трансформаторы используют для межкаскадной связи в усилителях. На Рис. 1.13 представлена конструкция трансформатора, на первичной обмотке которого  $N_1$  витков, а на вторичной —  $N_2$  витков.

Рассмотрим случай, когда при отсутствии нагрузки на вторичной обмотке на первичную обмотку подается переменное напряжение  $e_{in}$ . Это приводит к появлению переменного магнитного потока  $\Phi$ , который определяется напряжением  $e_{in}$  и количест-

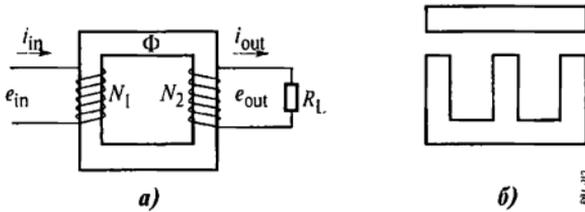


Рис. 1.13. Трансформатор: а — схема трансформатора; б — пластины сердечника

вом витков первичной обмотки  $N_1$ . Если плотность этого потока в первичной и вторичной обмотках одинакова, можно записать:

$$\frac{e_{\text{out}}}{e_{\text{in}}} = \frac{N_2}{N_1}.$$

При отсутствии нагрузки поток  $\Phi$  наводит в первичной обмотке напряжение, величина которого в идеальном трансформаторе равна  $e_{\text{in}}$ , следовательно, ток в первичной обмотке не протекает.

Если теперь к вторичной обмотке подключить нагрузку, потечет ток. Этот ток будет противодействовать магнитному потоку, создаваемому первичной обмоткой, уменьшая тем самым общий магнитный поток в сердечнике. Наведенное напряжение в первичной обмотке не будет больше оставаться равным  $e_{\text{in}}$ , в первичной обмотке потечет ток, благодаря которому плотность магнитного потока будет увеличиваться до тех пор, пока уравнение, приведенное выше, не станет снова справедливым.

Поскольку трансформатор не усиливает мощность сигнала, входная и выходная мощности должны быть одинаковы, и для идеального трансформатора можно записать:

$$e_{\text{in}} \cdot i_{\text{in}} = e_{\text{out}} \cdot i_{\text{out}}.$$

Иногда трансформатор применяется в качестве трансформатора импедансов (преобразователя полных сопротивлений). Если ко вторичной обмотке подключен резистор сопротивлением  $R_L$ , то сопротивление первичной обмотки будет равно:

$$R_{\text{in}} = \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 R_L.$$

Таким образом, трансформатор можно использовать для согласования сопротивлений и, следовательно, для максимально эффективной передачи энергии.

Кроме того, трансформаторы применяются в приборах, предназначенных для измерения тока в силовых устройствах переменного тока (Рис. 1.14).

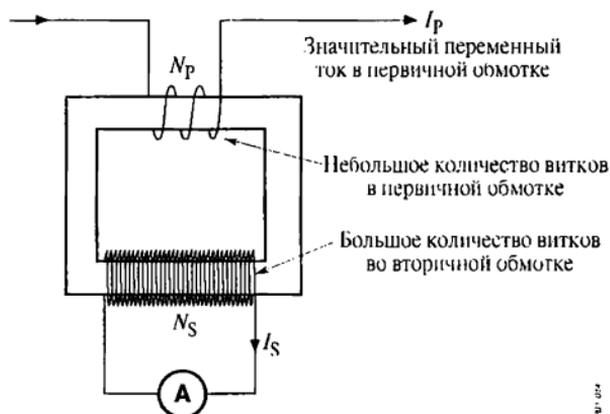


Рис. 1.14. Трансформатор тока

Через первичную обмотку трансформатора проходит достаточно большой переменный ток, что вызывает магнитный поток, который, в свою очередь, компенсируется наведенным током во вторичной обмотке. Если вторичная обмотка эффективно закорочена, то:

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s},$$

т.е. ток вторичной обмотки пропорционален току первичной обмотки.

Такой прибор называют трансформатором тока, его типичный коэффициент трансформации составляет 200:1 (например, ток 200 А в первичной обмотке вызовет ток 1 А во вторичной обмотке). Обычно у таких трансформаторов первичная обмотка состоит из единственного витка.

К вторичной обмотке трансформаторов тока всегда должна быть подключена нагрузка, иначе на вторичной обмотке возникают высокие напряжения, опасные для жизни (так как при разомкнутой цепи вторичной обмотки отсутствует ток вторичной обмотки, который противостоит магнитному потоку, наведенному первичной обмоткой).

В приводимых выше рассуждениях предполагалось, что трансформатор идеальный (не имеющий потерь). В реальных трансформаторах энергия теряется при передаче между первичной и вторичной обмотками. Основной составляющей этих потерь являются омические потери в обмотках трансформатора. Иногда их называют потерями в меди.

Второй причиной является гистерезисная характеристика железного сердечника. За каждый цикл гистерезиса теряется энергия, выделенная в виде тепла и равная площади петли. Иногда такие потери называют потерями в железе.

Если бы сердечник представлял собой сплошной железный блок, также имели бы место значительные потери, возникающие вследствие вихревых токов в сердечнике. Эти потери сводят к минимуму при использовании сердечника из изолированных пластин, показанных на Рис. 1.136. Однако на частотах свыше 25 кГц вихревые токи в пластинах снова становятся значительными, и тогда вместо пластин используют прессованные порошковые ферритовые сердечники.

## 1.16. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

Ранее уже были приведены основные положения теории полупроводниковых приборов, а также рассказывалось о  $p$ - $n$ -переходе. Эти понятия лежат в основе принципов действия большинства полупроводниковых приборов, описанных в последующих разделах.

## 1.17. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

Полупроводниковый диод представляет собой обычный  $p$ - $n$ -переход. На Рис. 1.15 приведены основные характеристики диода и символ, которым диод обозначается в схемах.

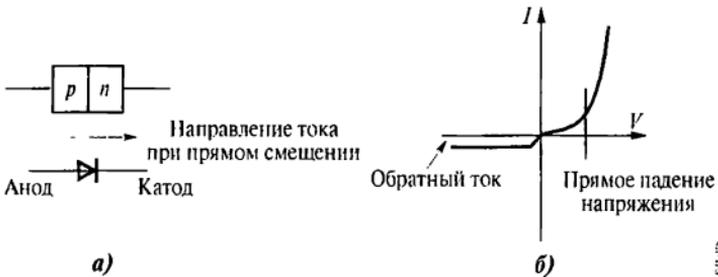


Рис. 1.15. Полупроводниковый диод: а — конструкция и символическое обозначение; б — вольт-амперная характеристика

В общих чертах все диоды подразделяются на два класса: выпрямительные и импульсные. Выпрямительные диоды применяются в источниках питания для преобразования переменного тока в постоянный. Выпрямительные диоды могут проводить большие токи, должны выдерживать большие пиковые обратные напряжения и в основном предназначены для работы на низких частотах (обычно 50 или 60 Гц).

Импульсные диоды используют в качестве логических элементов или как демодуляторы в высокочастотных схемах. Напряжения и токи в таких диодах малы, но их быстродействие должно быть очень высоким.

Эти различия отражены в конструкции диодов. Выпрямительный диод должен рассеивать значительное количество тепла, а поглощенная энергия определяется средним значением прямого тока и падением прямого напряжения. Обычно выпрямительные диоды имеют относительно большие размеры и зачастую снабжены специальными приспособлениями для крепления к теплоотводам.

Быстродействие диодов зависит от такого фактора, как паразитная (конструктивная) емкость, поэтому импульсные диоды отличаются очень небольшими размерами.

Выпрямительные и импульсные диоды изготавливают из германия или кремния. Германиевые диоды характеризуются малым прямым напряжением отпираания (около 0,2 В), но температурный предел работы перехода составляет 75°C. Напряжение отпираания кремниевого диода составляет около 1 В, но такие диоды могут работать при температуре вплоть до 200°C. Обратный ток кремниевого диода значительно меньше чем германиевого. В основном кремниевые диоды чаще используют в выпрямительных схемах и логических устройствах, а германиевые — в высокочастотных схемах.

## 1.18. СТАБИЛИТРОН

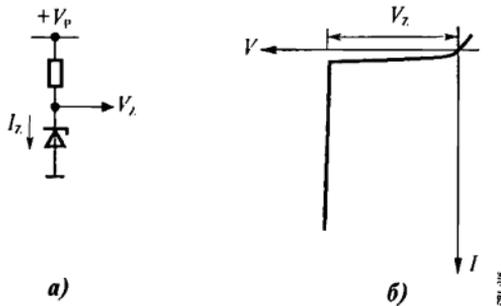
В обратносмещенном *p-n*-переходе существует ток определенной величины. Обычно этот ток пренебрежимо мал, но с ростом обратного напряжения можно достичь напряжения пробоя, при котором обратный ток достаточно большой. Пробой может быть вызван двумя различными механизмами, каждый из которых включает в себя совокупность физических процессов в полупроводнике:

1. *Лавинный эффект.* Неосновные носители с большой скоростью проникают через обедненный слой и выбивают валентные электроны. Лавинный эффект является нарастающим и вызывает стремительное увеличение тока.
2. *Эффект Зенера.* Диод намеренно изготавливают с узким обедненным слоем. Таким образом, приложенное напряжение вызывает электрическое поле большой напряженности в обедненном слое, которое достаточно для того, чтобы разрушить ковалентные пары.

Эти эффекты возникают в обычных диодах при напряжениях, значительно превышающих номинально допустимые обратные напряжения. Однако существуют конструкции, в которых пробой этих двух типов происходит при небольших предсказуемых значениях напряжения. Вне зависимости от механизма пробоя такие диоды называют стабилитронами.

При пробое важно, чтобы ток был ограничен. Обычно ограничение реализуют при помощи последовательно включен-

ного резистора, как показано на **Рис. 1.16а**. Наклон вольт-амперной характеристики при пробое очень крутой (**Рис. 1.16б**), а выходное сопротивление схемы, показанной на **Рис. 1.16а**, составляет несколько ом.



**Рис. 1.16.** Стабилитрон: а — символическое обозначение и схема включения; б — вольт-амперная характеристика

Ток, протекающий через стабилитрон, вызывает тепловое рассеяние мощности, которая определяется формулой:

$$P = I_z \cdot V_z \text{ [Вт]} .$$

Выпускаемые стабилитроны могут рассеивать мощность до 5 Вт.

Характеристики стабилитронов позволяют использовать их в качестве удобных источников опорного напряжения, источников питания и других схем. Однако стоит заметить, что механизмы пробоя приводят к возникновению «шумового» напряжения, поэтому при использовании стабилитронов в усилителях могут возникнуть некоторые проблемы.

## 1.19. ВАРИКАП

Ранее уже было упомянуто, что обедненный слой в обратном смещенном переходе ведет себя как конденсатор. С увеличением обратного напряжения носители перемещаются из области перехода. Это приводит к увеличению ширины обедненного слоя и уменьшает емкость перехода.

Варикап — полупроводниковый прибор, разработанный на основе этого эффекта. Изменение емкости типичного варикапа составляет от 20 до 40 пФ при изменении обратного напряжения в 5 В.

Варикапы широко используются в качестве элементов настройки в индуктивно-емкостных контурах. В настоящее время варикапы применяют в большинстве телевизионных тюнеров (селекторов каналов).

## 1.20. ТУННЕЛЬНЫЙ ДИОД

Туннельный диод (иногда называемый также диодом Есаки, по имени его изобретателя) представляет собой  $p$ - $n$ -переход с очень высоким уровнем легирования. Результатом этого является очень узкий обедненный слой, вследствие чего пробой происходит без какого бы то ни было внешнего смещения.

Прямая ветвь ВАХ такого диода представлена на Рис. 1.17.

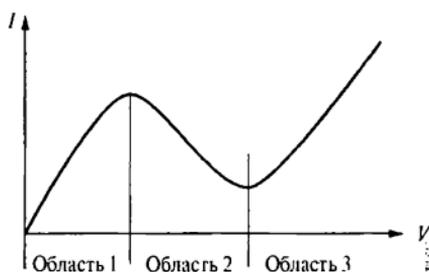


Рис. 1.17. Вольт-амперная характеристика туннельного диода

Эта ветвь разделяется на три отчетливые области. В области 1 происходит пробой и прямой ток возрастает. В области 2 прибор выходит из пробоя и демонстрирует отрицательное сопротивление (уменьшение тока при возрастании напряжения). В области 3 прибор полностью выходит из пробоя и ведет себя как обычный диод. На практике используют область 2, так как отрицательное сопротивление дает возможность применять прибор в качестве генератора или запоминающего (накопительного) элемента.

## 1.21. БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

Биполярный транзистор — это трехслойный прибор, состоящий из двух  $p$ - $n$ -переходов, расположенных по одной линии вплотную друг к другу. Его структура может быть либо  $p$ - $n$ - $p$ , либо  $n$ - $p$ - $n$ , как показано на Рис. 1.18. Три области, которые образуют транзистор, называются эмиттер, коллектор и база.

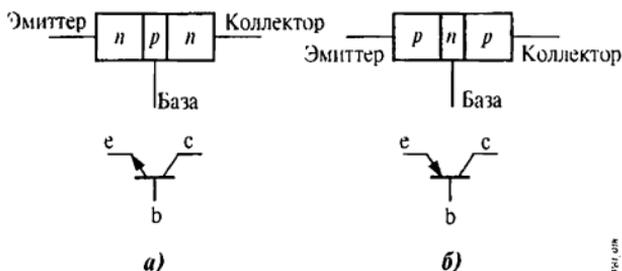


Рис. 1.18. Конструкция транзистора: а —  $n$ - $p$ - $n$ -транзистор; б —  $p$ - $n$ - $p$ -транзистор

Чтобы транзистор работал, область базы должна быть очень тонкой, и эмиттер должен быть легирован намного сильнее, чем база. На Рис. 1.19 показана схема включения  $p-n-p$ -транзистора (для  $n-p-n$ -транзистора следует поменять полярность источников питания).

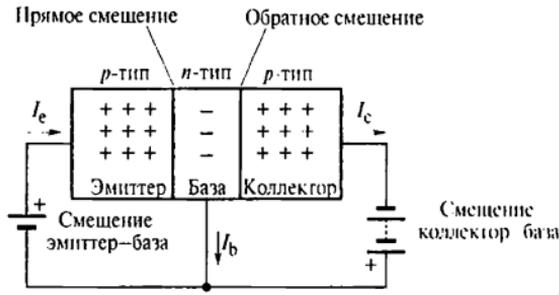


Рис. 1.19.  $p-n-p$ -транзистор, режим постоянного тока

Переход эмиттер—база смещен в прямом направлении, и дырки двигаются в область базы. Если бы база была толще, движение этих дырок просто создавало бы ток через базовую область из эмиттера, но из-за малой толщины базы они попадают также под влияние отрицательно смещенного коллектора. Разность потенциалов коллектор—база способствует проникновению дырок в коллектор, в результате чего появляется коллекторный ток  $I_c$ . Некоторые дырки рекомбинируют с электронами в базовой области, за счет чего возникает небольшой базовый ток  $I_b$ . Отношение тока коллектора к току эмиттера  $I_c/I_e$  имеет приблизительно постоянное значение, около 0.98, и называется коэффициентом усиления эмиттерного тока —  $\alpha$ . Исходя из закона Кирхгофа можно записать:

$$I_e = I_c + I_b.$$

Следовательно, ток базы составляет около  $0.02I_e$ . Коэффициент  $\alpha$  иногда обозначают  $h_{FB}$ .

### 1.21.1. Усилитель с общей базой

На Рис. 1.20 представлена реальная схема с источником сигнала  $V_{in}$  и нагрузкой  $R_L$ . Резистор  $R_1$  задает соответствующие значения токов  $I_e$  и  $I_b$ . Эта конфигурация известна как схема

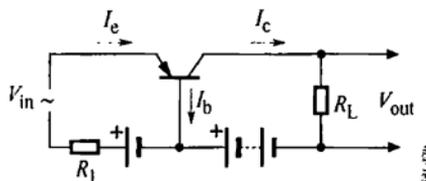


Рис. 1.20. Транзисторный усилитель (по схеме с общей базой)

включения транзистора с общей базой и является фактически одной из наиболее редко используемых усилительных схем.

У этой схемы низкое входное сопротивление (около 30 Ом) из-за смещенного в прямом направлении перехода эмиттер—база. Если сопротивление резистора  $R_L$  достаточно высокое (скажем, 3 кОм), коэффициент усиления по напряжению можно записать так:

$$G = \frac{I_c R_L}{I_e R_{in}} = \alpha \frac{R_L}{R_{in}}.$$

Коэффициент усиления по мощности будет равен  $\alpha^2 \frac{R_L}{R_{in}}$ .

У всех транзисторов в обратносмещенном переходе коллектор—база существует начальный ток, не зависящий от тока эмиттера. Этот ток обозначается  $I_{co}$ . Тогда общий ток коллектора можно представить в виде:

$$I_c = \alpha I_e + I_{co}.$$

### 1.21.2. Усилитель с общим эмиттером

В схеме с общей базой входом является эмиттер. В более часто используемой конфигурации, известной как усилитель с общим эмиттером, в качестве входа служит база (Рис. 1.21). Как было показано ранее, если ток эмиттера  $I_e$  изменится, скажем, на 1 мА, ток базы  $I_b$  изменится на 20 мкА при  $\alpha = 0.98$ . Следовательно, если ток базы изменится на 20 мкА, ток эмиттера изменится на 1 мА, потому что основное соотношение между токами  $I_b$ ,  $I_c$  и  $I_e$  сохраняется вне зависимости от схемы включения.

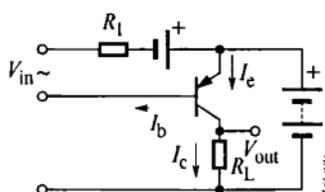


Рис. 1.21. Транзисторный усилитель (по схеме с общим эмиттером)

Коэффициент усиления по току в этом случае определяется как  $I_c/I_b$  и обозначается  $\beta$ . После простого преобразования можно записать:

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}.$$

Если предположить, что  $\alpha$ , как и прежде, равна 0.98,  $\beta$  составит 49. Коэффициент усиления  $\beta$  обозначается еще как  $h_{FE}$ .

Характеристики типичного усилителя с общим эмиттером показаны на Рис. 1.22.

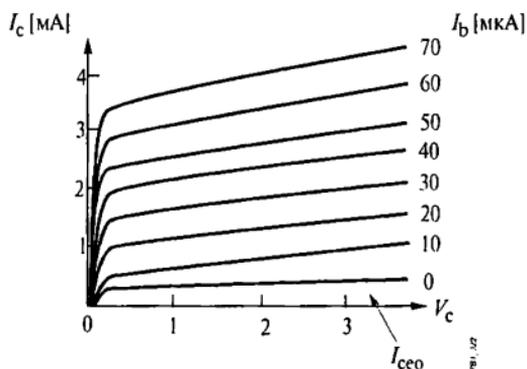


Рис. 1.22. Характеристики усилителя с общим эмиттером

Выходное сопротивление такого усилителя составляет 50 кОм, входное — около 1 кОм. Серьезную проблему в усилителях с общим эмиттером представляет собой ток утечки ( $I_{ce0}$ ). Его типичная величина составляет 150 мкА. В действительности это обратный ток перехода коллектор—база, рассматриваемый как ток базы, т.е.:

$$I_{ce0} = \beta I_{co},$$

следовательно:

$$I_c = \alpha I_e + \beta I_{co}.$$

Ток утечки сильно зависит от температуры, поэтому при разработке транзисторных усилителей с общим эмиттером нужно иметь в виду условия, при которых они будут эксплуатироваться.

Реальные характеристики транзисторных усилителей приведены в третьей части этой книги.

## 1.22. ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Недостатком биполярного транзистора является малое входное сопротивление, и для его повышения требуется достаточно сложная схема.

Биполярные транзисторы — это приборы, управляемые током, однако проводимостью полупроводникового материала можно управлять также с помощью электрического поля. Транзисторы, в которых проводимость модулируется электрическим полем, называют полевыми транзисторами.

Самый простой полевой транзистор показан на Рис. 1.23а. Этот транзистор представляет собой прибор с тремя выводами (стоком, истоком и затвором), состоящий из кристалла кремния  $n$ -типа, в котором с помощью диффузии создана область  $p$ -типа, т.е. образован  $p$ - $n$ -переход.

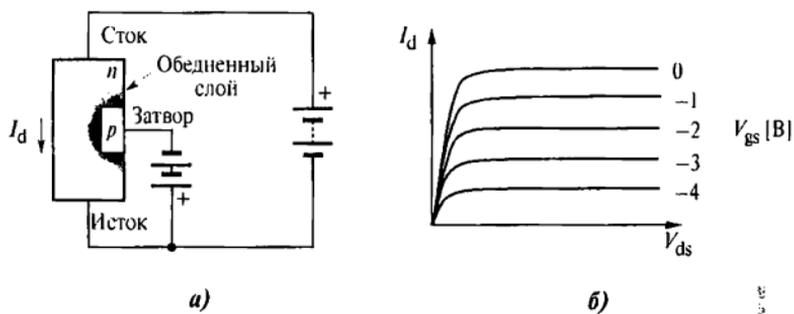


Рис. 1.23. Полевой транзистор: а — конструкция и схема подключения; б — стоковые характеристики

Сток положительно смещен по отношению к истоку, таким образом, в  $n$ -слое образуется канал, по которому течет ток от стока к истоку ( $I_d$ ). Однако, если на затвор подать отрицательный потенциал, в области  $p$ - $n$ -перехода образуется обедненный слой, что приведет к снижению проводимости канала и уменьшению тока  $I_d$ .

Следовательно, напряжение на затворе управляет проводимостью канала; чем больше по величине значение отрицательного напряжения, тем меньший ток течет от стока к истоку. Переход затвор—канал всегда смещен в обратном направлении, и через него протекает небольшой ток затвора, которым обычно пренебрегают.

Если увеличивать отрицательное напряжение на затворе, ток  $I_d$  перестанет протекать вовсе. Напряжение на затворе, при котором это произойдет, называется напряжением отсечки или напряжением смыкания канала, и его типичное значение равняется 5 В. На Рис. 1.23б приведены типичные характеристики полевого транзистора.

Во многих отношениях полевой транзистор похож на электронную лампу, поскольку это тоже прибор, управляемый напряжением. Эквивалентная схема полевого транзистора чрезвычайно проста, как можно убедиться из Рис. 1.24. Она состоит из входного сопротивления и емкости, генератора тока и выходного резистора.

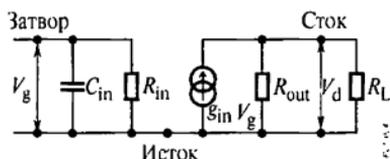


Рис. 1.24. Эквивалентная схема полевого транзистора

Типичные величины для компонентов эквивалентной схемы таковы:

$$R_{in} = 1000 \text{ МОм},$$

$$C_{in} = 30 \text{ пФ},$$

$$R_{out} = 250 \text{ кОм},$$

$$g_m = 2 \text{ мА/В}.$$

В этом случае, как и для всех реальных схем, полное входное сопротивление определяется конденсатором  $C_{in}$ , а коэффициент усиления по напряжению равен  $g_m R_L$ , при приемлемых значениях сопротивления резистора  $R_L$ .

Описанный выше транзистор получил название *n*-канального полевого транзистора с *p-n*-переходом в качестве затвора. Он работает в режиме обеднения, названном так из-за того, что посредством изменения напряжения на затворе можно уменьшить проводимость канала (создать обедненный слой). При использовании подложки *p*-типа получается *p*-канальный полевой транзистор с *p-n*-переходом в качестве затвора. Он работает по тому же принципу, но при обратной полярности источников.

Другой тип полевого транзистора — это так называемый полевой транзистор с изолированным затвором, известный также как полевой транзистор со структурой металл—диэлектрик—полупроводник, или МОП-транзистор. Затвор в таком транзисторе изолирован от канала.

На Рис. 1.25 показана структура МОП-транзистора.

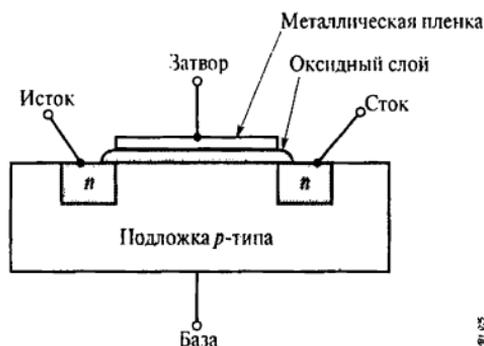


Рис. 1.25. Структура полевого транзистора, работающего в режиме обогащения

В подложке *p*-типа с помощью диффузии формируют две области *n*-типа. На поверхности между ними наращивается изолирующий слой оксида кремния. Затем на оксидный слой напыляют слой алюминия, который служит затвором. У такого транзистора четыре вывода. При соединенных накоротко подложке и затворе единственный ток, протекающий между истоком и стоком, это незначительный ток утечки. Если потенциал на затворе станет положительным по отношению к базе, электроны начнут

притягиваться к поверхности базы, увеличивая проводимость между двумя областями  $n$ -типа.

Протекающим током стока можно управлять при помощи напряжения затвор—подложка. Принцип работы такой схемы основан на изменении проводимости канала между истоком и стоком при изменении напряжения на затворе, поэтому этот транзистор называют  $n$ -канальным МОП-транзистором (транзистором с изолированным затвором), работающим в режиме обогащения.

Также существуют МОП-транзисторы, работающие в режиме обеднения. Конструкция такого транзистора представлена на Рис. 1.26.

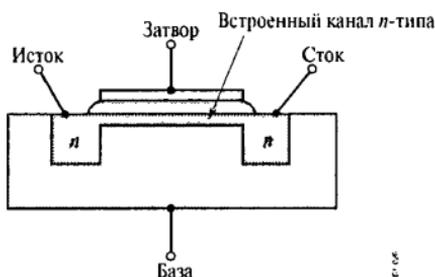


Рис. 1.26. Структура полевого транзистора, работающего в режиме обеднения

Области стока и истока в таком транзисторе соединены тонким слоем  $n$ -типа. Для управления током исток—сток на затвор подается отрицательное напряжение по отношению к базе подобно тому, как это делалось для полевого транзистора с  $p$ - $n$ -переходом. Транзисторы такого типа называются  $n$ -канальными МОП-транзисторами, работающими в режиме обеднения. Ясно, что МОП-транзисторы, работающие в режиме обогащения, и МОП-транзисторы, работающие в режиме обеднения, могут быть как  $p$ -, так и  $n$ -канальными. На Рис. 1.27 приведены символические обозначения для всех шести типов полевых транзисторов.

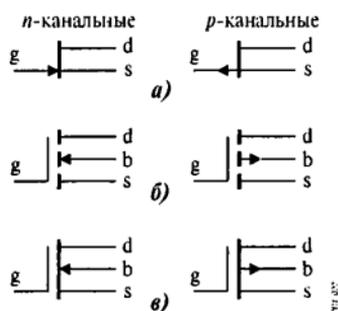


Рис. 1.27. Семейство полевых транзисторов: а — полевые транзисторы с  $p$ - $n$ -переходом в качестве затвора; б — МОП-транзисторы, работающие в режиме обогащения; в — МОП-транзисторы, работающие в режиме обеднения

1.23. ТРАНЗИСТОР С ОДНИМ *p-n*-ПЕРЕХОДОМ

Транзистор с одним *p-n*-переходом, или однопереходный транзистор, — это прибор с тремя выводами, состоящий из пластины *n*-типа, к которой с двух концов прикреплены контакты, как показано на Рис. 1.28а. Примерно в середине пластины с помощью диффузии сформирована область *p*-типа, называемая эмиттером.

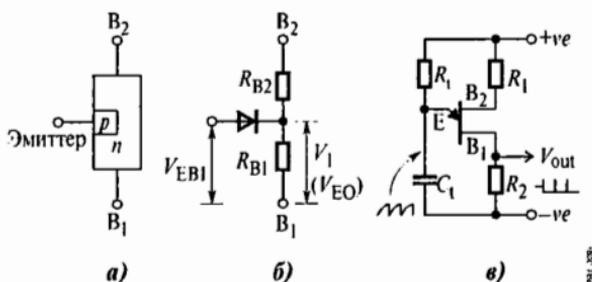


Рис. 1.28. Транзистор с одним переходом: а — конструкция; б — эквивалентная схема; в — релаксационный генератор

При разомкнутой цепи эмиттера напряжение  $V_1$  определяется распределением напряжения по пластине. Это напряжение обозначается  $V_{EO}$  (Рис. 1.28б). Если напряжение  $V_{EB1}$  больше, чем напряжение  $V_{EO}$ , то начнется инжекция дырок в пластину, которая приведет к увеличению проводимости, в результате уменьшится сопротивление  $R_{B1}$ . Это послужит причиной падения напряжения на переходе  $R_{B1}$  и  $R_{B2}$ . Таким образом, начнется эффект нарастания, который будет продолжаться до тех пор, пока  $R_{B1}$  не станет пренебрежимо малым.

На Рис. 1.28в показан релаксационный генератор на однопереходном транзисторе. Генераторы на однопереходных транзисторах получили широкое распространение в тиристорных схемах зажигания.

## 1.24. КРЕМНИЕВЫЙ УПРАВЛЯЕМЫЙ ВЕНТИЛЬ И СЕМЕЙСТВО ТИРИСТОРОВ

Кремниевым управляемым вентилем ранее называли тиристор, хотя термин «тиристор» используется также для описания целого семейства электронных компонентов. В сущности, кремниевый управляемый вентиль — это четырехслойный прибор с тремя выводами, его структура приведена на Рис. 1.29а, а соответствующий символ для обозначения в схемах — на Рис. 1.29б.

Если между анодом и катодом подать положительное напряжение, появится незначительный ток, так как центральный пе-

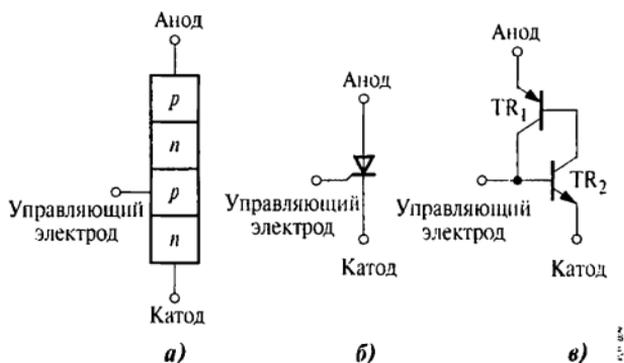


Рис. 1.29. Кремниевый управляемый вентиль: а — конструкция; б — символическое обозначение; в — транзисторный аналог

реход окажется обратносмещенным. При увеличении напряжения при некотором его значении начнется процесс лавинного нарастания тока, который будет ограничиваться исключительно сопротивлением внешней цепи. После того, как лавинный процесс начался, ток можно уменьшить до величины критического уровня, называемого «удерживающий ток».

Впрочем, лавинный процесс можно инициировать, подав на управляющий электрод положительный импульс. Как и ранее, после того, как ток начнет протекать, его можно остановить, лишь уменьшив ниже уровня удерживающего тока. На практике это можно сделать мгновенным соединением коротко анода и катода с помощью конденсатора или подобным образом.

Ток управляющего электрода, необходимый для запуска тиристора, достаточно мал. В типовом мощном тиристоре могут протекать токи свыше 50 А, при этом ток управляющего электрода составляет 20 мА.

Действие лавинного эффекта может быть рассмотрено на примере поведения пары транзисторов  $p-n-p/n-p-n$ , изображенной на Рис. 1.29в. После того, как положительный импульс поступит на управляющий электрод, оба транзистора  $TR_1$  и  $TR_2$  сразу же откроются. Такая схема называется катодно-управляемым тиристором. При использовании  $n-p-n-p$ -структуры получится анодно-управляемый тиристор. Чтобы запустить его, потребуется отрицательный управляющий импульс. Тиристоры могут проводить ток лишь в одном направлении. Если соединить в одном корпусе анодно-управляемый и катодно-управляемый тиристоры, получится прибор, проводящий ток в обоих направлениях, называемый двунаправленным тиристором, или триаком. Такая конструкция и ее символическое обозначение изображены на Рис. 1.30. Двунаправленные тиристоры широко применяются для управления схемами переменного тока.

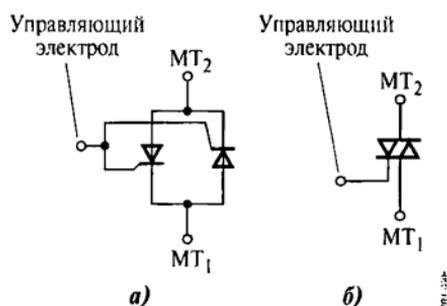


Рис. 1.30. Двунправленный тиристор: а — конструкция; б — символическое обозначение

Кроме того, можно изготовить четырехслойный прибор с двумя выводами, работа которого основана на лавинном эффекте, описанном выше. Этот прибор называется диак, или двунправленный диодный тиристор. Сопротивление между выводами  $MT_1$  и  $MT_2$  у такого прибора остается высоким до тех пор, пока не будет достигнуто напряжение начала лавинного процесса. После этого проводимость увеличится, напряжение упадет до низкого уровня, и ток будет ограничиваться исключительно внешним сопротивлением. Как и прежде, ток прекратится только при уменьшении его ниже уровня тока удержания.

## 1.25. ОБОЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

$C_{cb}$ ,  $C_{ce}$ ,  $C_{eb}$  — межэлектродная емкость (коллектор—база, коллектор—эмиттер, эмиттер—база).

$C_{ibo}$ ,  $C_{ieo}$  — входная емкость при холостом ходе на выходе (в схемах включения с общей базой, с общим эмиттером).

$C_{ibs}$ ,  $C_{ies}$  — входная емкость при коротком замыкании на выходе (в схемах включения с общей базой, с общим эмиттером).

$C_{obo}$ ,  $C_{o eo}$  — выходная емкость при холостом ходе на входе (в схемах включения с общей базой, с общим эмиттером).

$C_{obs}$ ,  $C_{oes}$  — выходная емкость при коротком замыкании на входе (в схемах включения с общей базой, с общим эмиттером).

$C_{rbs}$ ,  $C_{res}$  — емкость переходная при коротком замыкании (в схемах включения с общей базой, с общим эмиттером).

$C_{ic}$ ,  $C_{ie}$  — емкость обедненного слоя (коллектора, эмиттера).

$f_{hb}$ ,  $f_{he}$  — граничная частота передачи тока в режиме малого сигнала (в схемах включения с общей базой, с общим эмиттером).

$f_{max}$  — максимальная частота генерации.

$f_T$  — частота, на которой малосигнальный коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером равен единице.

$f_1$  — частота единичного коэффициента усиления по току.

$G_{PB}, G_{PE}$  — коэффициент усиления по мощности в режиме большого сигнала (в схемах включения с общей базой, с общим эмиттером).

$G_{pb}, G_{pe}$  — коэффициент усиления по мощности в режиме малого сигнала (в схемах включения с общей базой, с общим эмиттером).

$G_{TB}, G_{TE}$  — коэффициент усиления по мощности преобразователя в режиме большого сигнала (в схемах включения с общей базой, с общим эмиттером).

$G_{tb}, G_{te}$  — коэффициент усиления по мощности преобразователя в режиме малого сигнала (в схемах включения с общей базой, с общим эмиттером).

$h_{FB}, h_{FE}$  — статический коэффициент усиления тока (в схемах включения с общей базой, с общим эмиттером).

$h_{fb}, h_{fe}$  — малосигнальный коэффициент усиления тока в режиме короткого замыкания (в схемах включения с общей базой, с общим эмиттером).

$h_{ib}, h_{ie}$  — малосигнальное полное входное сопротивление в режиме короткого замыкания на выходе (в схемах включения с общей базой, с общим эмиттером).

$h_{ie(imag)}$  или  $\text{Im}(h_{ie})$  — мнимая часть малосигнального полного входного сопротивления в режиме короткого замыкания на выходе (в схеме включения с общим эмиттером).

$h_{ie(real)}$  или  $\text{Re}(h_{ie})$  — действительная часть малосигнального полного входного сопротивления в режиме короткого замыкания (в схеме включения с общим эмиттером).

$h_{ob}, h_{oe}$  — малосигнальная выходная полная проводимость при разомкнутой входной цепи (в схемах включения с общей базой, с общим эмиттером).

$h_{oe(imag)}$  или  $\text{Im}(h_{oe})$  — мнимая часть малосигнальной выходной полной проводимости при разомкнутой входной цепи (в схеме включения с общим эмиттером).

$h_{oe(real)}$  или  $\text{Re}(h_{oe})$  — действительная часть малосигнальной выходной полной проводимости при разомкнутой входной цепи (в схеме включения с общим эмиттером).

$h_{fb}, h_{fe}$  — малосигнальный коэффициент передачи с выхода на вход при разомкнутой выходной цепи.

$I_B, I_C, I_E$  — ток, значения постоянных составляющих.

$I_b, I_c, I_e$  — ток, среднеквадратические (действующие) значения составляющих переменного тока (в цепях базы, коллектора, эмиттера).

$i_B, i_C, i_E$  — ток, мгновенные полные значения (в цепях базы, коллектора, эмиттера).

$I_{BEV}$  — базовый ток отсечки, постоянный.

$I_{CBO}$  — коллекторный ток отсечки, постоянный, с открытым эмиттером.

$I_{E1E2(off)}$  — эмиттерный ток отсечки.

$I_{EBO}$  — эмиттерный ток отсечки, постоянный, с открытым коллектором.

$I_{EC(ofs)}$  — ток смещения эмиттер—коллектор.

$I_{ECS}$  — эмиттерный ток отсечки, постоянный, база коротко замкнута на коллектор.

$P_{IB}, P_{IE}$  — входная мощность в режиме большого сигнала (в схемах включения с общей базой, с общим эмиттером).

$P_{ib}, P_{ie}$  — входная мощность в режиме малого сигнала (в схемах включения с общей базой, с общим эмиттером).

$P_{OB}, P_{OE}$  — выходная мощность в режиме большого сигнала (в схемах включения с общей базой, с общим эмиттером).

$P_{ob}, P_{oe}$  — выходная мощность в режиме малого сигнала (в схемах включения с общей базой, с общим эмиттером).

$P_T$  — полная нерасктивная мощность, поступающая на все выводы.

$r_b C_c$  — постоянная времени цепи коллектора.

$r_{CE(sat)}$  — сопротивление насыщения, коллектор—эмиттер.

$r_{ete2(on)}$  — эмиттерное сопротивление в открытом состоянии в режиме малого сигнала.

$R_\Lambda$  — тепловое сопротивление.

$T_j$  — температура перехода.

$t_d$  — время задержки.

$t_f$  — время спада.

$t_{off}$  — время выключения.

$t_{on}$  — время включения.

$t_p$  — длительность импульса.

$t_r$  — время нарастания.

$t_s$  — время накопления заряда.

$t_w$  — средняя длительность импульса.

$V_{BB}, V_{CC}, V_{EE}$  — напряжение питания постоянного тока в цепи базы, коллектора, эмиттера.

$V_{BC}, V_{BE}, V_{CB}, V_{CE}, V_{EB}, V_{EC}$  — напряжение постоянного тока или среднее значение (база—коллектор, база—эмиттер, коллектор—база, коллектор—эмиттер, эмиттер—база, эмиттер—коллектор).

$v_{bc}, v_{be}, v_{cb}, v_{ce}, v_{eb}, v_{ec}$  — напряжение, мгновенное значение переменннй составляющей (база—коллектор, база—эмиттер, коллектор—база, коллектор—эмиттер, эмиттер—база, эмиттер—коллектор).

$V_{BR(CBO)}$  (ранее  $V_{V_{CBO}}$ ) — напряжение пробоя коллектор—база, с открытым эмиттером.

$V_{RT}$  — напряжение смыкания базы.

$y_{ib}, y_{ie}$  — полная проводимость в прямом направлении при коротком замыкании в режиме малого сигнала (в схемах включения с общей базой, с общим эмиттером).

$y_{ib}, y_{ie}$  — полная входная проводимость при коротком замыкании в режиме малого сигнала (в схемах включения с общей базой, с общим эмиттером).

$y_{ie(imag)}$  или  $\text{Im}(y_{ie})$  — мнимая составляющая входной проводимости при коротком замыкании в режиме малого сигнала (в схеме включения с общим эмиттером).

$Y_{ie(\text{real})}$  или  $\text{Re}(y_{ie})$  — действительная составляющая входной проводимости при коротком замыкании в режиме малого сигнала (в схеме включения с общим эмиттером).

$Y_{ob}$ ,  $Y_{oe}$  — полная выходная проводимость при коротком замыкании в режиме малого сигнала (в схемах включения с общей базой, с общим эмиттером).

$Y_{oe(\text{imag})}$  или  $\text{Im}(y_{oe})$  — мнимая составляющая выходной проводимости при коротком замыкании в режиме малого сигнала (в схеме включения с общим эмиттером).

$Y_{oe(\text{real})}$  или  $\text{Re}(y_{oe})$  — действительная составляющая выходной проводимости при коротком замыкании в режиме малого сигнала (в схеме включения с общим эмиттером).

$Y_{rb}$ ,  $Y_{re}$  — полная проводимость в обратном направлении при коротком замыкании в режиме малого сигнала (в схемах включения с общей базой, с общим эмиттером).

## 1.26. ОБОЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОДНОПЕРЕХОДНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

$\eta$  — коэффициент передачи однопереходного транзистора.

$I_{B2(\text{mod})}$  — межбазовый модулированный ток.

$I_{EB2O}$  — обратный ток эмиттера.

$I_p$  — ток пика.

$I_v$  — ток впадины.

$r_{BB}$  — межбазовое сопротивление.

$T_j$  — температура перехода.

$t_p$  — длительность импульса (период повторения импульсов).

$t_w$  — средняя длительность импульса.

$V_{B2B1}$  — межбазовое напряжение.

$V_{EB1(\text{sat})}$  — напряжение на эмиттере при насыщении.

$V_{OB1}$  — пиковое напряжение на базе 1.

$V_p$  — напряжение пика.

$V_v$  — напряжение впадины.

## 1.27. ОБОЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

$b_{is}$ ,  $b_{os}$ ,  $b_{rs}$  — реактивная проводимость в режиме малого сигнала в схеме включения с общим истоком (прямая, входная, выходная, обратная).

$C_{ds}$  — емкость сток—исток.

$C_{du}$  — емкость сток—подложка.

$C_{iss}$  — входная емкость при коротком замыкании в схеме включения с общим истоком.

$C_{oss}$  — выходная емкость при коротком замыкании в схеме включения с общим истоком.

$C_{rss}$  — емкость при обратном включении в режиме короткого за-

мыкания в схеме включения с общим истоком.

$g_{fs}$ ,  $g_{is}$ ,  $g_{os}$ ,  $g_{rs}$  — проводимость (прямая, входная, выходная, обратная) в режиме малого сигнала.

$G_{pg}$ ,  $G_{ps}$  — вносимое усиление мощности в режиме малого сигнала (в схемах включения с общим затвором, с общим истоком).

$G_{ig}$ ,  $G_{is}$  — коэффициент усиления мощности преобразователя в режиме малого сигнала (в схемах включения с общим затвором, с общим истоком).

$I_{D(off)}$  — ток стока в режиме отсечки.

$I_{D(on)}$  — ток стока в открытом состоянии.

$I_{DSS}$  — ток стока при нулевом напряжении на затворе.

$I_G$  — ток затвора, постоянный.

$I_{GF}$  — прямой ток затвора.

$I_{GR}$  — обратный ток затвора.

$I_{GSS}$  — обратный ток затвора, сток и исток соединены накоротко.

$I_{GSSF}$  — прямой ток затвора, сток и исток соединены накоротко.

$I_{GSSR}$  — обратный ток затвора, сток и исток соединены накоротко.

$I_n$  — эквивалентный ток шумов, приведенный ко входу.

$I_s$  — ток истока, постоянный.

$I_{s(off)}$  — ток истока в режиме отсечки.

$I_{SDS}$  — ток истока при нулевом напряжении на затворе.

$r_{ds(on)}$  — сопротивление сток—исток в открытом состоянии (при открытом канале) в режиме малого сигнала.

$r_{DS(on)}$  — сопротивление сток—исток в открытом состоянии (при открытом канале) по постоянному току.

$t_{d(on)}$  — время задержки при включении.

$t_f$  — время спада.

$t_{off}$  — время выключения.

$t_{on}$  — время включения.

$t_p$  — длительность импульса (период повторения импульсов).

$t_r$  — время нарастания.

$t_w$  — средняя длительность импульса.

$V_{(BR)GSS}$  — напряжение затвор—исток при пробое.

$V_{(BR)GSSF}$  — прямое напряжение затвор—исток при пробое.

$V_{(BR)GSSR}$  — обратное напряжение затвор—исток при пробое.

$V_{DD}$ ,  $V_{GG}$ ,  $V_{SS}$  — напряжение питания постоянного тока (сток, затвор, исток).

$V_{DG}$  — напряжение сток—затвор.

$V_{DS}$  — напряжение сток—исток.

$V_{DS(on)}$  — напряжение сток—исток в открытом состоянии (при открытом канале).

$V_{DU}$  — напряжение сток—подложка.

$V_{GS}$  — напряжение затвор—исток.

$V_{GSF}$  — прямое напряжение затвор—исток.

$V_{GSR}$  — обратное напряжение затвор—исток.

$V_{GS(off)}$  — напряжение затвор—исток в режиме отсечки.

$V_{GS(th)}$  — пороговое напряжение затвор—исток.

$V_{GU}$  — напряжение затвор—подложка.

$V_n$  — эквивалентное напряжение шумов, приведенное ко входу.

$V_{SU}$  — напряжение исток—подложка.

$Y_{is}$  — полная проводимость в прямом направлении при коротком замыкании в режиме малого сигнала по схеме включения с общим истоком.

$Y_{is}$  — полная входная проводимость при коротком замыкании в режиме малого сигнала по схеме включения с общим истоком.

$Y_{os}$  — полная выходная проводимость при коротком замыкании в режиме малого сигнала по схеме включения с общим истоком.

## 1.28. ОБОБЩЕННЫЕ СВЕДЕНИЯ О ТРАНЗИСТОРАХ И ДИОДАХ

Список используемых обозначений:

БТ — биполярный транзистор

Э (E) — эмиттер (emitter)

Б (B) — база (base)

К (C) — коллектор, катод (collector)

N/G — германиевый *n-p-n*-транзистор

P/G — германиевый *p-n-p*-транзистор

N/S — кремниевый *n-p-n*-транзистор

P/S — кремниевый *p-n-p*-транзистор

ПТ (FET) — полевой транзистор (field effect transistor)

ОТ — однопереходной транзистор

З (G) — затвор (gate)

И (S) — исток (source)

С (D) — сток (drain)

Тир. (Th) — тиристор (thyristor)

Сим. — симистор

А (A) — анод (anode)

К (C) — катод (cathode)

У'Э (G) — управляющий электрод (gate)

ВЧ (RF) — высокая частота (radio frequency)

ЗЧ (AF) — звуковая частота (audio frequency)

<sup>(a)</sup> — при условии

### 1.28.1. Биполярные транзисторы

Тип	Корпус	Полярность/ Материал	$V_{ce}$	$V_{cb}$	$I_C$ [мА]	$V_{ces}$	$I_C$ [мА]	$h_{FE}$	$I_C$ [мА]	$f_t$ [МГц]	$I_C$ [мА]	$P_{tot}$ [мВт]	Применение	Аналоги
AC107	GT3	N/G	15	15	10			30...160	3	2	3	80	Маломощные схемы для аудиоаппаратуры	AC125-2N406
AC125	TO-1	P/G	12	32	100			100	2	1.3	10	216	Усилитель мощности звуковой частоты	2N406
AC126	TO-1	P/G	12	32	100			140	2	1.7	10	216	Усилитель мощности звуковой частоты	2N406
AC127	TO-1	N/G	12	32	500			105	50	1.5	10	340	Выходные каскады звуковой частоты	AC187
AC128	TO-1	P/G	16	32	1000	0.6	1 А	60...175	300	1	10	260	Выходные каскады звуковой частоты	AC188
AC132	TO-1	P/G	12	32	200	0.35	200	115	50	1.3	10	216	Выходные каскады звуковой частоты	AC188
AC187	TO-1	N/G	15	25	2000	0.8	1 А	100...500	300	1	10	800	Выходные каскады звуковой частоты	AC127
AC188	TO-1	P/G	15	25	2000	0.6	1 А	100...500	300	1	10	220	Выходные каскады звуковой частоты	AC128
AD149	TO-3	P/G	30	50	3500	0.7	3 А	30...100	1 А	0.3	500	32 Вт	Выходные каскады общего применения	OC26, AU106
AD161	PT1	N/G	20	32	3000	0.6	1 А	80...320	500	0.02	300	4 Вт	Звуковой усилитель	AD165, 2N1218, 2N1292
AD162	PT1	P/G	20	32	3000	0.4	1 А	80...320	500	0.015	300	6 Вт	Звуковой усилитель	AD143, AD152, AD427
AF114	TO-7	P/G	15	32	10			150	1	75	1	75	ВЧ-усилитель	AF144, AP194, 2N3127
AP115	TO-7	P/G	15	32	10			150	1	75	1	75	ВЧ-усилитель	AF146, AF185, 2N2273
AF116	TO-7	P/G	15	32	10			150	1	75	1	75	ВЧ-усилитель	AP135, AF136, 2N3127
AF117	TO-7	P/G	15	32	10			150	1	75	1	75	ВЧ-усилитель	AF136, AP197, 2N5354
AF118	TO-7	P/G	20	70	30	5	30	35	10	175	10	375	СВЧ (МВ) усилитель	BPW20

(продолжение)

Тип	Корпус	Полярность/ Материал	$V_{ce}$	$V_{cb}$	$I_C$ [mA]	$V_{ces}$	$I_C$ [mA]	$h_{FE}$	$I_C$ [mA]	$f_t$ [МГц]	$I_C$ [mA]	$P_{tot}$ [мВт]	Применение	Аналоги
ASZ15	TO-3	P/G	60	100	10 A	0.4	10 A	20...55	1 A	0.2	1 A	30 Вт	Переключатель для больших токов	OC28
ASZ16	TO-3	P/G	32	60	10 A	0.4	10 A	45...130	1 A	0.25	1 A	30 Вт	Переключатель для больших токов	OC29, AD138, AD723
ASZ17	TO-3	P/G	32	60	10 A	0.4	10 A	25...75	1 A	0.22	1 A	30 Вт	Переключатель для больших токов	OC35, AD424
ASZ18	TO-3	P/G	32	100	10 A	0.4	10 A	30...110	1 A	0.22	1 A	30 Вт	Переключатель для больших токов	OC36
BC107	TO-18	N/S	45	50	100	0.2	100	110...450	2	300	10	300	Малосигнальный усилитель	BC207, BC147, BC182
BC108	TO-18	N/S	20	30	100	0.2	100	110...800	2	300	10	300	Малосигнальный усилитель	BC208, BC148, BC183
BC109	TO-18	N/S	20	30	100	0.2	100	200...800	2	300	10	300	Малозумящий малосигнальный усилитель	BC209, BC149, BC184
BC109C	TO-18	N/S	20	30	100	0.2	100	420...800	2	300	10	300	Малозумящий, с высоким коэффициентом усиления	BC209C, BC184C, BC149C
BC157	SOT-25	P/S	45	50	100	0.25	100	75...260	2	150	10	300	Малосигнальный усилитель	BC177, BC307, BC212
BC158	SOT-25	P/S	25	30	100	0.25	100	75...500	2	150	10	300	Малосигнальный усилитель	BC178, BC308, BC213
BC159	SOT-25	P/S	20	25	100	0.25	100	125...500	2	150	10	300	Малосигнальный усилитель	BC179, BC309, BC214
BC177	TO-18	P/S	45	50	100	0.25	100	75...260	2	150	10	300	Малосигнальный усилитель	BC157, BC307, BC212
BC178	TO-18	P/S	25	30	100	0.25	100	75...500	2	150	10	300	Малосигнальный усилитель	BC158, BC308, BC213

(продолжение)

Тип	Корпус	Полярность/ Материал	$V_{ce}$	$V_{cb}$	$I_C$ [мА]	$V_{ces}$	$I_C$ [мА]	$h_{FE}$	$I_C$ [мА]	$f_t$ [МГц]	$I_C$ [мА]	$P_{tot}$ [мВт]	Применение	Аналоги
BC179	TO-18	P/S	20	25	100	0.25	100	125...500	2	150	10	300	Малосигнальный усилитель	BC159, BC309, BC214
BC182(L)	SOT-30 (TO-92/74)	N/S	50	10	200	0.25	10	100...480	2	150	10	300	Малосигнальный усилитель	BC107, BC207, BC147
BC183(L)	SOT-30 (TO-92/74)	N/S	30	45	200	0.25	10	100...850	2	150	10	300	Малосигнальный усилитель	BC108, BC208, BC148
BC184(L)	SOT-30 (TO-92/74)	N/S	30	45	200	0.25	10	250...850	2	150	10	300	Малозумящий усилитель с высоким коэффициентом усиления	BC109, BC209, BC149
BC186	TO-18	P/S	25	40	200	0.5	50	40...200	2	50	50	300	Универсальный усилитель	BC213, BC177, BC158
BC207	TO-106	N/S	45	50	200	0.25	10	110...220	2	150	10	300	Малосигнальный усилитель	BC107, BC182, BC147
BC208	TO-106	N/S	20	25	200	0.25	10	110...800	2	150	10	300	Малосигнальный усилитель	BC108, BC183, BC148
BC209	TO-106	N/S	20	25	200	0.25	10	200...800	2	150	10	300	Малозумящий усилитель с высоким коэффициентом усиления	BC109, BC184, BC149
BC212(L)	SOT-30 (TO-92/74)	P/S	50	60	200	0.25	10	60...300	2	200	10	300	Малосигнальный усилитель	BC307, BC157, BC177
BC213(L)	SOT-30 (TO-92/74)	P/S	30	45	200	0.25	10	80...400	2	200	10	300	Малосигнальный усилитель	BC308, BC158, BC178
BC214(L)	SOT-30 (TO-92/74)	P/S	30	45	200	0.25	10	80...400	2	200	10	300	Малосигнальный усилитель	

(продолжение)

Тип	Корпус	Полярность/ Материал	$V_{ce}$	$V_{cb}$	$I_C$ [мА]	$V_{ces}$	$I_C$ [мА]	$h_{FE}$	$I_C$ [мА]	$f_t$ [МГц]	$I_C$ [мА]	$P_{tot}$ [мВт]	Применение	Аналоги
BC327	TO-92	P/S	45	—	1000	0.7	500	100...600	100	100	10	800	В выходных каскадах	2N3638
BC337	TO-92	N/S	45	—	1000	0.7	500	100...600	100	200	10	800	В выходных каскадах	2N3642
BC547	SOT-30	N/S	45	50	100	0.6	100	110...800	2	300	10	500	Малосигнальный усилитель	BC107, BC207, BC147
BC548	SOT-30	N/S	30	30	100	0.6	100	110...800	2	300	10	500	Малосигнальный усилитель	BC108, BC208, BC148
BC549	SOT-30	N/S	30	30	100	0.6	100	200...800	2	300	10	500	Маломощный малосигнальный усилитель	BC109, BC209, BC149
BC549C	SOT-30	N/S	30	30	100	0.6	100	420...800	2	300	10	500	Маломощный усилитель с высоким коэффициентом усиления	BC109C, BC149C
BC635	TO-92	N/S	45	45	1 А	0.5	500	40...250	150	130	500	1 Вт	Выходные каскады звуковой частоты	BC639
BC636	TO-92	P/S	45	45	1 А	0.5	500	40...250	150	130	500	1 Вт	Выходные каскады звуковой частоты	BC640
BC639	TO-92	N/S	80	100	1 А	0.5	500	40...160	150	130		1 Вт	Выходные каскады звуковой частоты	MU9610, TT801
BC640	TO-92	P/S	80	100	1 А	0.5	500	40...160	150	130		1 Вт	Выходные каскады звуковой частоты	MU9660, TT800
BCY70	TO-18	P/S	40	50	200	0.5	50	50	10	250	50	350	Универсальный	BC212
BCY71	TO-18	P/S	45	45	200	0.5	50	100...600	10	200	50	350	Универсальный	BC212
BCY72	TO-18	P/S	25	25	200	0.5	50	50	10	200	50	350	Универсальный	BC213
BD137	TO-120	N/S	60	60	1 А	0.5	500	40...160	150	250	500	8 Вт	Универсальные выходные каскады	BD139
BD138	TO-126	P/S	60	60	1 А	0.5	500	40...160	150	75	500	8 Вт	Универсальные выходные каскады	BD140
BD139	TO-126	N/S	60	100	1 А	0.5	500	40...160	150	250	500	8 Вт	Универсальные выходные каскады	40409
BD140	TO-126	P/S	80	100	1 А	0.5	500	40...160	150	75	500	8 Вт	Универсальные выходные каскады	40410

(продолжение)

Тип	Корпус	Полярность/ Материал	$V_{ce}$	$V_{cb}$	$I_C$ [mA]	$V_{ces}$	$I_{C\bar{}}$ [mA]	$h_{FE}$	$I_C$ [mA]	$f_i$ [МГц]	$I_C$ [mA]	$P_{tot}$ [мВт]	Применение	Аналоги
BD262	TO-126	P/S	60	60	4 A	2.5	1.5A	750	15A	7	1.5A	36 Вт	Выходные каскады на паре Дарлингтона с высоким коэффициентом усиления	BD266
BD263	TO-126	N/S	60	80	4 A	2.5	1.5A	750	15A	7	1.5A	36 Вт	Выходные каскады на паре Дарлингтона с высоким коэффициентом усиления	BD267
BD266A	TO-220	P/S	80	80	8 A	2	3A	750	3A	7		60 Вт	Выходные каскады на паре Дарлингтона с высоким коэффициентом усиления	
BD267A	TO-220	N/S	80	100	8 A	2	3A	750	3A	7		60 Вт	Выходные каскады на паре Дарлингтона с высоким коэффициентом усиления	
BDX64A	TO-3	P/S	80	80	12 A	2.5	5A	1000	8A	7	5 A	117 Вт	Выходные каскады на паре Дарлингтона	
BDX65A	TO-3	N/S	80	80	12 A	2.5	5A	1000	8A	7	5 A	117 Вт	Выходные каскады на паре Дарлингтона	
BDY20	TO-3	N/S	60	100	15 A	1.1	4A	20...70	4A	1	4 A	115	Мощные выходные каскады	2N3055
BF115	TO-72	N/S	30	50	30			45...165	1	230	1	145	СВЧ (МВ) усилитель	
BF167	TO-72	N/S	30	40	25			26	4	350	4	130	Усилители блока промежуточной частоты в телевизоре	
BF173	TO-72	N/S	25	40	25			37	7	550	5	230	Усилители блока промежуточной частоты в телевизоре	
BF177	TO-39	N/S	60	100	50			20	15	120	10	795	ТВ-видеоусилитель	BF336
BF178	TO-39	N/S	115	185	50			20	30	120	10	1.7 Вт	ТВ-видеоусилитель	BF336
BF179	TO-39	N/S	115	250	50			20	20	120	10	1.7 Вт	ТВ-видеоусилитель	BF336
BF180	TO-72	N/S	20	30	20			13	2	675	2	150	Усилитель блока ДМВ	BF200
BF184	TO-72	N/S	20	30	30			75...750	1	300	1	145	ВЧ-усилитель	
BF185	TO-72	N/S	20	30	30			34...140	1	220	1	145	ВЧ-усилитель	BF195

(продолжение)

Тип	Корпус	Полярность/ Материал	$V_{ce}$	$V_{cb}$	$I_C$ [mA]	$V_{ces}$	$I_C$ [mA]	$h_{FE}$	$I_C$ [mA]	$f_i$ [МГц]	$I_C$ [mA]	$P_{tot}$ [мВт]	Применение	Аналоги
BF194	SOT-25/1	N/S	20	30	30			65...220	1	260	1	250	ВЧ-усилитель	
BF195	SOT-25/1	N/S	20	30	30			35...125	1	200	1	250	ВЧ-усилитель	BF185
BF200	TO-72	N/S	20	30	20			15	3	650	3	150	Усилитель блока МВ	BF180
BP336	TO-39	N/S	180	185	100			20...60	30	130		3 Вт	Видеоусилитель	
BF337	TO-39	N/S	200	300	100			20...60	30	130		3 Вт	Видеоусилитель	
BF338	TO-39	N/S	225	250	100			20...60	30	130		3 Вт	Видеоусилитель	
BFY50	TO-39	N/S	35	80	1 А	2	150	30	150	60	50	2.86 Вт	Универсальный	
BFY51	TO-39	N/S	30	60	1 А	0.35	150	40	150	50	50	2.86 Вт	Универсальный	
BFY52	TO-39	N/S	20	40	1 А	0.35	150	60	150	50	50	2.86 Вт	Универсальный	
MJ2501	TO-3	P/S	80	80	10 А	2	5 А	1000	5 А			150 Вт	Выходные каскады на паре Дарлингтона	
MJ2955	TO-3	P/S	60	70	15 А	1.1	4 А	20...70	4 А	4	500	115 Вт	Выходные каскады высокой мощности	2N4908, 2N4909, 2N5871
MJ3001	TO-3	N/S	80	80	10 А	2	5 А	1000	5 А			150 Вт	Выходные каскады на паре Дарлингтона	
MJE2955	90-05	P/S	60	70	10 А	1.1	4 А	20...70	4 А	2	500	90 Вт	Выходные каскады высокой мощности	TIP2955
MJE3055	90-05	N/S	60	70	10 А	1.1	4 А	20...70	4 А	2	500	90 Вт	Высокомощные схемы	TIP3055
MU9610	152	N/S	30	40	2 А	0.4	1.5А	80...400	350	70	250	1 Вт	Выходные каскады	TT801
MU9611	152-01	N/S	30	40	2 А	0.4	1.5А	80...400	350	70	250	1 Вт	Выходные каскады	TT801
MU9660	152	P/S	30	40	2 А	0.4	1.5А	80...400	350	70	250	1 Вт	Выходные каскады	TT800
MU9661	152.01	P/S	30	40	2 А	0.4	1.5А	80...400	350	70	250	1 Вт	Выходные каскады	TT800
NSD106	TO-202	N/S	100	140		2.9	100	50...150	100	80	50		Усилитель мощности/выходной каскад	
NSD206	TO-202	P/S	100	100		2.1	100	50...150	100	150	50		Усилитель мощности/выходной каскад	
OC26	TO-3	P/G	30	50	3.5 А	0.7	3А	30...100	1 А	3	500	32 Вт	Универсальный вых. каскад	AD149

(продолжение)

Тип	Корпус	Полярность/ Материал	$V_{ce}$	$V_{cb}$	$I_C$ [мА]	$V_{ces}$	$I_C$ [мА]	$h_{FE}$	$I_C$ [мА]	$f_t$ [МГц]	$I_C$ [мА]	$P_{tot}$ [мВт]	Применение	Аналоги
OC28	ТО-3	P/G	60	100	10 А	0.4	10 А	20...55	1 А	2	1 А	30 Вт	Переключатель для больших токов	ASZ15
OC44N	ТО-1	P/G	5	15	10			45...225	1	7.5	1	85	ВЧ (радио) усилитель	AF125, AF135, AF172
OC45	GT-3	P/G	5	15	10			25...125	1	3	3	85	ВЧ (радио) усилитель	AF132, AF185, AF196
OC70	GT-3	P/G	10	30	50			30	5	5		125	Универсальный усилитель	AC121, AC126, 2N1190
OC71	GT-3	P/G	10	30	50			30...75	3	6		125	Универсальный усилитель	AC126, 2N2429
OC72	GT-6	P/G	16	32	250			45...120	10	35		165	Вых. каскад звуковой частоты	AC122, AC125, AC162
OC74N	ТО-1	P/G	10	20	300	6	300	60...150	50	1		550	Вых. каскад звуковой частоты	AC125, AC180, AC192
OC75	GT-3	P/G	10	30	50			60...130	3	1		125	Универсальный усилитель	AC173, AC192
TIP31B	TOP-66	N/S	80	80	3 А	1.2	3 А	20	500	3	500	40 Вт	Мощный переключатель	
TIP32B	TOP-66	P/S	80	80	3 А	1.2	3 А	20	500	3	500	40 Вт	Мощный переключатель	
TIP2955	TOP-3	P/S	70	100	15 А	1.1	4 А	20	4 А	8		90 Вт	Мощный переключатель	MJE2955
TIP3055	TOP-3	N/S	70	100	15 А	1.1	4 А	20	4 А	8		90 Вт	Мощный переключатель	MJE3055
2N301	ТО-3	P/G	32	40	3 А			50	1 А	2	1 А	11 Вт	Вых. каскад звуковой частоты	AT1138, OC26
2N706A	ТО-18	N/S	15	25	200			20	10	200		300	Переключатель с высоким быстродействием	
2N2926	ТО-92	N/S	25	25	100			150	2	100		200	Универсальный	BC108 и т.п.
2N3053	ТО-39	N/S	40	60	700	1.4	150	50...250	150	100	50	2.86 Вт	Универсальный переключатель	BD137

(продолжение)

Тип	Корпус	Полярность/ Материал	$V_{ce}$	$V_{cb}$	$I_C$ [мА]	$V_{ces}$	$I_C$ [мА]	$h_{FE}$	$I_C$ [мА]	$f_c$ [МГц]	$I_C$ [мА]	$P_{tot}$ [мВт]	Применение	Аналоги
2N3054	ТО-66	N/S	55	90	4 А	1	200	25	500	8	200	25 Вт	Вых. каскад звуковой частоты	TIP31B
2N3055	ТО-3	N/S	60	90	15 А	1.1	4 А	20	4 А	8	1 А	115 Вт	Вых. каскад/переключатель	BDY20
2N3563	ТО-106	N/S	12	30	50			20...200	8	600	8	200	ВЧ (радио) ПЧ-усилитель	BF173
2N3564	ТО-106	N/S	15	30	100	3	20	20...500	15	400	15	200	ВЧ (радио) ПЧ-усилитель	BF167
2N3565	ТО-106	N/S	25	30	50	35	1	150...600	1	40	1	200	Схемы с низким уровнем сигналов	BC108, BC208
2N3566	ТО-105	N/S	30	40	200	1	100	150...600	10	40	30	300	Универсальный/переключатель	BC183
2N3567	ТО-105	N/S	40	80	500	25	150	40...120	1	60	50	300	Универсальный/переключатель	BC337
2N3568	ТО-105	N/S	60	80	500	25	150	40...120	1	60	50	300	Универсальный/переключатель	
2N3569	ТО-105	N/S	40	80	500	25	150	100...300	1	60	50	300	Универсальный/переключатель	
2N3638	ТО-105	P/S	25	25	500	25	50	30	50	100	50	300	Универсальный/переключатель	BC327
2N3638A	ТО-105	P/S	25	25	500	25	50	100	50	150	50	300	Универсальный/переключатель	BC558
2N3640	ТО-106	P/S	12	12	80	2	10	30...120	10	300	10	200	Переключатель в режиме насыщения	
2N3641	ТО-105	N/S	30	60	500	22	150	40...120		250	50	350	Универсальный/переключатель	BC337
2N3642	ТО-105	N/S	45	60	500	22	150	40...120	150	250	50	350	Универсальный/переключатель	BC337
2N3643	ТО-105	N/S	30	60	500	22	150	100...300	150	250	50	350	Универсальный/переключатель	BC337
2N3644	ТО-105	P/S	45	45	500	1	300	115...300	50	200	20	300	Универсальный/переключатель	BC327
2N3645	ТО-105	P/S	60	60	500	1	300	115...300	500	200	20	300	Универсальный/переключатель	
2N3702	ТО-92	P/S	25	40	200	25	50	60...300	50	100	50	360	Универсальный/переключатель	BC213
2N3904	ТО-92	N/S	40	60	200			100...300	1 мкА			310	Схемы с низким уровнем сигналов	BC167A, BF194
2N4250	ТО-106	P/S	40	40	100	25	10	250...400	1	50		200	Схемы с низким уровнем сигналов	BC559
2N4258	ТО-106	P/S	12	12	50	5	50	30...120	10	700	10	200	Переключатель в режиме насыщения	

(окончание)

Тип	Корпус	Полярность/ Материал	$V_{ce}$	$V_{cb}$	$I_C$ [мА]	$V_{ces}$	$I_C$ [мА]	$h_{FE}$	$I_C$ [мА]	$f_t$ [МГц]	$I_C$ [мА]	$P_{tot}$ [мВт]	Применение	Аналоги
2N4292	ТО-92	N/S	15	30	50	6	10	20	3	600	4	200	Переключатель в режиме насыщения	
2N4403	ТО-92	P/S	40	40	600			100...300	10			310	Универсальный	BC307A, 2N2904
2N5589	MT-71C	N/S	18	36	600			5	100	175	3 Вт	15 Вт	ВЧ передвижная радиосвязь	
2N5590	MT-72C	N/S	18	36	2 А			5	250	175	10 Вт	30 Вт	ВЧ передвижная радиосвязь	
2N5591	MT-72C	N/S	18	36	4 А			5	500	175	25 Вт	70 Вт	ВЧ передвижная радиосвязь	
2N5871	ТО-3	P/S	60	60	7 А	1	4 А	20...100	2.5 А	4	250	100 Вт	Мощные схемы	2N5872, 2N4908
40250	ТО-66	N/S	50	50	4 А	1.5	1.5 А	25	100	1		29 Вт	Мощные схемы	2N3054
40408	ТО-5	N/S	80		700	1.4	150	40...200	200	100		1 Вт	Мощные схемы	BC639
40409	ТО-39	N/S	80		700	1.4	150	50...250	150	100		3 Вт	Мощные схемы	BD139
40410	ТО-39	P/S	80		700	1.4	150	50...250	150	100		3 Вт	Мощные схемы	BD140

### 1.28.2. Полевые транзисторы

Тип	Корпус	$V_{GSS}$ [В] @ $I_G$		$V_{GS(OFF)}$ [В] @ $V_{DS}$ @ $I_D$				$I_{DSS}$ [мА] @ $V_{DS}$ @ $V_{GS}$				$Y_{\delta}$ [мкМО] @ $V_{DS}$			$P_{tot}$ [мВт]	Применение/примечания
		$V_{GSS}$ [В]	$I_G$ [мкА]	min	max	$V_{DS}$ [В]	$I_D$ [мА]	min	max	$V_{DS}$ [В]	$V_{GS}$ [В]	min	max	$V_{DS}$ [В]		
MPF102	ТО-92	25	10	-5	-8	15	2	2	20	15	0	2000	7500	15	310	n-канальный ПТ с управляющим p-n-переходом — СВЧ
MPF103	ТО-92	25	1		-6	15	1	1	5	15	0	1000	5000	15	310	n-канальный ПТ с управляющим p-n-переходом — переключатели ЗЧ
MPF104	ТО-92	25	1		-7	15	1	2	9	15	0	1500	5500	15	310	n-канальный ПТ с управляющим p-n-переходом — переключатели ЗЧ

Тип	Корпус	$V_{GS} [B] @ I_G$		$V_{GS(OFF)} [B] @ V_{DS} @ I_D$				$I_{DSS} [mA] @ V_{DS} @ V_{GS}$				$Y_b [мкМО] @ V_{DS}$			$P_{tot} [мВт]$	Применение/примечания
		$V_{GS} [B]$	$I_G [мкА]$	min	max	$V_{DS} [B]$	$I_D [мА]$	min	max	$V_{DS} [B]$	$V_{GS} [B]$	min	max	$V_{DS} [B]$		
MPF105	TO-92	25	1		-8	15	10	4	16	15	0	2000	6000	15	310	<i>n</i> -канальный ПТ с управляющим <i>p-n</i> -переходом — переключатели ЗЧ
MPF106	TO-92	25	1	-5	-4	15	10	4	10	15	0	2500	7000	15	310	<i>n</i> -канальный ПТ с управляющим <i>p-n</i> -переходом — ВЧ (радио)
2N5457	TO-92	25	1	-5	-6	15	10	1	5	15	0	1000	5000	15	310	<i>n</i> -канальный ПТ с управляющим <i>p-n</i> -переходом — переключатели ЗЧ
2N5458	TO-92	25	1	-1	-7	15	10	2	6	15	0	1500	5500	15	310	<i>n</i> -канальный ПТ с управляющим <i>p-n</i> -переходом — переключатели ЗЧ
2N5459	TO-92	25	1	-8	-2	15	10	4	9	15	0	2000	6000	15	310	<i>n</i> -канальный ПТ с управляющим <i>p-n</i> -переходом — переключатели ЗЧ
2N5484	TO-92	25	1	-3	-3	15	10	1	5	15	0	3000	6000	15	310	<i>n</i> -канальный ПТ с управляющим <i>p-n</i> -переходом — СВЧ (МВ)
2N5485	TO-92	25	1	-5	-4	15	10	4	10	15	0	3500	7000	15	310	<i>n</i> -канальный ПТ с управляющим <i>p-n</i> -переходом — СВЧ (МВ)
BFW10	TO-72	30						8	20	15	0		6500		300	<i>n</i> -канальный ПТ с управляющим <i>p-n</i> -переходом — ЗЧ/ВЧ
BFW11	TO-72	30						4	10	15	0		6500		300	<i>n</i> -канальный ПТ с управляющим <i>p-n</i> -переходом — ЗЧ/ВЧ
BFW61	TO-72	25						2	20	15	0		6500		300	<i>n</i> -канальный ПТ с управляющим <i>p-n</i> -переходом — ЗЧ/ВЧ
MPF121	206	7.20			4	15		5	30	15	0	10000	20000	15	500	<i>n</i> -канальный двухзатворный ПТ — СВЧ (МВ)
2N4342	TO-106	20			5	10		12	30	10	0		6000	10	180	<i>p</i> -канальный ПТ с управляющим <i>p-n</i> -переходом — ЗЧ, переключатели

## 1.28.3. Мощные МОП-транзисторы (ДМОП\* и ВМОП\*\*)

Тип	Корпус	Тип канала	$P_{tot}$ [Вт]	$V_{ds}$ [В]	$V_{dg}$ [В]	$V_{gs(1к)}$ [В]	$I_{gss}$ [мкА]	$I_{dss}$ [мкА]	$gfs$ [мСм]	$I_g$ (max) [А]
IRF120	TO-3	n	40	100	100	4	0.1	1 мА	1500	6
IRF130	TO-3	n	75	100	100	4	0.1	1 мА	3000	12
IRP9130	TO-3	p	75	-100	-100	-4	-0.1	-1 мА	2000	-8
IRF510	TO-220	n	20	100	100	4	0.5	0.5 мА	1000	3
IRF530	TO-220	n	75	100	100	4	0.5	1 мА	3000	10
IRF640	TO-220	n	125	200	200	4	0.5	1 мА	6000	11
IRF9520	TO-220	p	40	-100	-100	-4	-0.5	-1 мА	900	-4
IRF9530	TO-220	p	75	-100	-100	-4	-0.5	-1 мА	2000	-7
VN10KM	TO-92	n	1	60	60	2.5 (max)	10	10	200	0.5
VN1010	TO-92	n	1	100	100	2 (max)	10	10	200	0.5
VN46AF	TO-202	n	12.5	40	40	2 (max)	10	10	250	2
VN66AF	TO-202	n	12.5	60	60	2 max	10	10	250	2
VN88AF	TO-202	n	12.5	80	80	2 (max)	10	10	250	2
2SJ50	TO-3	p	100	-160	-160	-1.5 (max)	-10	-10	1000	-7
2SK133	TO-3	n	100	120	120	1.5 (max)	10	10	1000	7

\* ДМОП-транзистор — транзистор с двойной диффузией.

\*\* ВМОП-транзистор — транзистор с V-образной канавкой.

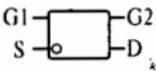
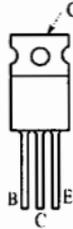
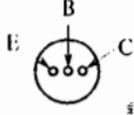
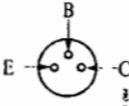
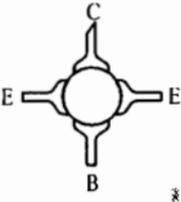
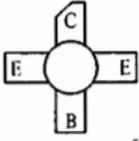
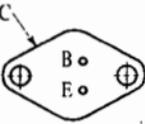
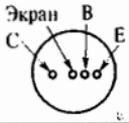
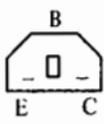
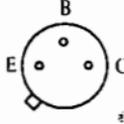
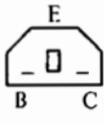
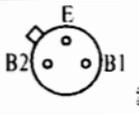
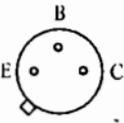
## 1.28.4. Однопереходные транзисторы

Тип	Корпус	$P_{tot}$ (max) [мВт]	$V_{R2} - V_{B1}$ [В]	$I_E$ [А]	Коэффициент передачи
T1S43	TO-92	300	35	1.5	0.5...0.82
2N2646	TO-18	300	35	2	0.55...0.75
2N2647	TO-18	300	35	2	0.68...0.8

## 1.28.5. Двухнаправленные тиристоры (симисторы)

Тип	Корпус	$PIV$ [В]	$I_T$ (rms) [А]	$V_{GT}$ [В]	$I_{GT}$ [мА]
TRI400-0.35	TO-92	400	0.35	2	5
C206D	TO-202	400	3	2	5
C226D	TO-202	400	8	2.5	50
C246D	TO-202	400	15	2.5	50

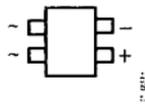
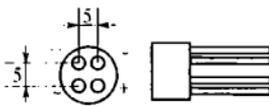
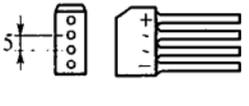
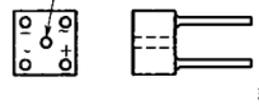
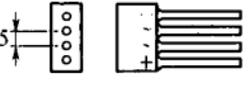
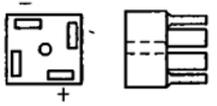
## 1.28.6. Корпуса и цоколевка транзисторов и тиристоров

Корпус	Внешний вид	Корпус	Внешний вид															
90-05		ТОР-3																
206		ТОР-66																
GT-3 GT-6		ТО-1																
MT-71C		ТО-3	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Тип прибора</th> <th colspan="3">Вывод</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>БТ</td> <td>Э</td> <td>Б</td> <td>К</td> </tr> <tr> <td>ПТ</td> <td>З</td> <td>И</td> <td>С</td> </tr> </tbody> </table>	Тип прибора	Вывод			1	2	3	БТ	Э	Б	К	ПТ	З	И	С
Тип прибора	Вывод																	
	1	2	3															
БТ	Э	Б	К															
ПТ	З	И	С															
MT-72C		ТО-5	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>БТ</td> <td>Э</td> <td>Б</td> <td>К</td> </tr> <tr> <td>Тир.</td> <td>К</td> <td>УЭ</td> <td>А</td> </tr> </tbody> </table>	БТ	Э	Б	К	Тир.	К	УЭ	А							
БТ	Э			Б	К													
Тир.	К	УЭ	А															
PT-1		ТО-7																
SOT-25		ТО-18																
SOT-25/1		ТО-18U																
SOT-30		ТО-39																

(окончание)

Корпус	Внешний вид					
ТО-66		Тип прибора	Вывод			
		БТ	Э	Б	К	—
		Тир.	К	УЭ	А	—
ТО-72		(25) БТ	Э	Б	К	земля
		(23) ПТ	И	З	С	корпус
		(28) БТ	Б	Э	К	земля
ТО-92		(71) БТ	К	Э	Б	—
		ПТ	З	С	И	—
		(72) БТ	К	Б	Э	—
		ПТ	З	И	С	—
		(74) БТ	Б	К	Э	—
		ПТ	И	З	С	—
		Сим.	МТ2	УЭ	МТ1	—
ТО-105						
ТО-106						
ТО-126		Тип прибора	Вывод			
		БТ	Э	К	Б	
		Тир.	К	А	УЭ	
ТО-202		БТ	Э	Б	К	
		ПТ	И	З	С	
		Сим.	МТ1	МТ2	УЭ	
ТО-220		БТ	Б	К	Е	
		ПТ	З	С	И	

## 1.28.7. Выпрямительные мосты

Тип	$V_{OUT}$ [В]	$V_{IN}$ (rms) max [В]	$V_F$ (max) [В]	$I_F$ (av) [А]	Внешний вид корпуса
Vm28	200	140	1,9 при 1 А	0,9	
Vm48	400	280	1,9 при 1 А	0,9	
Vm88	800	560	1,9 при 1 А	0,9	
Wb05	50	35	2 при 1 А	1	
Wb2	200	140	2 при 1 А	1	
Wb4	400	280	2 при 1 А	1	
Wb8	800	560	2 при 1 А	1	
BY164	60	42	2 при 1 А	1	
SKB2/021.5A	200	140	1,8 при 1 А	1,6	
SKB2/041.5A	400	280	1,8 при 1 А	1,6	
So05	50	35	2 при 1 А	2	
So4	400	280	2 при 1 А	2	
KBLo2	200	140	1,2 при 1 А	3	
KBLo8	800	560	1,2 при 1 А	3	
Ko1	100	70	2,1 при 10 А	25	
Ko2	400	280	2,1 при 10 А	25	
KBPC3502	200	140	1,2 при 17,5 А	35	
KBPC3506	600	420	1,2 при 17,5 А	35	

**1.28.8. Стабилитроны****Серия VZY 88C**Допустимое отклонение  $\pm 5\%$ ,

максимальная рассеиваемая мощность 500 мВт.

Номинальная величина 2.7, 3, 3.3, 3.6, 3.9, 4.3, 4.7, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8, 7.5, 8.2, 9.1, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30 В.

**Серия VZX 85**Допустимое отклонение  $\pm 5\%$ ,

максимальная рассеиваемая мощность 1.3 Вт.

Номинальная величина 2.7, 3, 3.3, 3.6, 3.9, 4.3, 4.7, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8 В.

**Серия VZX 61**Допустимое отклонение  $\pm 5\%$ ,

максимальная рассеиваемая мощность 1.3 Вт.

Номинальная величина 4.7, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8, 7.5, 8.2, 9.1, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 43, 47, 51, 56, 62, 68, 75 В.

**Серия IN 5333**Допустимое отклонение  $\pm 5\%$ ,

максимальная рассеиваемая мощность 5 Вт.

Номинальная величина 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2, 9.1, 10, 12, 15, 24 В.

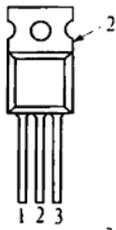
**1.28.9. Стабилизаторы напряжения****Параметры стабилизаторов напряжения**

Тип	Корпус	$I_{out}$ (max) [мА]	$V_{out}$ [В]	$V_{in}$ (область значений) [В]	Нестабиль- ность по току нагрузки	Нестабиль- ность по входному напряжению	Подавление пульсаций [дБ]
78L05	2А	100	5	7...25	0.2%	1%	60
79L05	2В	-100	-5	7...25	0.2%	1%	60
78L12	2А	100	12	14.5...35	0.2%	1%	55
79L12	2В	-100	-12	14.5...35	0.2%	1%	55
78L15	2А	100	15	17.5...35	0.3%	1.5%	52
79L15	2В	-100	-15	17.5...35	0.3%	1.5%	52
78L24	2А	100	24	27...35	0.4%	1.5%	49
79L24	2В	-100	-24	27...35	0.4%	1.5%	49
7805	1А	1 А	5	7...25	0.2%	0.2%	70

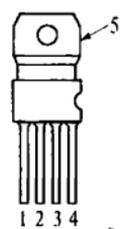
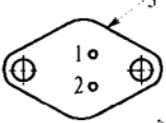
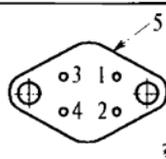
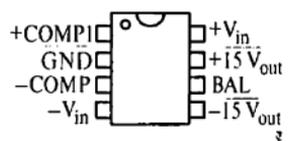
(окончание)

Тип	Корпус	$I_{OUT}$ (max) [mA]	$V_{OUT}$ [V]	$V_{IN}$ (область значений) [V]	Нестабиль- ность по току нагрузки	Нестабиль- ность по входному напряжению	Подавление пульсаций [дБ]
7905	1B	-1 A	-5	7...25	0.2%	0.2%	70
7812	1A	1 A	12	14.5...30	0.4%	0.2%	61
7912	1B	-1 A	-12	14.5...30	0.4%	0.2%	61
7815	1A	1 A	15	17.5...30	0.5%	0.3%	60
7915	1B	1 A	-15	17.5...30	0.5%	0.3%	60
7824	1A	1 A	24	27...38	0.6%	0.3%	56
7924	1B	1 A	-24	27...38	0.6%	0.3%	56
LM309K	4A	1.2 A	5	7...35	1%	0.1%	70
78H05	4B	5 A	5	8...25	0.2%	0.2%	60
78H12	4B	5 A	12	15...24	0.2%	0.2%	60
78HG	5A	5 A	5...25	8...40	1%	0.15%	60
79HG	5B	5 A	-2...-24	8...40	0.7%	0.4%	50
317K	4B	1.5 A	1.2...37	4...40	0.1%	0.01%	65
338K	4B	5 A	1.2...32	4...35	0.1%	0.005%	60
396K	4C	10 A	1.25...15	4...25	0.15%	0.005%	74
4195NB	6	$\pm 50$	$\pm 15$	$\pm 18$ ...30	0.6%	0.13%	70
78MGUIC	3A	500	5...30	8...40	1%	1%	62
79MGUIC	3B	-500	-3...-30	7...30	1%	1%	50

**Корпуса и цоколевка стабилизаторов напряжения**

Корпус	Вывод						Внешний вид
	1	2	3	4	5		
1	A	IN	COM	OUT	-	-	
	B	COM	IN	OUT	-	-	
2	A	IN	COM	OUT	-	-	
	B	OUT	IN	COM	-	-	

(окончание)

Корпус		Вывод					Внешний вид
		1	2	3	4	5	
3	A	COM	IN	OUT	CONT	COM	
	B	COM	CONT	OUT	IN	IN	
4	A	IN	OUT	COM	—	—	
	B	ADJ	IN	OUT	—	—	
	C	OUT	ADJ	IN	—	—	
5	A	OUT	CONT	IN	COM	ISOL	
	B	CONT	OUT	COM	IN	ISOL	
6							

## 1.28.10. Диоды

## Выпрямительные диоды

Тип	Материал*	$V_R$ [В]	$I_F$ [А]	$V_F$ [В]	$I_F$ [А]	$I_R$ [мкА]	$V_R$ [В]	Применение
А14Р	S	1000	2.5	1.25	2.5	0.5	1000	Защита при переходном процессе
А15А	S	100	5	1.1	5	5	100	Выпрямитель общего применения
ВУХ21Л/ 200R	S	75	25	1.2	25	1.1	75	Автомобильный, для работы в жестких условиях
ЕМ4005	S	50	1	1.1	1	5	50	Выпрямитель общего применения
ЕМ401	S	100	1	1.1	1	5	100	Выпрямитель общего применения
ЕМ404	S	400	1	1.1	1	5	400	Выпрямитель общего применения
ЕМ410	S	1000	1	1.1	1	5	1000	Выпрямитель общего применения
1N4001	S	50	1	1.1	1	5	50	Выпрямитель общего применения
1N4002	S	100	1	1.1	1	5	100	Выпрямитель общего применения
1N4004	S	400	1	1.1	1	5	400	Выпрямитель общего применения
1N4007	S	1000	1	1.1	1	5	1000	Выпрямитель общего применения

(окончание)

Тип	Материал*	$V_R$ [В]	$I_F$ [А]	$V_F$ [В]	$I_F$ [А]	$I_R$ [мкА]	$V_R$ [В]	Применение
1N5408	S	1000	3	1	3	5	1000	Выпрямитель общего применения
1N5059 (A14B)	S	200	2.5	1.25	2.5	0.2	200	Защита при переходном процессе
1N5060 (A14D)	S	400	2.5	1.25	2.5	0.2	400	Защита при переходном процессе
1N5061 (A14M)	S	600	2.5	1.25	2.5	0.2	600	Защита при переходном процессе
1N5062 (A14N)	S	800	2.5	1.25	2.5	0.2	800	Защита при переходном процессе
MR110	S	100	10					Выпрямитель общего применения
MR410	S	400	10					Выпрямитель общего применения

\* S — кремний.

**Диоды общего назначения**

Тип	Материал*	Корпус	$V_R$ [В]	$I_F$ [А]	$C_d$ [пФ]	$V_F$ [В]	$I_F$ [А]	$I_R$ [мкА]	$V_R$ [В]	$T_{гр}$ [°С]	Применение/ Конструкция	Аналоги
AA119	G	DO-7	30	100	1.2	2.2	10	150	30		АМ/ЧМ детектирование/точечный контакт	
OA90	G	DO-7	20	45		1.5	10	450	20		Универсальный/точечный контакт	OA70, OA80
OA91	G	DO-7	90	150		1.9	10	180	75		Универсальный/точечный контакт	OA71, OA79, OA81
OA95	G	DO-7	90	150		1.5	10	110	75		Универсальный/точечный контакт	
BA100	G	DO-7	60	90	25	96	10	10	60		Универсальный/силовой	
BA102	S	DO-7	20		20...45	—					Переменная емкость. Коэффициент перестройки — 4; при применении напряжения 4...10 В	
BA114	S	DO-7		20		7	1				Стабилизатор смещения	

(окончание)

Тип	Материал*	Корпус	$V_R$ [В]	$I_F$ [А]	$C_d$ [пФ]	$V_F$ [В]	$I_F$ [А]	$I_R$ [мкА]	$V_R$ [В]	$T_{гр}$ [°С]	Применение/ Конструкция	Аналоги
OA200	S	DO-7	50	160	25	96	10	1	50		Малосигнальный/сплавной	
OA202	S	DO-7	150	160	25	96	10	1	150		Малосигнальный/сплавной	
1N914A	S	DO-35	75	75	4	1	10	5	75	4	Малосигнальный/импульс-	1N4148
1N4148	S	SD-5	75	75	4	1	10	0.025	20	4	Малосигнальный/импульс-	1N014A
50822800	S	DO-7	70	15	2	41	1	0.2	50	0.1	Диод с барьером Шоттки, УКВ (ДМВ) детекторы, смесители, переключатели	

\* G — германий, S — кремний.

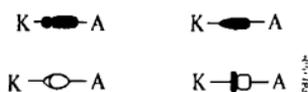


Рис. 1.31. Типы корпусов диодов

## 1.29. ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ — ТЕРМИНОЛОГИЯ

**Асинхронный** — не зависящий от тактовых импульсов (импульсов синхронизации).

**Бистабильная (схема)** — схема с двумя устойчивыми состояниями.

**Буфер** — элемент (каскад), предназначенный для развязки предыдущего каскада от нагрузки.

**Выход с открытым коллектором** — выход ТТЛ-схемы, для которого требуется внешний нагрузочный «подтягивающий» резистор. Используется для реализации элементов ИЛИ (монтажное ИЛИ).

**Генератор тактовых импульсов (синхроимпульсов)** — источник регулярно повторяющихся импульсов напряжения, используемый для синхронизации системы.

**Дешифратор** — схема, у которой каждой комбинации уровней на входах соответствует активный уровень на одном выходе. Другое название — демультиплексор.

**Ждущий мультивибратор, одновибратор** — прибор, выдающий единичный выходной импульс определенной длительности при поступлении входного импульса.

**Задержка при прохождении сигнала** — время, требуемое для прохождения сигнала через прибор.

**Запуск (синхронизация) по фронту или срезу** — состояние схемы изменяется во время нарастания входного импульса или его спада.

**Защелка, схема с фиксацией состояния** — схема, воспроизводящая на выходе входной сигнал, импульс защелки, по которому сохраняется последнее состояние на выходе.

**Коэффициент разветвления по выходу** — целое число, равное количеству приборов, которые могут быть подключены параллельно к выходу элемента.

**Мультивибратор** — схема с двумя состояниями на выходе, в каждом из которых схема может находиться как в устойчивом, так и в неустойчивом состоянии. Разновидности: автоколебательный, ждущий.

**Мультиплексор** — управляемый переключатель, номер канала равен числу на входе.

**Разрешающий вход** — вход сигнала разрешения.

**Разряд (бит) контроля четности** — контрольный разряд (бит), добавляемый к данным. Если данные представляют собой нечетное число, равен единице, если четное — нулю.

**Сдвоенный** — состоящий из двух частей, одинаковых по конструкции.

**Синхронный** — работающий по тактовым импульсам (импульсам синхронизации).

**Состояние покоя** — устойчивое состояние, при котором на входе отсутствует сигнал.

**Схема с одним устойчивым состоянием** — мультивибратор с одним устойчивым состоянием.

**Счетверенный** — состоящий из четырех эквивалентных элементов.

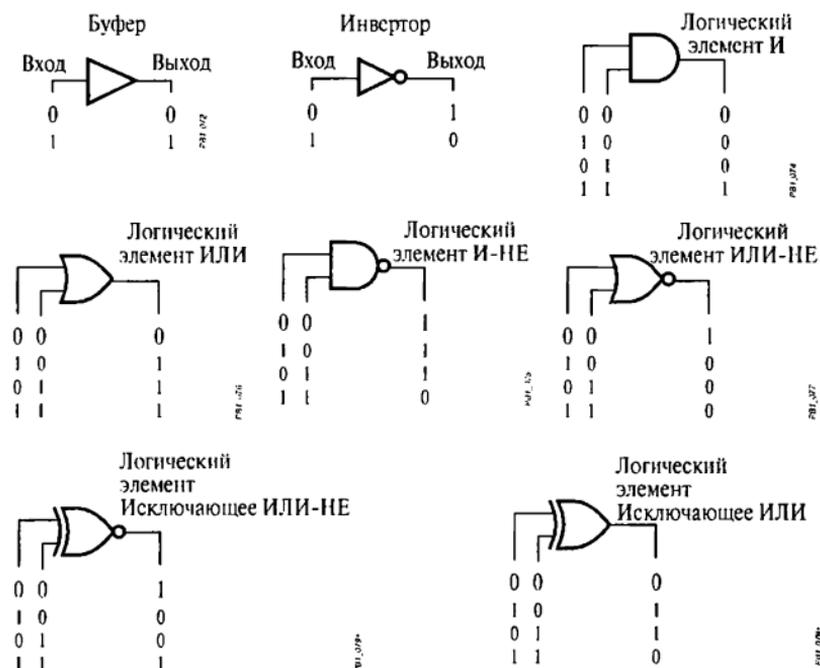
**Триггер** — прибор с двумя устойчивыми состояниями, изменяющий состояние при поступлении тактового импульса (синхронимпульса).

**Триггер Шмитта** — схема с гистерезисом.

### 1.30. СИМВОЛЬНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И ТАБЛИЦЫ ИСТИННОСТИ ОСНОВНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

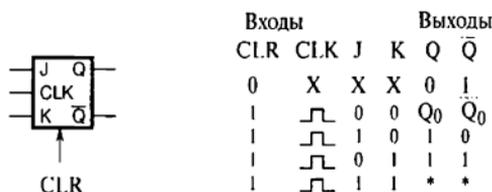
Здесь приведены символьные обозначения логических элементов, соответствующие Североамериканскому стандарту Mil Std-806B, поскольку эти обозначения используются чаще, чем

обозначения по стандарту BS3939. Обозначения логических уровней соответствуют положительной логике, т.е. за **ВЫСОКИЙ** уровень принята единица, за **НИЗКИЙ** уровень — ноль.



-  Символ, обозначающий триггер Шмидта
-  Импульс **ВЫСОКОГО** уровня, передача данных происходит по спадающему фронту импульса
- Q<sub>0</sub>** Уровень на выходе Q, предшествующий установлению состояния на выходе
- Переключение** Состояние на каждом выходе изменяется на обратное при каждом активном перепаде тактового сигнала (нарастание, спад импульса)

Тактируемый фронтами импульсов двухступенчатый JK-триггер со сбросом



\* Периодическое переключение из одного состояния в другое

Рис. 1.32. Символьные обозначения и таблицы истинности основных логических элементов

### 1.31. ТЕРМИНОЛОГИЯ И СИМВОЛЬНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ МИКРОСХЕМ СРЕДНЕЙ СТЕПЕНИ ИНТЕГРАЦИИ

Логические микросхемы средней степени интеграции изображаются в виде прямоугольных блоков с соответствующими внешними элементами И/ИЛИ при необходимости. Символ в виде небольшого круга на внешнем входе указывает, что этот конкретный вход является активным при НИЗКОМ уровне, т.е. при НИЗКОМ уровне сигнала на этом входе выполняется заданная функция при взаимодействии с остальными входами, если напряжение на нем ниже двух логических уровней в системе. Символ в виде круга на выходе указывает, что, когда выполняемая функция принимает значение Истинна, на этом выходе устанавливается НИЗКИЙ уровень. Обычно на символе, обозначающем логический элемент, входы располагаются сверху и слева, а выходы — снизу и справа.

Как правило, входы и выходы обозначаются мнемоническими буквами. В этой книге используются такие же обозначения, а наиболее часто используемые в логических схемах обозначения приведены в Табл. 1.1. Стоит заметить, что для обозначения функции, активной при НИЗКОМ уровне, вне символа логического элемента, над выражением функции ставится черта, тогда как при обозначении той же функции внутри символа черта не ставится. Если для обозначения нескольких входов или выходов используется одна и та же буква, прибегают к помощи нижних числовых индексов, начинающихся с нуля, и проставляемых в порядке, соответствующем работе прибора.

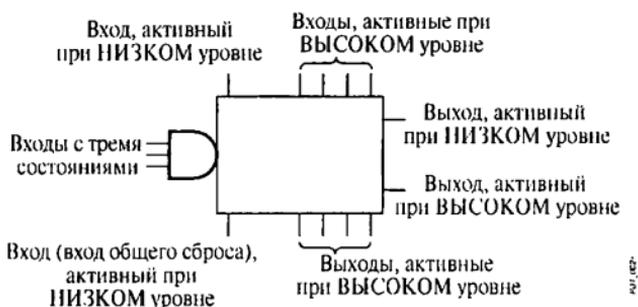


Рис. 1.33. Символьные обозначения, принятые для интегральных логических микросхем

Табл. 1.1. Обозначение входов и выходов логических схем

Обозначение	Значение
A, B, C, D и т.д.	Входы данных (двоично взвешенные: A = 1, B = 2, C = 4, D = 8 и т.д.)
a, b, c, d и т.п.	Сегментные выходы семисегментного дешифратора
BCD	Представление десятичного числа в двоичном коде
VI	Запирющий вход
C <sub>IN</sub> , C <sub>OUT</sub>	Вход или выход переноса. Иногда могут обозначаться CI, CY
CE	Разрешение тактового сигнала (сигнала синхронизации)
CF	Обратная связь
CEP	Разрешение занесения данных в счетчик с параллельного входа
CFR	Вход разрешения счета
CK	Тактовый вход, вход синхронизации
CP	Тактовый импульс, обычно с изменением уровня от ВЫСОКОГО к НИЗКОМУ. Активный при ВЫСОКОМ уровне тактовый выход (без кружка) означает, что состояние на выходах изменяется при перепаде тактового импульса от НИЗКОГО уровня к ВЫСОКОМУ
CS	Выбор кристалла
D, J, K, R, S	Входы данных для JK-, SR- и D-триггеров, защелок, регистров и счетчиков
DIS	Переводит выход в третье состояние
EN	Разрешающий вход, обычно активный при ВЫСОКОМ уровне
GND	Общий вывод
I/O	Вход/выход
INC	Инкремент, увеличение на единицу
INH	Запрещающий
IE	Импульс (вход) защелки
LT	Вход для подключения (и проверки) дискретных светодиодов, неоновых ламп и вакуумных индикаторов. Для проверки подается логическая единица
MR	Общий сброс, асинхронно устанавливает ноль на всех выходах, имеет преимущество перед всеми другими входами. Обычно активный при НИЗКОМ уровне
OEN	Разрешающий выход
OF	Переполнение
PE	Разрешение параллельной загрузки — управляющий вход, используемый для того, чтобы синхронно загрузить информацию (обычно активный при НИЗКОМ уровне)
PH	Фазовый вход для жидкокристаллических дисплеев

Таблица 1.1 (окончание)

Обозначение	Значение
P/S	Управляющий вход параллельного/последовательного режима
Q, $\bar{Q}$	Основные обозначения для прямого и инверсного выхода и обратного кода последовательных схем. Также могут быть добавлены символы, указывающие весовые коэффициенты
QP	Фазоимпульсный выход
R	Сброс, установка в исходное состояние
RBI	Вход последовательного гашения (разрядов цифрового индикатора)
RBO	Выход последовательного гашения (разрядов цифрового индикатора)
RC, C, R	Выводы для подключения времязадающих резисторов и конденсаторов
RCO	Выход сквозного переноса
S	Вход сигнала установки ВЫСОКОГО уровня на выходе триггера
S1, 2 и т.д.	Суммирующие выходы
S <sub>in, out</sub>	Последовательные входы, выходы сдвигового регистра
SDL	Сдвиг влево
SDR	Сдвиг вправо
SF	Выход истокового повторителя
SQ	Последовательный выход
SR	Синхронный сброс
ST	Вход стробирующего сигнала
T	Вход сигнала запуска
TC	Выход переполнения счетчика
U/D	Управляющий вход прямого/обратного режимов
VCO	Генератор, управляемый напряжением
VI	Вход генератора, управляемого напряжением
VO	Выход генератора, управляемого напряжением
VCC	Положительный вывод источника питания
VDD	Положительный вывод источника питания (КМОП)
VEE	Отрицательный вывод источника питания (КМОП)
VSS	Вывод 0 В источника питания (КМОП)
W	Выбор пользователем положительной или отрицательной логики
WE	Разрешение записи
X	Входы данных селектора
Z, O, F	Основные обозначения для выходов комбинационных схем. Также могут быть добавлены символы, указывающие весовые коэффициенты (взвешивание)
Д	Триггер Шмитта или функция триггера Шмитта

## 1.32. ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ (СЕРИЯ 74)

Классификация всех микросхем осуществляется присвоением какому-либо семейству микросхем определенного номера, общего для всех приборов этого семейства, например 7400. Однако некоторые микросхемы могут быть доступны только как приборы исключительно одной серии из семейства 74. За более подробной информацией читатели могут обратиться к соответствующим справочникам.

### 1.32.1. Классификация по номерам приборов

Прибор	Описание
7400	Четыре логических элемента 2И-НЕ
7401	Четыре логических элемента 2И-НЕ (выход с открытым коллектором)
7401А	Четыре логических элемента 2И-НЕ с двумя входами (выход с открытым коллектором)
7402	Четыре логических элемента 2ИЛИ-НЕ (выход с открытым коллектором)
7403	Четыре логических элемента 2И-НЕ (выход с открытым коллектором)
7404	Шесть инверторов
7405А	Шесть инверторов (выход с открытым коллектором)
7406	Шесть буферных инверторов — выходное напряжение 30 В
7407	Шесть буферов — выходное напряжение 30 В
7408	Четыре логических элемента 2И
7409	Четыре логических элемента 2И
7410	Три логических элемента 3И-НЕ
7411	Три логических элемента 3И
7412	Три логических элемента 3И-НЕ (выход с открытым коллектором)
7413	Два триггера Шмитта с четырьмя входами
7414	Шесть триггеров Шмитта — (буферных) инверторов
7415	Три логических элемента 3И (выход с открытым коллектором)
7416	Шесть буферных инверторов — выходное напряжение 15 В
7417	Шесть буферов (буферных инверторов) — выходное напряжение 15 В
7420	Два логических элемента 4И-НЕ
7421	Два логических элемента 4И
7422	Два логических элемента 4И-НЕ (выход с открытым коллектором)
7425	Два логических элемента 4ИЛИ-НЕ со стробированием
7426	Четыре логических элемента 2И-НЕ с устройством сопряжения для высокого напряжения
7427	Три логических элемента 3ИЛИ-НЕ

(продолжение)

Прибор	Описание
7428	Четыре буферных логических элемента 2ИЛИ-НЕ (коэффициент разветвления по выходу 30)
7430	Логический элемент 8И-1НЕ
7432	Четыре логических элемента 2ИЛИ
7433А	Четыре буферных логических элемента 2ИЛИ-НЕ, 15 В
7437	Четыре буферных логических элемента 2И-НЕ
7438А	Четыре буферных логических элемента 2И-НЕ, 15 В
7440	Два буферных логических элемента 4И-НЕ
7441А	Двоично-десятичный дешифратор с выходом (с возможностью подключения) на индикаторную лампу (Nixie driver)
7442	Двоично-десятичный дешифратор
7445	Двоично-десятичный дешифратор/формирователь, 30 В, выход с открытым коллектором
7446А	Дешифратор двоичного кода в семисегментный/формирователь, 30 В/40 мА
7447	Дешифратор двоичного кода в семисегментный/формирователь, 15 В/20 мА
7447А	Дешифратор двоичного кода в семисегментный/формирователь, 15 В/40 мА
7448	Дешифратор двоичного кода в семисегментный/формирователь
7449	Дешифратор из двоично-десятичного в семисегментный код, выход с открытым коллектором
7450	Два логических элемента 2-2И-2ИЛИ-НЕ с возможностью расширения (один расширяемый по ИЛИ)
7451	Логический элемент 2-2И-2ИЛИ-НЕ
7453	Логический элемент 2-2-2-3И-4ИЛИ-1НЕ (2-2-2-2И-4ИЛИ-НЕ) с возможностью расширения (по ИЛИ)
7454	Логический элемент 3-2-2-3И-4ИЛИ-НЕ
7455	Логический элемент 4-4И-2ИЛИ-НЕ
7460	Два логических расширителя с четырьмя входами
7464	Логический элемент 4-2-2-3И-4ИЛИ-НЕ
7470	JK-триггер, срабатывает по нарастающему фронту импульса
7472	Синхронный (тактируемый) двухступенчатый JK-триггер с логикой И на входах
7473	Два синхронных (тактируемых) двухступенчатых JK-триггера
7474	Два D-триггера, управляемых фронтом
7475	4-разрядный D-триггер с двумя устойчивыми состояниями = Четыре D-триггера с двумя устойчивыми состояниями
7476	Два синхронных (тактируемых) двухступенчатых JK-триггера со сбросом и предварительной установкой
7478	Два JK-триггера с предварительной установкой, общим сбросом и тактированием (синхронизацией)

(продолжение)

Прибор	Описание
7481	16-разрядный активный элемент памяти (запоминающее устройство на активных элементах)
7482	2-разрядный полный двоичный сумматор
7483А	4-разрядный полный сумматор с переносом
7484	16-разрядный активный элемент памяти (запоминающее устройство на активных элементах)
7485	4-разрядный компаратор (схема сравнения двух чисел)
7486	Четыре логических элемента Исключающее ИЛИ с двумя входами
7489	64-разрядное ОЗУ (16×4 Вт)
7490	Десятичный счетчик
7491	8-разрядный сдвиговый регистр
7492	Счетчик-делитель на двенадцать
7493	4-разрядный двоичный счетчик
7494	4-разрядный сдвиговый регистр (параллельный ввод, последовательный вывод)
7495	4-разрядный универсальный сдвиговый регистр
7496	5-разрядный сдвиговый регистр (двоенный параллельный ввод, параллельный вывод)
74100	8-разрядный D-триггер (зашелка с двумя устойчивыми состояниями)
74107	Два синхронных (тактируемых) двухступенчатых JK-триггера
74109	Два JK-триггера. срабатывают по нарастающему фронту импульса, со сбросом и предварительной установкой
74112	Два JK-триггера. срабатывают по спадающему фронту импульса, со сбросом и предварительной установкой
74113	Два JK-триггера. срабатывают по спадающему фронту импульса, с предварительной установкой
74114	Два JK-триггера. срабатывают по спадающему фронту импульса, со сбросом и предварительной установкой
74121	Одновибратор (ждуший мультивибратор)
74122	Одновибратор с возможностью сброса (установки на ноль) (с повторным запуском)
74123	Два одновибратора с возможностью сброса (установки на ноль) (с повторным запуском)
74124	Универсальный импульсный генератор
74125	Четыре буферных элемента с активным (при НИЗКОМ уровне) разрешающим выходом, с тремя состояниями на выходе
74126	Четыре буферных элемента с активным (при ВЫСОКОМ уровне) разрешающим выходом, с тремя состояниями на выходе

(продолжение)

Прибор	Описание
74128	Четыре линейных формирователя (магистральных усилителя)
74132	Четыре логических элемента 2И-НЕ на триггере Шмитта
74133	Логический элемент 1ЗИ-НЕ
74137	Демультимплексор
74138	Дешифратор-мультиплексор 3×8
74139	Два мультиплексора 2×4
74141	Двоично-десятичный дешифратор с высоковольтным выходом
74145	Двоично-семисегментный дешифратор/формирователь. выходное напряжение 15 В
74147	Приоритетный десятичный шифратор 10×4
74148	Приоритетный шифратор 8×3
74150	Селектор данных на 16 каналов
74151	Селектор данных на восемь каналов со стробированием
74153	Сдвоенный селектор-мультиплексор 4×1
74154	Дешифратор-демультимплексор 4×16
74155	Сдвоенный дешифратор-демультимплексор 2×4 с тотемным выходным каскадом
74156	Сдвоенный дешифратор-демультимплексор 2×4 (выход с открытым коллектором)
74157	Четыре селектора 2×1
74158	Четыре мультиплексора 2×1 с инверсией
74160	Синхронный десятичный счетчик
74161	Асинхронный двоичный счетчик со сбросом
74162	Синхронный десятичный счетчик
74163	Синхронный двоичный счетчик
74164	8-разрядный сдвиговый регистр с последовательным вводом, параллельным выводом
74165	8-разрядный сдвиговый регистр с параллельным вводом, последовательным выводом
74169	4-разрядный синхронный реверсивный счетчик
74173	4-разрядный регистр D-типа
74174	Шесть D-триггеров
74175	Четыре D-триггера с общим сбросом
74180	8-разрядная схема контроля четности
74181	4-разрядное арифметико-логическое устройство

(продолжение)

Прибор	Описание
74182	Схема ускоренного переноса
74190	Синхронный реверсивный десятичный счетчик
74191	Синхронный реверсивный 4-разрядный двоичный счетчик
74192	Синхронный 4-разрядный реверсивный счетчик
74193	Синхронный 4-разрядный реверсивный счетчик
74194	4-разрядный универсальный сдвиговой регистр
74195	Синхронный 4-разрядный регистр сдвига с параллельным вводом с JK-триггерами на входах
74196	Десятичный счетчик/зашелка с предварительной установкой частотой 50 МГц (двоично-пятеричный)
74197	4-разрядный счетчик со сквозным переносом с предварительной установкой
74200	256-разрядное оперативное запоминающее устройство (ОЗУ)
74221	Два одновибратора
74240	Восемь инвертирующих буферных элементов с тремя состояниями на выходах
74241	Восемь буферных элементов с тремя состояниями на выходах
74242	8-разрядный инвертирующий приемопередатчик шины
74243	8-разрядный приемопередатчик шины
74244	Восемь буферных элементов с тремя состояниями на выходе
74245	8-разрядный приемопередатчик шины с тремя состояниями на выходе
74251	Селектор-мультиплексор с тремя состояниями на выходе
74253	Сдвоенный мультиплексор 4×1 с тремя состояниями на выходе
74256	Сдвоенная 4-разрядная зашелка с адресацией
74257	Четыре двухвходовых мультиплексора с тремя состояниями на выходе
74258	Четыре двухвходовых мультиплексора с инверсией с тремя состояниями на выходе
74259	8-разрядная зашелка с адресацией
74273	8-разрядный регистр со сбросом
74280	9-разрядная схема контроля четности
74283	4-разрядный полный сумматор с переносом
74298	Четыре регистра с двумя портами
74299	8-разрядный универсальный сдвиговой регистр хранения с тремя состояниями на выходе
74321	Кварцевый генератор
74323	8-разрядный универсальный сдвиговой регистр хранения с тремя состояниями на выходе

(продолжение)

Прибор	Описание
74352	2-разрядный мультиплексор 4×1 с инверсией
74353	2-разрядный мультиплексор 4×1 с инверсией с тремя состояниями на выходе
74354	Селектор-мультиплексор прозрачных данных
74356	Селектор-мультиплексор данных
74365	Шесть буферных элементов (повторителей) с двумя разрешающими входами по схеме ИЛИ-НЕ
74366	Шесть буферных инверторов (повторителей) с двумя разрешающими входами по схеме ИЛИ-НЕ
74367	Шесть буферных элементов (повторителей) с тремя состояниями на выходе
74368	Шесть буферных элементов с инверсией с тремя состояниями на выходе
74373	8-разрядная защелка с тремя состояниями на выходе
74374	8-разрядный D-триггер с тремя состояниями на выходе
74378	Шесть D-триггеров
74381	4-разрядное арифметико-логическое устройство
74390	Сдвоенный десятичный счетчик
74393	Сдвоенный 4-разрядный двоичный счетчик
74395	4-разрядный каскадируемый сдвиговый регистр
74399	4-разрядный регистр 2×1 (состоящий из двух частей)
74423	Переключаемый ждущий мультивибратор
74442	Четыре приемопередатчика с тремя состояниями
74443	Четыре тринаправленных приемопередатчика с инверсией
74444	Четыре тринаправленных приемопередатчика
74533	Инвертирующая 8-разрядная защелка D-типа
74534	Инвертирующий 8-разрядный D-триггер
74563	8-разрядная прозрачная защелка с инвертируемыми выходными сигналами
74564	Восемь запускаемых фронтом (перепадом) импульса триггеров с инвертируемыми выходными сигналами
74620	8-разрядный приемопередатчик шины
74625	Генератор, управляемый напряжением
74655	Инвертирующий 8-разрядный буфер/формирователь линии с тремя состояниями на выходах
74657	8-разрядный двунаправленный приемопередатчик с проверкой четности
74669	4-разрядный двоичный счетчик
74670	Массив регистров 4×4 с тремя состояниями на выходе

(окончание)

Прибор	Описание
74673	16-разрядный последовательно-параллельный сдвиговый регистр
74674	16-разрядный параллельно-последовательный сдвиговый регистр
74682	8-разрядный компаратор
74688	8-разрядный компаратор с выходным двухтранзисторным каскадом
741242	4-разрядный приемопередатчик шины, инвертирующий
741243	4-разрядный приемопередатчик шины, неинвертирующий
744002	Четыре логических элемента 4ИЛИ-НЕ
744017	Десятичный счетчик-делитель
744020	4-разрядный двоичный счетчик
744040	12-разрядный двоичный счетчик
744049	Шесть инвертирующих буферных элементов
744050	Шесть буферных элементов
744060	14-разрядный двоичный счетчик
744075	Три логических элемента 3ИЛИ
744078	Логический элемент 8ИЛИ-НЕ
744511	Двоично-семисегментная (BCD-7 Segment) защелка/дешифратор/формирователь
744514	Дешифратор 1-из-16 с защелкой на входе
744538	Сдвоенный прецизионный перезапускаемый/переустанавливаемый одновибратор
744543	Двоично-семисегментная (BCD-7 Segment) защелка/дешифратор/формирователь

### 1.32.2. Классификация по функциональному назначению

Функция, выполняемая прибором	Номер
<b>Логические элементы — элемент И</b>	
Четыре с двумя входами	7408
Четыре с двумя входами, выход с открытым коллектором	7409
Три с тремя входами	7411
Три с тремя входами, выход с открытым коллектором	7415
Сдвоенный с четырьмя входами	7421
<b>Логические элементы — элемент ИЛИ</b>	
Три с тремя входами	744075

(продолжение)

Функция, выполняемая прибором	Помер
Четыре с двумя входами	7432
Четыре логических элемента Исключающее ИЛИ с двумя входами	7486
Логические элементы — элемент И-НЕ	
Четыре с двумя входами	7400
Четыре с двумя входами, выход с открытым коллектором	7401
Четыре с двумя входами, выход с открытым коллектором	7403
Три с тремя входами	7410
Сдвоенный с четырьмя входами	7420
Сдвоенный с четырьмя входами, выход с открытым коллектором	7422
Четыре с двумя входами для высокого напряжения	7426
С восемью входами	7430
Четыре буферных, с двумя входами	7437
Сдвоенный буферный, с двумя входами, выход с открытым коллектором	7438
Сдвоенный буферный, с четырьмя входами	7440
С тринадцатью входами	74133
Логические элементы — элемент ИЛИ-НЕ	
Четыре с двумя входами	7402
Четыре с четырьмя входами	744002
Сдвоенный, с четырьмя входами, со стробированием	7425
Три с тремя входами	7427
Четыре буферных, с двумя входами	7428
Четыре буферных, с двумя входами	7433
Четыре с двумя входами, Исключающее ИЛИ	74266
С восемью входами	744078
Логические элементы — на триггере Шмитта	
Сдвоенный с четырьмя входами И-НЕ	7413
Шесть инверторов	7414
Четыре логических элемента 2И-НЕ	74132
Логические элементы — элемент И-ИЛИ-НЕ	
2-2И-2ИЛИ-НЕ	7451
3-2-2-3И-4ИЛИ-НЕ	7454
4-4И-2ИЛИ-НЕ	7455

(продолжение)

Функция, выполняемая прибором	Номер
4-2-2-3И-4ИЛИ-НЕ	7464
<b>Буферы</b>	
Шесть	744050
Шесть, с инверсией	744049
Шесть, с инверсией	7404
Шесть, с инверсией, выход с открытым коллектором	7405
Шесть, с инверсией, выход с открытым коллектором	7406
Шесть, выход с открытым коллектором	7407
Шесть, с инверсией, выход с открытым коллектором	7416
Четыре, с активным при низком уровне разрешающим выходом с тремя состояниями	74125
Четыре, с активным при высоком уровне разрешающим выходом с тремя состояниями	74126
Шесть, с двумя разрешающими входами по схеме ИЛИ-НЕ	74365
Шесть, с инверсией, с двумя разрешающими входами по схеме ИЛИ-НЕ	74366
Шесть, с тремя состояниями	74367
Шесть, с инверсией, с тремя состояниями на выходе	74368
<b>Формирователи/приемопередатчики линии/шины</b>	
Четыре линейных формирователя	74128
Восемь инвертирующих буферных элементов с тремя состояниями на выходах	74240
Восемь буферных элементов с тремя состояниями на выходах	74241
8-разрядный инвертирующий приемопередатчик шины	74242
8-разрядный приемопередатчик шины	74243
4-разрядный приемопередатчик шины, инвертирующий	741242
4-разрядный приемопередатчик шины, неинвертирующий	741243
Восемь буферных элементов с тремя состояниями на выходах	74244
8-разрядный приемопередатчик шины с тремя состояниями на выходах	74245
Четыре тринаправленных приемопередатчика	74442
Четыре тринаправленных приемопередатчика с инверсией	74443
Четыре тринаправленных приемопередатчика	74444
8-разрядный приемопередатчик шины	74620
8-разрядный приемопередатчик шины	74640
8-разрядный приемопередатчик шины	74643

(продолжение)

Функция, выполняемая прибором	Номер
Инвертирующий восьмиразрядный буфер/формирователь линии с тремя состояниями на выходах	74655
Неинвертирующий восьмиразрядный буфер/формирователь линии с тремя состояниями на выходах	74656
8-разрядный двунаправленный приемопередатчик с проверкой четности	74657
<b>Триггеры D-типа</b>	
Сдвоенный, запускаемый фронтом (перепадом) импульса	7474
4-разрядный	7475
Шесть, со сбросом	74174
Восемь, с инверсией	74534
Четыре, со сбросом	74175
Восемь, с тремя состояниями на выходах	74374
Восемь, с общим разрешающим входом	74377
Восемь, запускаемых фронтом (перепадом) импульса, с инвертируемыми выходными сигналами	74564
Шесть	74378
8-разрядная прозрачная защелка	74573
8-разрядная прозрачная защелка, инвертирующая	74580
<b>Триггеры JK-типа</b>	
Запускаемый положительным перепадом импульса, с функцией И на входах	7470
Синхронный (тактируемый) двухступенчатый, с функцией И на входах	7472
Сдвоенный, со сбросом	7473
Сдвоенный, со сбросом и предварительной установкой	7476
Сдвоенный, с предварительной установкой, общим сбросом и тактированием (синхронизацией)	7478
Сдвоенный, со сбросом	74107
Сдвоенный, запускаемый положительным перепадом импульса, со сбросом и предварительной установкой	74109
Сдвоенный, запускаемый отрицательным перепадом импульса, со сбросом и предварительной установкой	74112
Сдвоенный, запускаемый отрицательным перепадом импульса, с предварительной установкой	74113
Сдвоенный, запускаемый отрицательным перепадом импульса, со сбросом и предварительной установкой	74114

(продолжение)

Функция, выполняемая прибором	Номер
<b>Ждущие мультивибраторы (одновибраторы)</b>	
Один на кристалле	74121
Сдвоенный, перезапускаемый, с возможностью сброса (установки на ноль)	74123
Сдвоенный, перезапускаемый/предварительно устанавливаемый	744538
Сдвоенный, перезапускаемый	74423
Сдвоенный	74221
<b>Зашелки</b>	
Сдвоенная 4-разрядная, с адресацией	74256
Инвертирующая, 8-разрядная, D-типа	74533
4-разрядный дешифратор	744514
8-разрядная, с адресацией	74259
8-разрядный регистр со сбросом	74273
4-разрядный регистр с двумя портами	74298
8-разрядная, с тремя состояниями на выходе	74373
8-разрядная прозрачная, с инвертируемым выходным сигналом	74563
<b>Арифметические функции</b>	
4-разрядный полный сумматор с переносом	7483A
4-разрядный компаратор	7485
4-разрядное арифметико-логическое устройство	74181
4-разрядное арифметико-логическое устройство	74381
4-разрядный полный сумматор с переносом	74283
Массив регистров 4×4 с тремя состояниями на выходе	74670
8-разрядный компаратор величин (схема сравнения по величине)	74682
8-разрядный компаратор величин (схема сравнения по величине) с выходным двухтранзисторным каскадом (totem-pole output)	74688
<b>Счетчики</b>	
Десятичный прямой	7490
Делитель на двенадцать	7492
4-разрядный двоичный	7493
Синхронный десятичный	74160
Асинхронный двоичный, со сбросом	74161
Синхронный десятичный, со сбросом	74162
Синхронный двоичный, со сбросом	74163

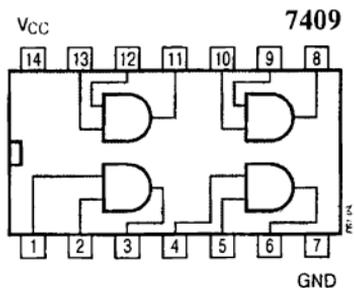
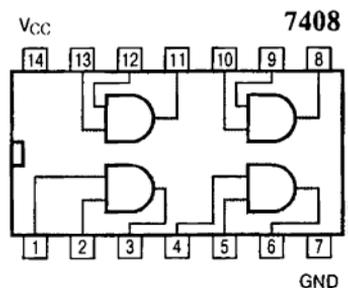
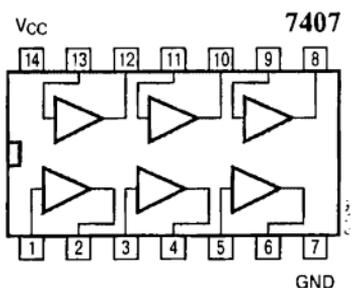
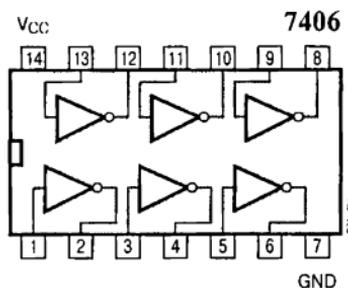
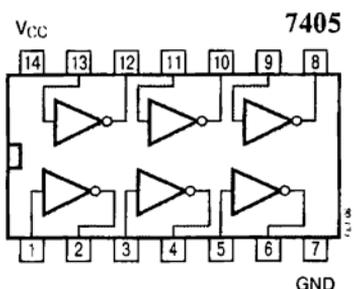
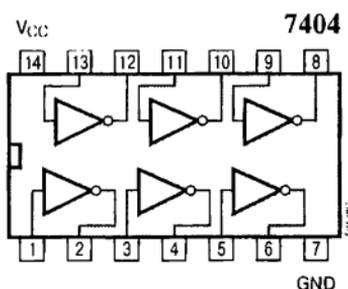
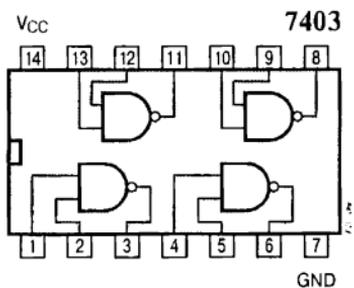
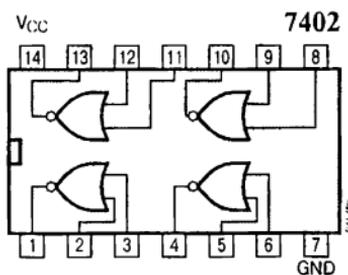
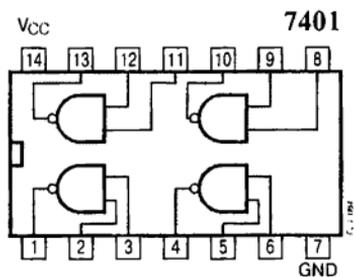
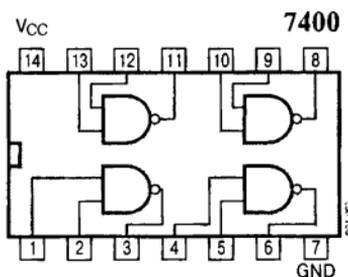
(продолжение)

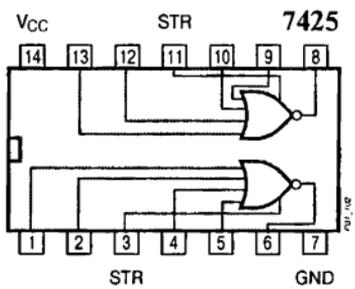
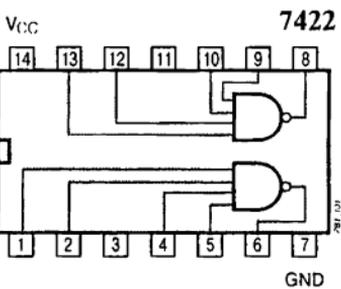
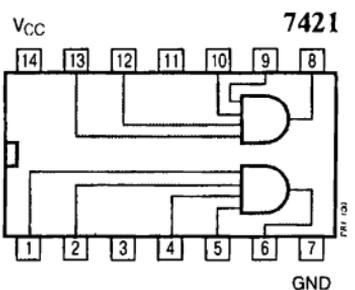
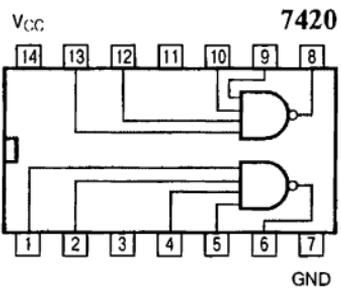
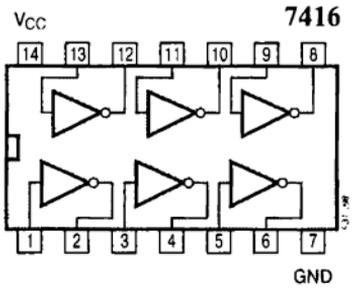
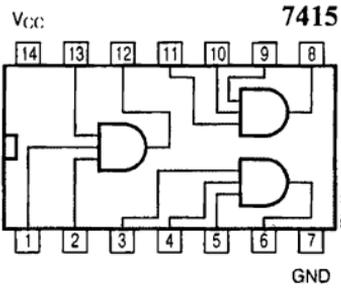
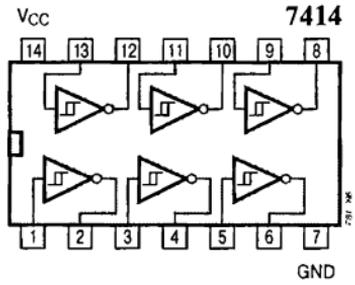
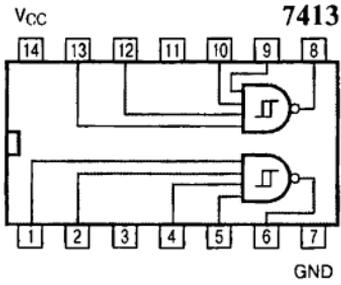
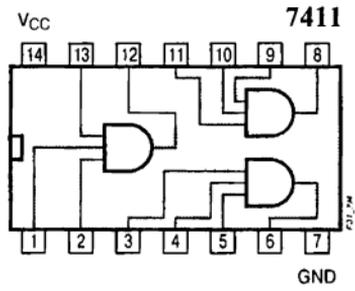
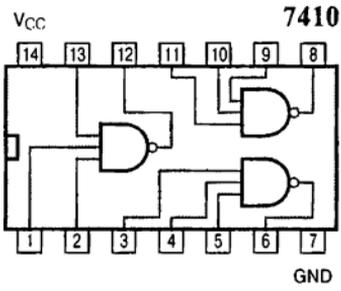
Функция, выполняемая прибором	Номер
Синхронный прямой/обратный двоичный	74191
Синхронный прямой/обратный десятичный	74192
Синхронный прямой/обратный двоичный, со сбросом	74193
Десятичный, с предварительной установкой, сквозной	74196
4-разрядный, со сквозным переносом, с предварительной установкой	74197
Сдвоенный десятичный	74390
Сдвоенный 4-разрядный двоичный	74393
4-разрядный двоичный	74669
4-разрядный синхронный реверсивный	74169
Десятичный счетчик/делитель	744017
4-разрядный двоичный	744020
12-разрядный двоичный	744040
14-разрядный двоичный	744060
<b>Сдвиговые регистры</b>	
4-разрядный	7495
5-разрядный	7496
8-разрядный с последовательным вводом, параллельным выводом	74164
8-разрядный с параллельным вводом, последовательным выводом	74165
4-разрядный универсальный	74194
4-разрядный регистр, с параллельным доступом	74195
4-разрядный D-типа (на D-триггерах)	74173
8-разрядный, универсальный сдвиговый регистр хранения с тремя состояниями на выходах	74299
8-разрядный универсальный сдвиговый регистр хранения с тремя состояниями на выходах	74323
4-разрядный, каскадируемый	74395
16-разрядный последовательно-параллельный	74673
16-разрядный параллельно-последовательный	74674
4-разрядный 2×1 (состоящий из двух частей)	74399
<b>Шифраторы, дешифраторы/формирователи</b>	
<b>Дешифраторы</b>	
Двоично-десятичный	7442
Двоично-десятичный формирователь	7445
Двоично-семисегментный формирователь, выход с открытым коллектором	7447

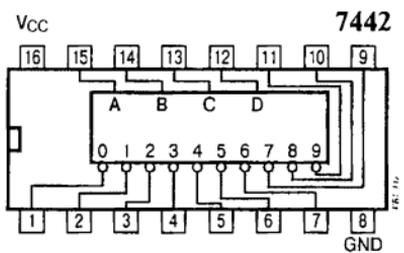
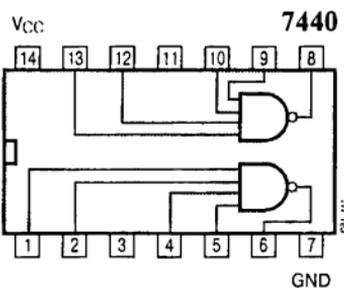
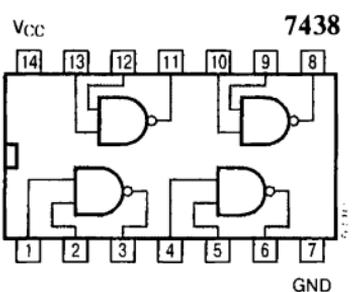
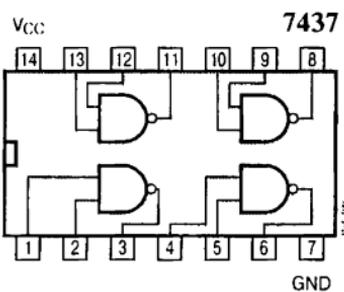
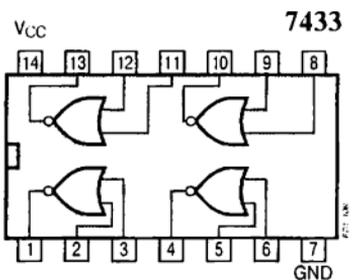
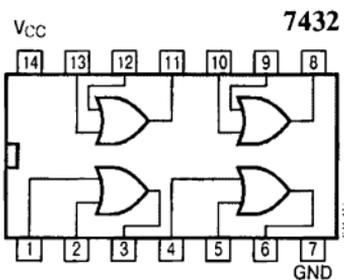
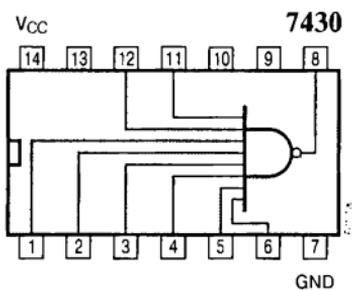
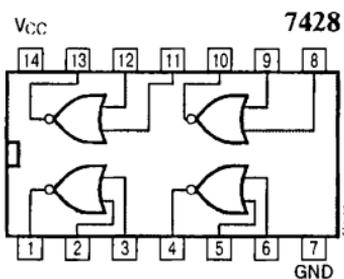
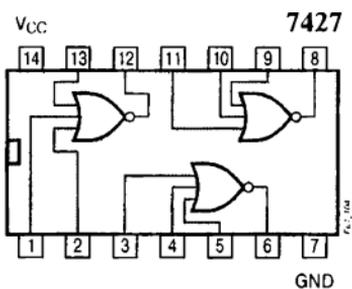
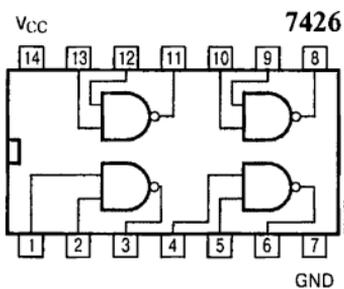
(окончание)

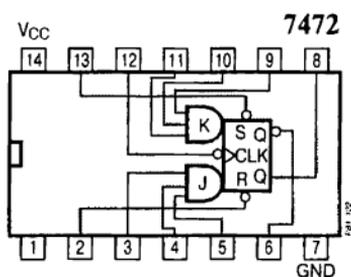
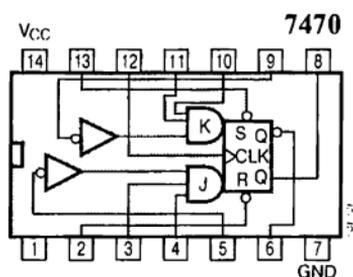
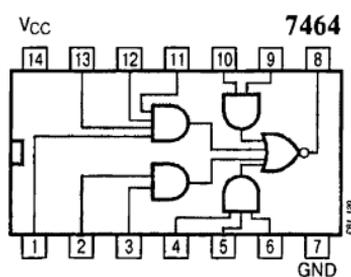
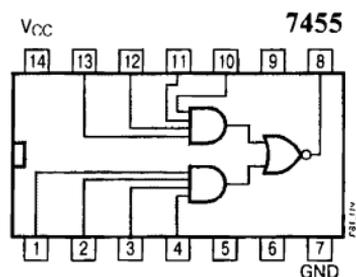
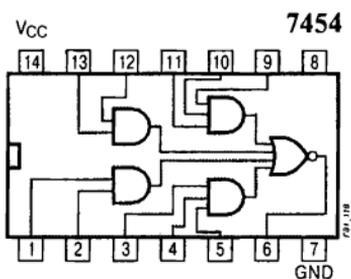
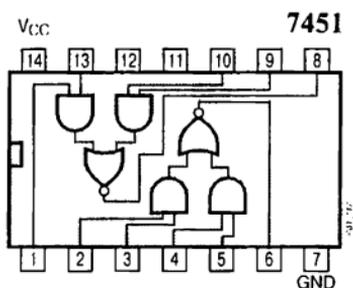
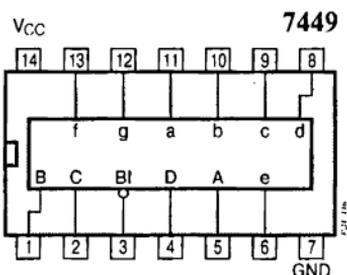
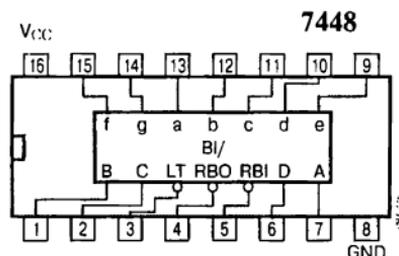
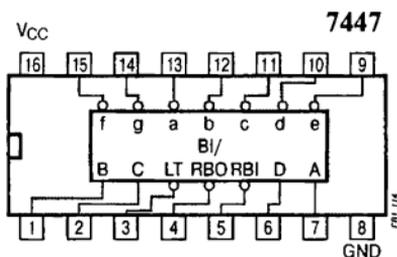
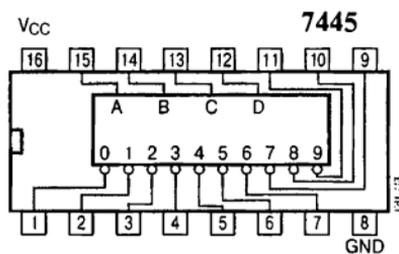
Функция, выполняемая прибором	Номер
Двоично-семисегментный формирователь	7448
Двоично-семисегментный формирователь, выход с открытым коллектором	7449
Двоично-семисегментная защелка/дешифратор/формирователь	744511
Двоично-семисегментная защелка/дешифратор/формирователь	744543
Демультимплексор	74137
Мультиплексор 3×8	74138
Сдвоенный мультиплексор 2×4	74139
Двоично-десятичный дешифратор/формирователь	74141
Двоично-семисегментный дешифратор/формирователь	74145
Дешифратор-демультимплексор 4×16	74154
Сдвоенный дешифратор-демультимплексор 2×4 с тотемным выходным каскадом	74155
Сдвоенный дешифратор-демультимплексор 2×4 (выход с открытым коллектором)	74156
<b>Шифраторы/мультиплексоры</b>	
Приоритетный шифратор 8×3	74148
Селектор данных на восемь каналов со стробированием	74151
Сдвоенный селектор-мультиплексор 4×1	74153
Четыре селектора 2×1	74157
Четыре мультиплексора 2×1 с инверсией	74158
8-разрядная схема контроля четности	74180
Селектор-мультиплексор с тремя состояниями на выходе	74251
Сдвоенный мультиплексор 4×1 с тремя состояниями на выходе	74253
Четыре двухходовых мультиплексора с тремя состояниями на выходе	74257
Четыре двухходовых мультиплексора с инверсией с тремя состояниями на выходе	74258
2-разрядный мультиплексор 4×1 с инверсией	74352
2-разрядный мультиплексор 4×1 с инверсией с тремя состояниями на выходе	74353
Селектор-мультиплексор прозрачных данных	74354
Селектор-мультиплексор данных	74356
Приоритетный шифратор из 10 линий данных в десятичном коде в 4 линии данных в двоичном коде	74147
<b>Разные схемы</b>	
Кварцевый генератор	74321
Генератор, управляемый напряжением	74625
9-разрядная схема контроля четности	74280

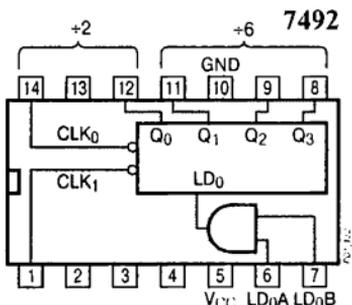
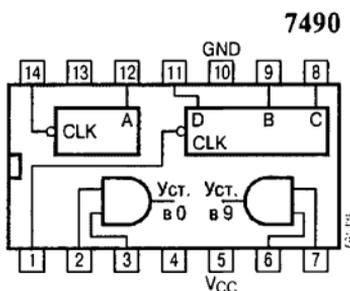
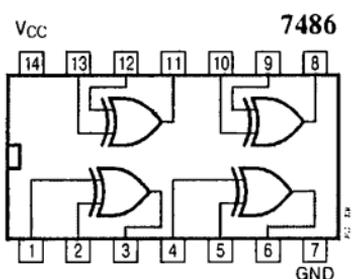
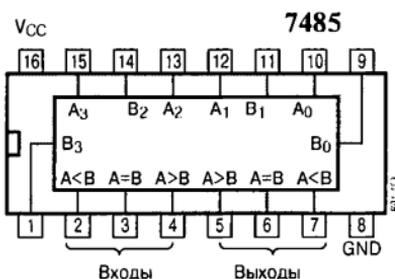
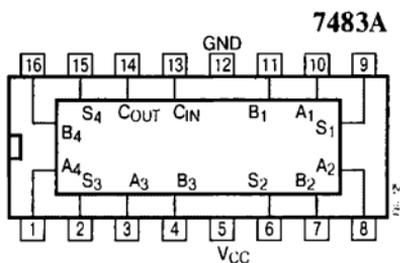
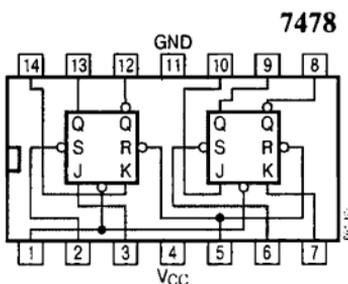
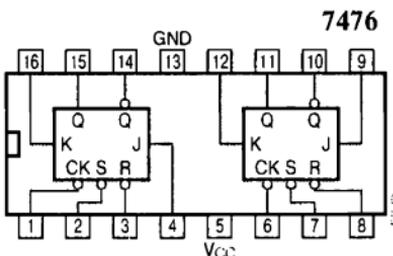
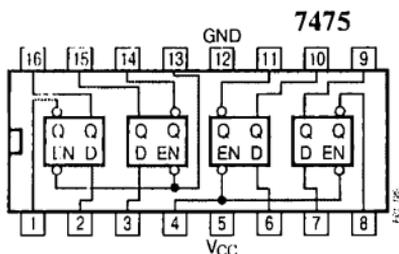
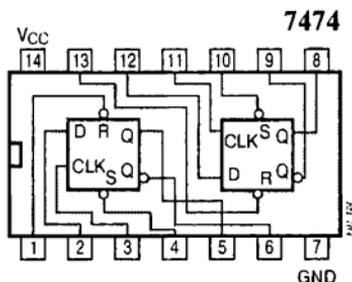
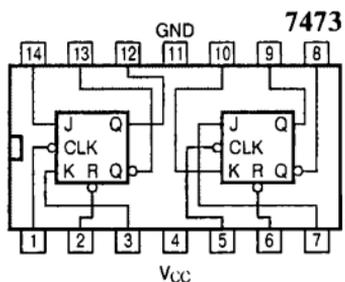
## 1.33. ЦОКОЛЕВКА МИКРОСХЕМ СЕРИИ 74



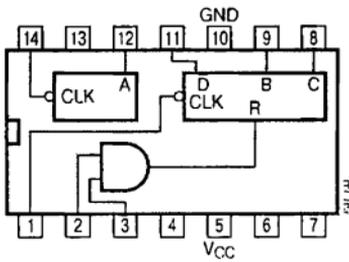




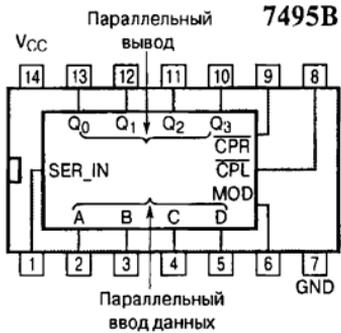




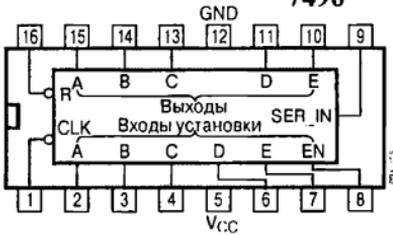
7493



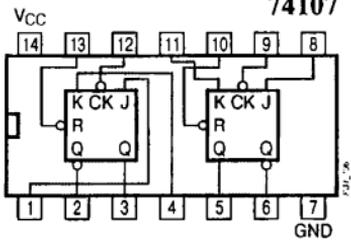
7495B



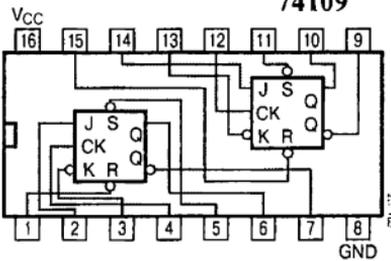
7496



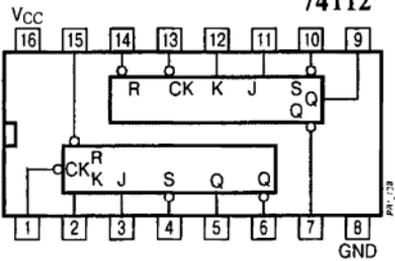
74107



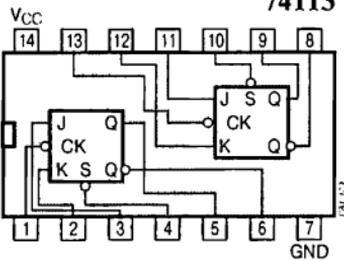
74109



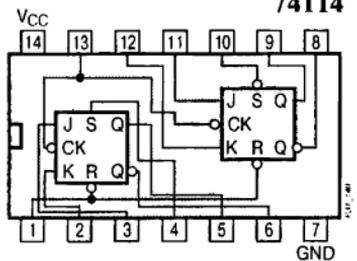
74112



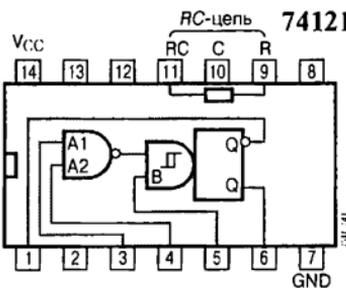
74113



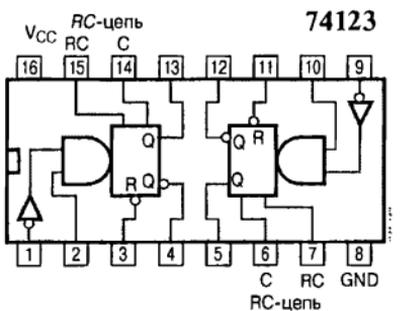
74114

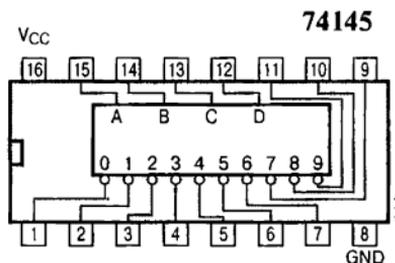
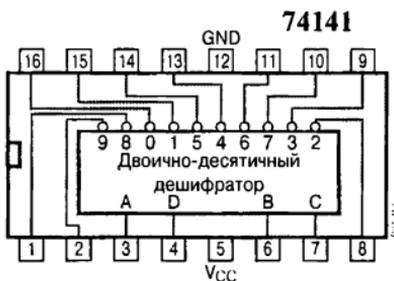
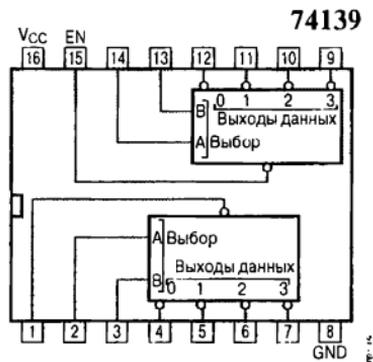
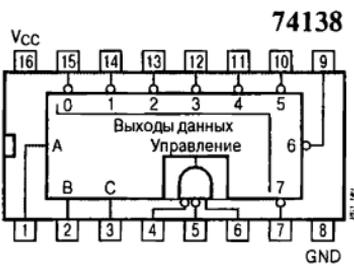
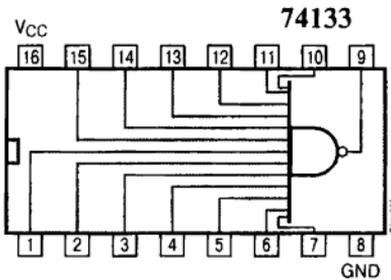
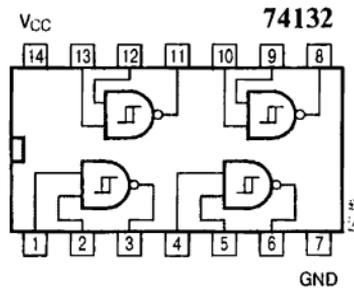
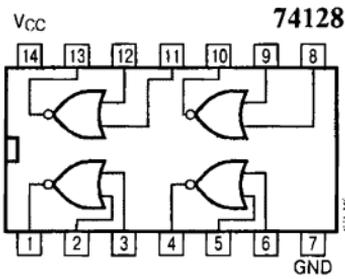
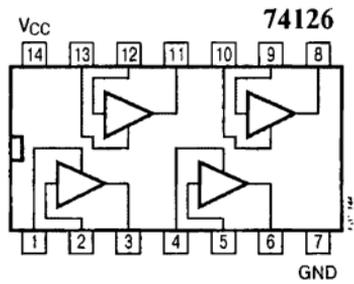
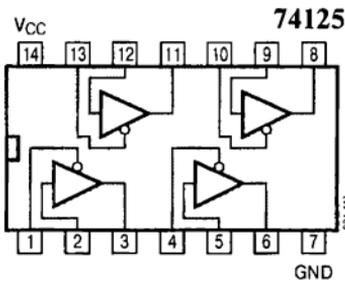


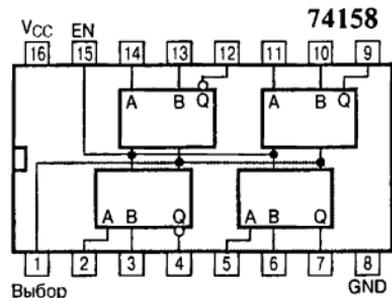
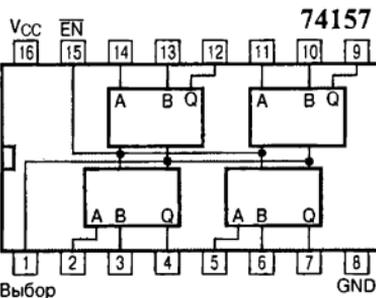
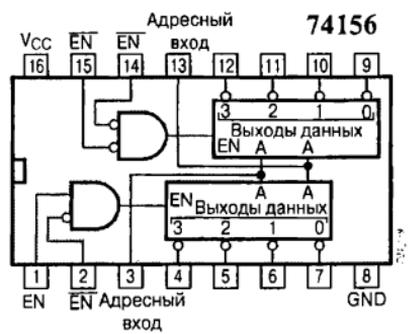
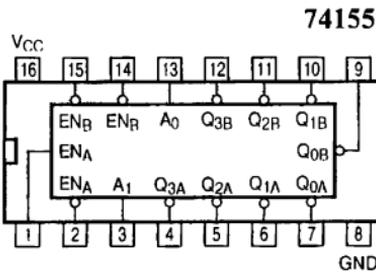
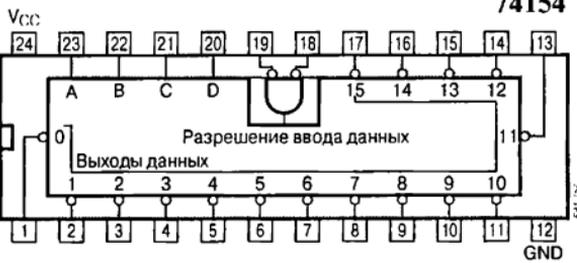
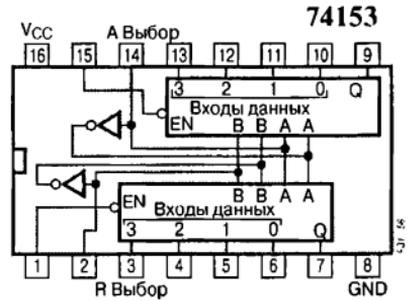
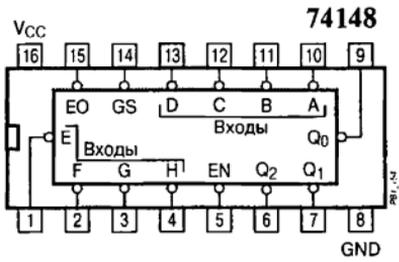
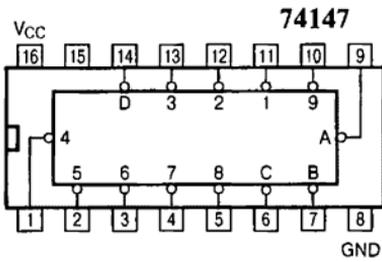
74121

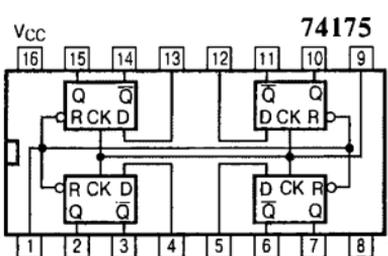
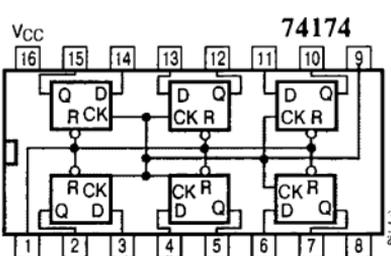
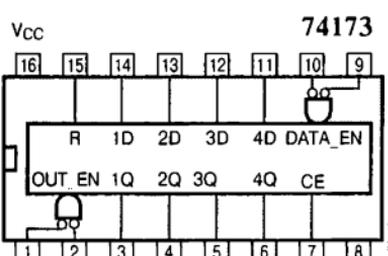
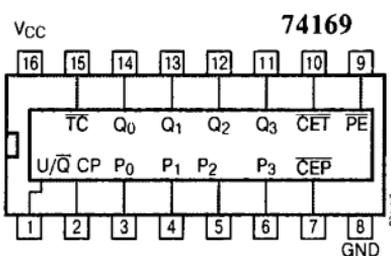
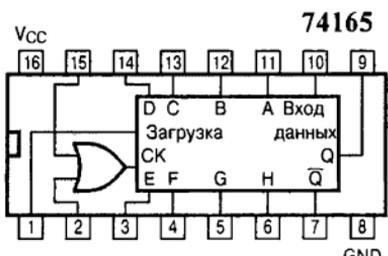
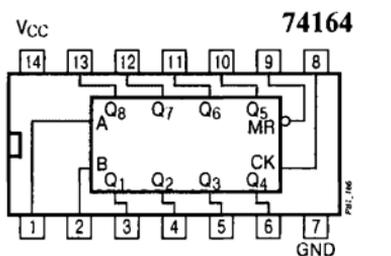
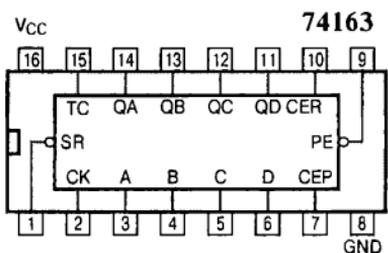
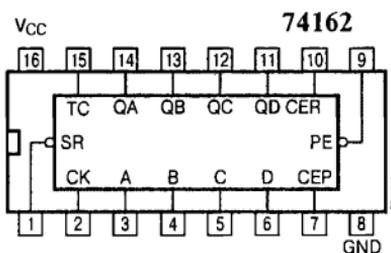
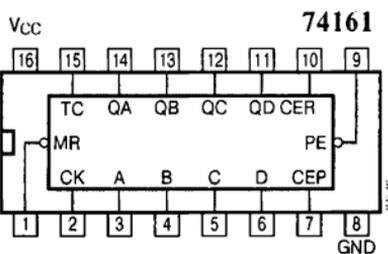
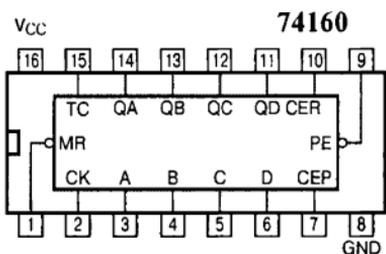


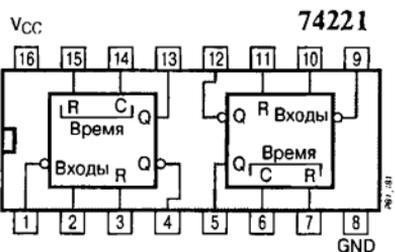
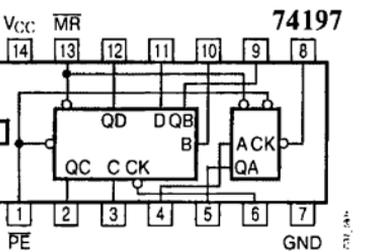
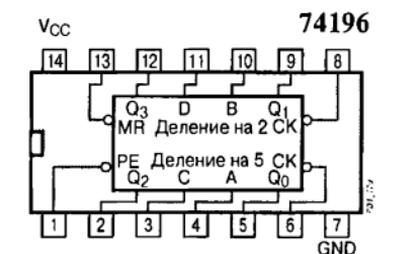
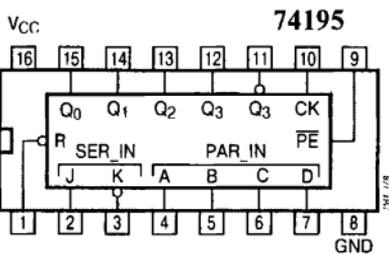
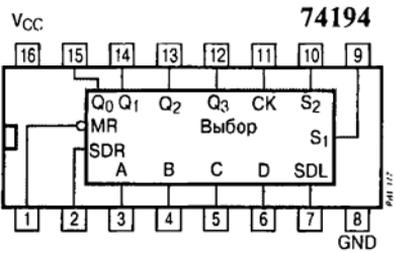
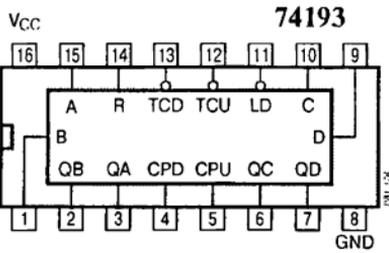
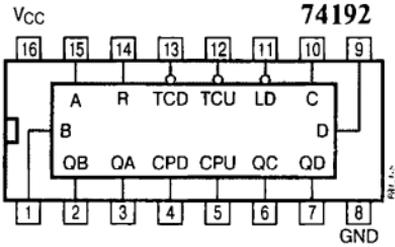
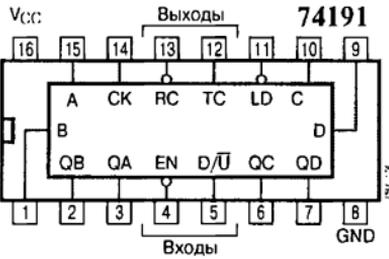
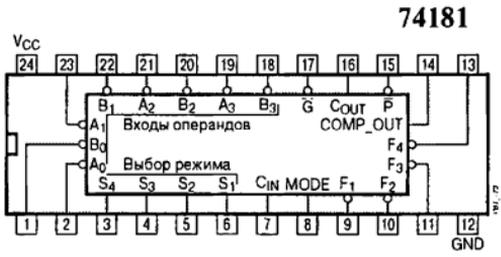
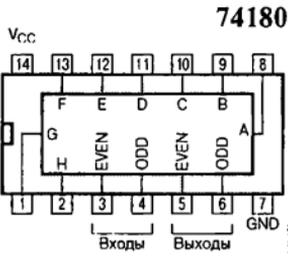
74123

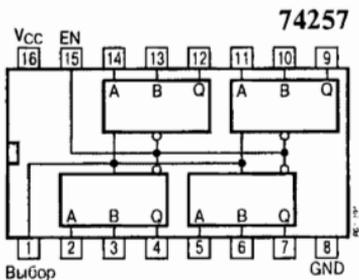
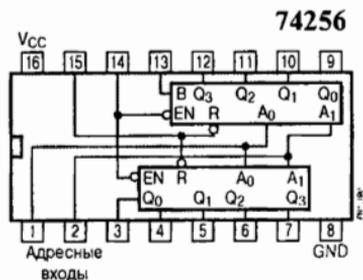
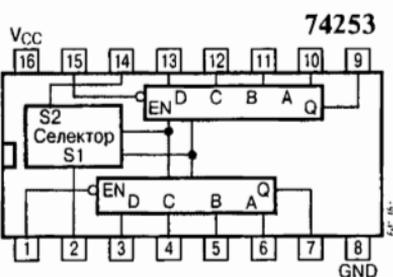
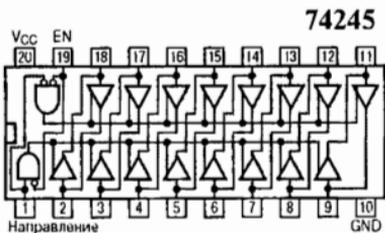
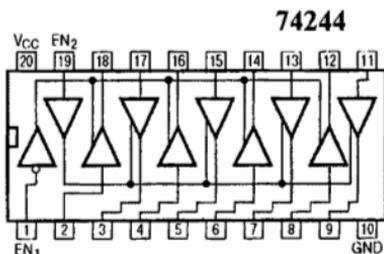
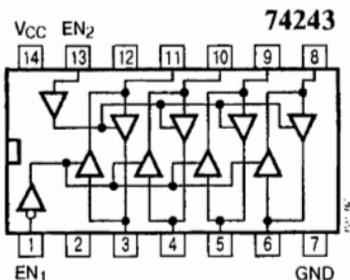
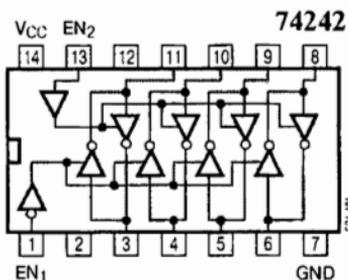
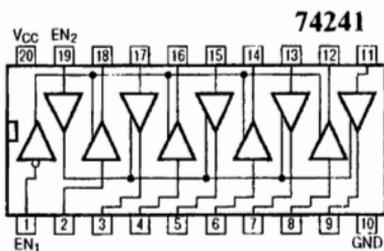
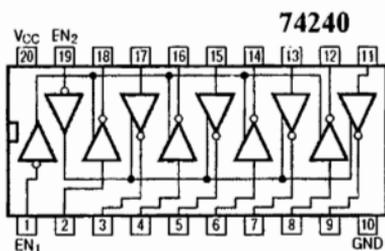


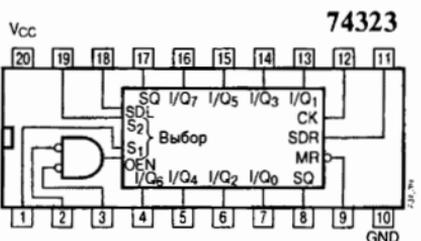
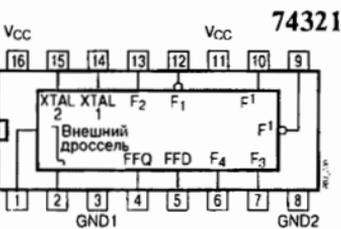
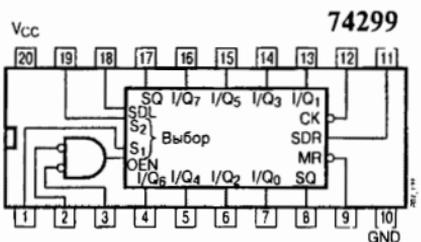
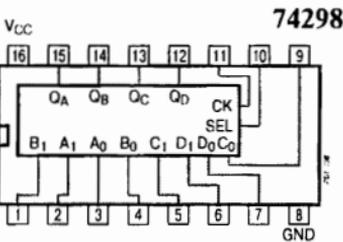
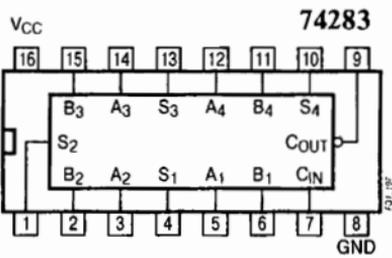
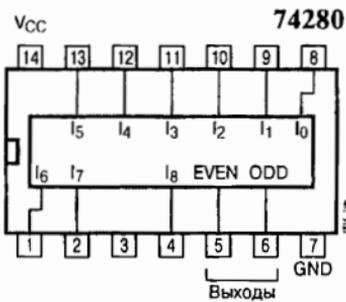
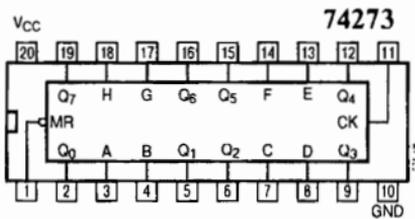
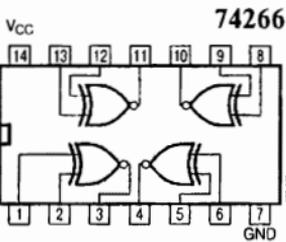
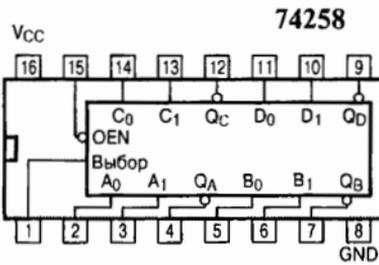


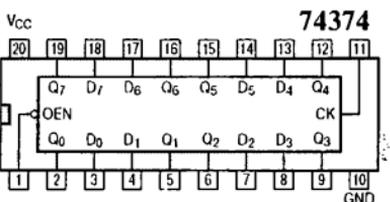
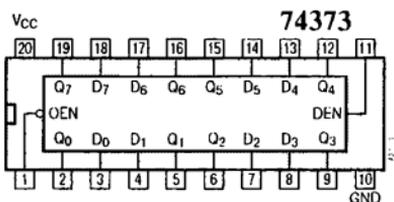
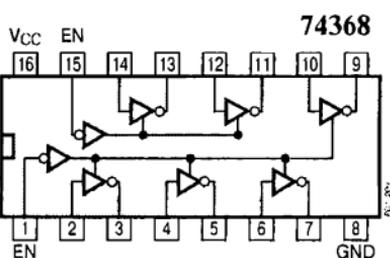
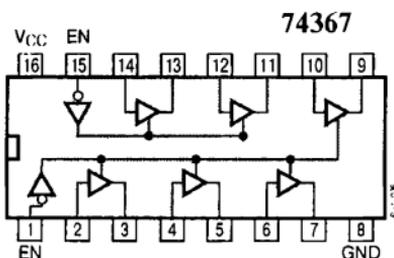
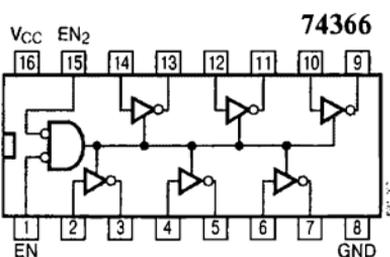
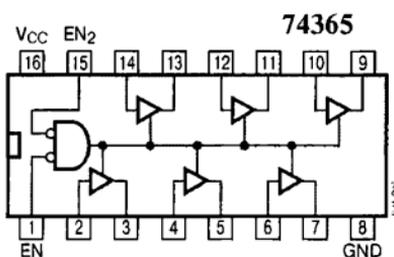
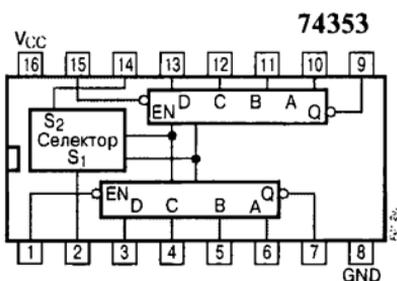
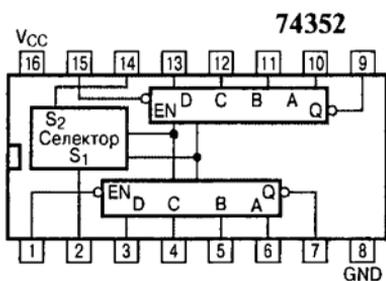


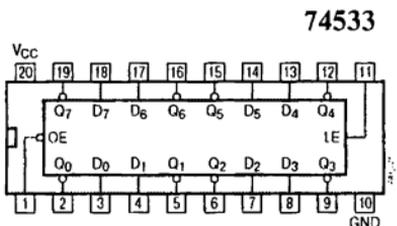
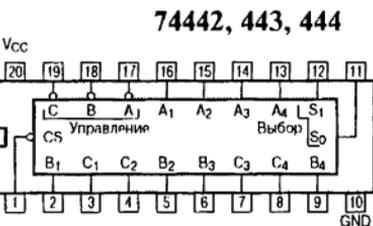
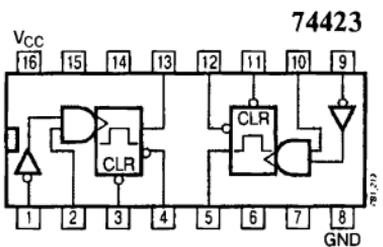
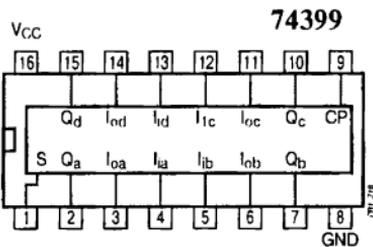
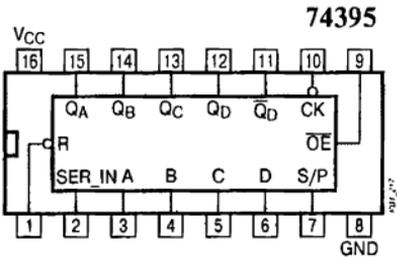
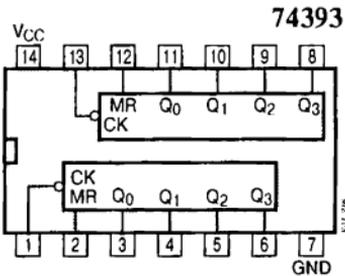
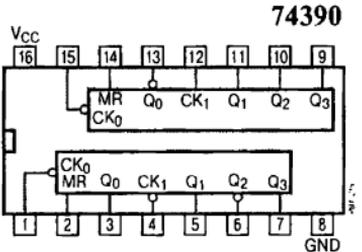
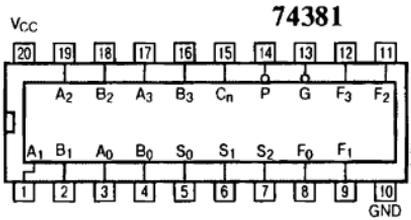
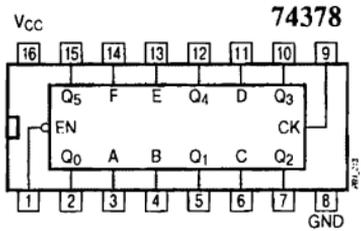
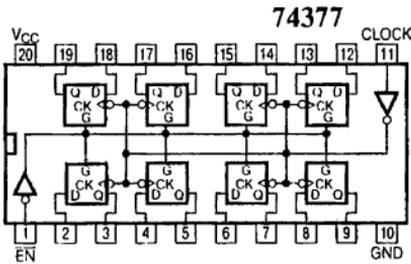




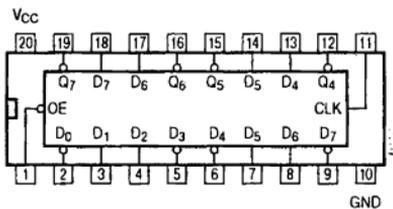




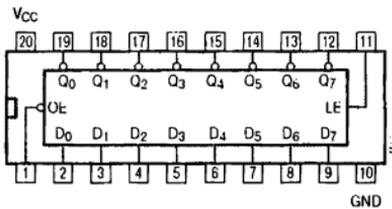




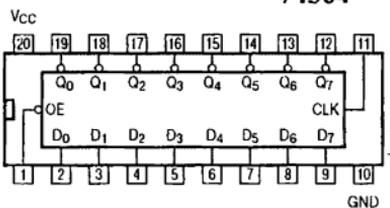
74534



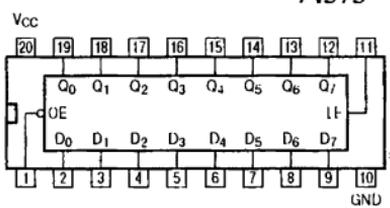
74563



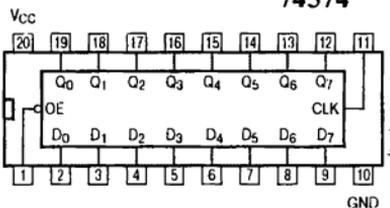
74564



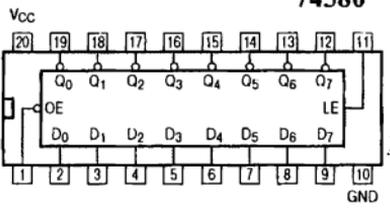
74573



74574



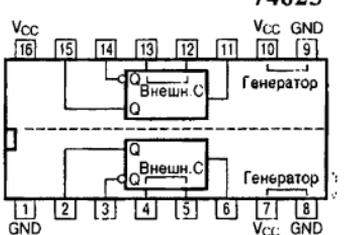
74580



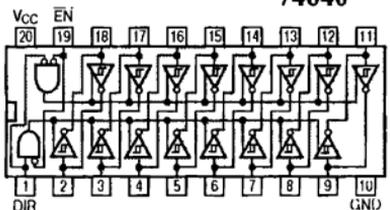
74620



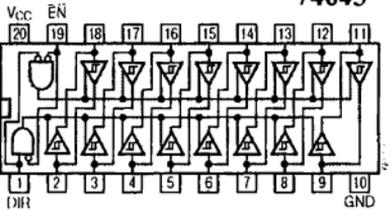
74625



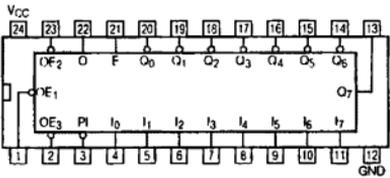
74640



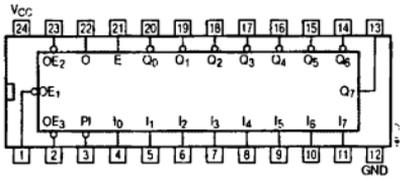
74643



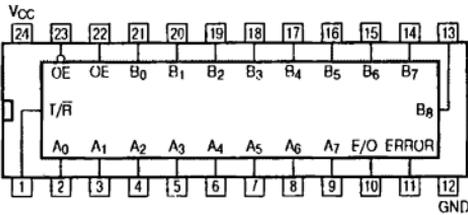
74655



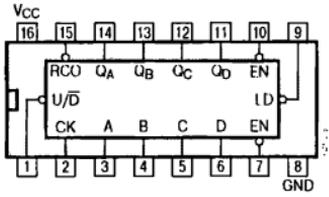
74656



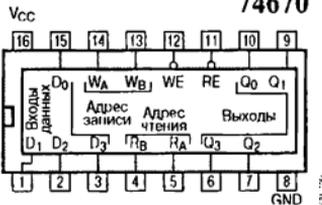
74657



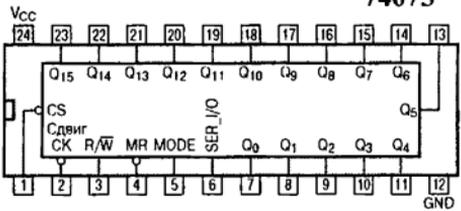
74669



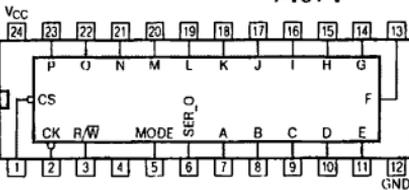
74670



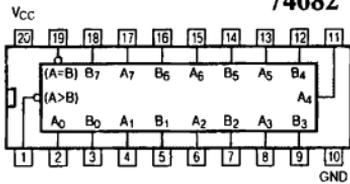
74673



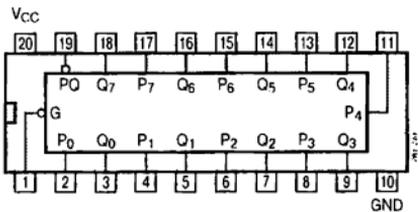
74674



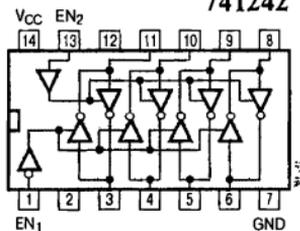
74682

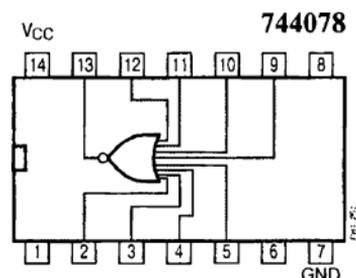
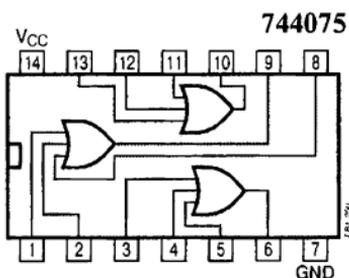
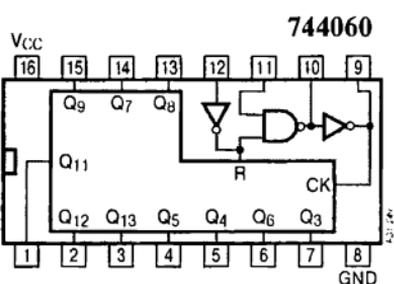
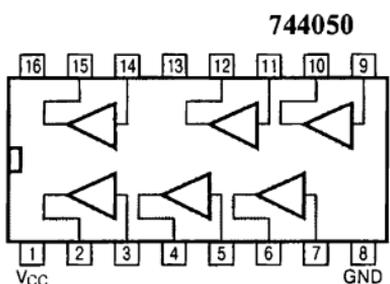
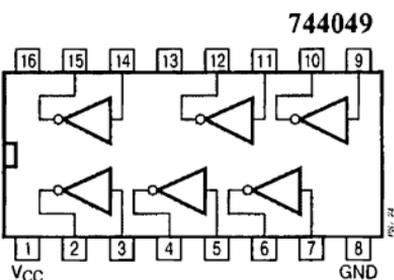
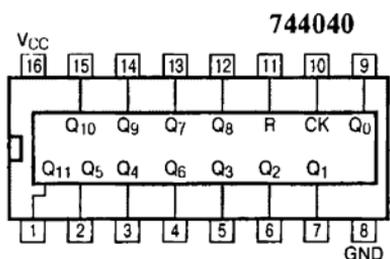
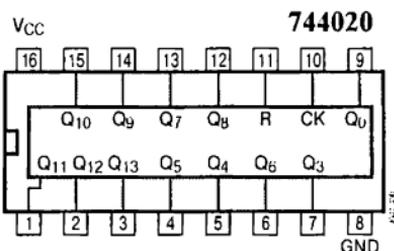
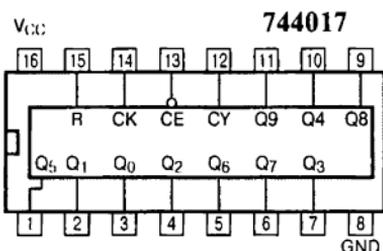
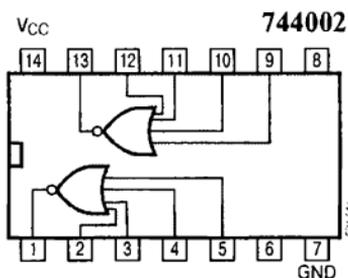
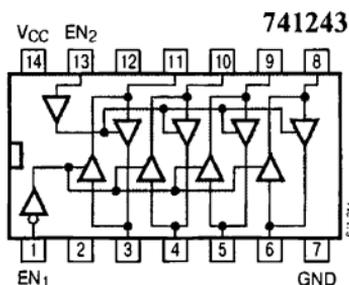


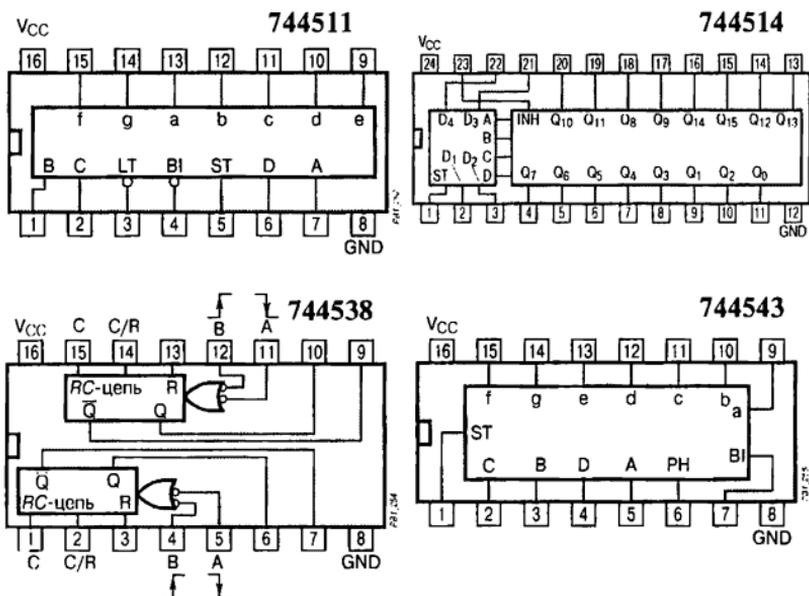
74688



741242







## 1.34. КМОП ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ (СЕРИЯ 4000)

### 1.34.1. Классификация по номерам приборов

Прибор	Описание
4000	Два элемента 3ИЛИ-НЕ + инвертор
4001	Четыре логических элемента 2ИЛИ-НЕ
4002	Два логических элемента 4ИЛИ-НЕ
4006	18-разрядный регистр сдвига
4007	Комплементарная пара с инверсией
4008	4-разрядный полный сумматор с параллельным переносом
4009	Шесть инвертирующих буферов конверторов (преобразователей)
4010	Шесть неинвертирующих буферов конверторов (преобразователей)
4011	Четыре логических элемента 2И-НЕ
4012	Два логических элемента 4И-НЕ
4013	Два D-триггера с установкой/сбросом
4014	8-разрядный статический регистр сдвига
4015	Два 4-разрядных статических сдвиговых регистра
4016	Четыре двунаправленных переключателя
4017	Десятичный счетчик/делитель
4018	Счетчик с делением на N с предварительной установкой

(продолжение)

Прибор	Описание
4019	Четыре логических элемента с выбором И-ИЛИ
4020	14-разрядный двоичный счетчик со сквозным переносом
4021	8-разрядный статический сдвиговый регистр
4022	Счетчик/делитель на 8
4023	Три логических элемента ЗИ-НЕ
4024	7-разрядный двоичный счетчик
4025	Три логических элемента ЗИЛИ-НЕ
4026	Десятичный счетчик/делитель
4027	Два синхронных (тактируемых) двухступенчатых JK-триггера
4028	Двоично-десятичный дешифратор
4029	Реверсивный счетчик с предварительной установкой
4030	Четыре логических элемента Искключающее ИЛИ
4032	Три последовательных сумматора
4035	4-разрядный сдвиговый регистр с параллельным вводом/выводом
4038	Три последовательных сумматора
4040	12-разрядный двоичный счетчик со сквозным переносом
4042	Четыре тактируемые защелки D-типа (D-триггера)
4043	Четыре RS-триггера с тремя состояниями
4044	Четыре RS-триггера с тремя состояниями
4046	Микроваттный генератор ФАПЧ
4047	Мультивибратор генератор/ждущий (без устойчивых состояний/с одним устойчивым состоянием)
4049	Шесть инвертирующих буферов/конвертеров (преобразователей уровня)
4050	Шесть неинвертирующих буферов/конвертеров (преобразователей уровня)
4051	Восьмиканальный мультиплексор
4052	Двойной четырехканальный мультиплексор
4053	Три аналоговых мультиплексора с двумя входами
4054	Схема управления четырехсегментным жидкокристаллическим индикатором
4056	Двоично-семисегментный дешифратор/формирователь
4059	Программируемый счетчик с делением на N
4060	14-разрядный счетчик с генератором
4061	Статическое ОЗУ (256 слов × 1 разряд)
4066	Четыре двунаправленных переключателя

(продолжение)

Прибор	Описание
4068	Логический элемент 8И-НЕ
4069	Шесть инверторов
4070	Четыре логических элемента Иключающее ИЛИ
4071	Четыре логических элемента 2ИЛИ
4072	Два логических элемента 4ИЛИ
4073	Три логических элемента 3И
4073	Три логических элемента 3ИЛИ
4076	4-разрядный регистр D-типа
4077	Четыре логических элемента Иключающее ИЛИ
4078	Логический элемент 8ИЛИ-НЕ
4081	Четыре логических элемента 2И
4082	Два логических элемента 4И
4085	Два логических элемента 2-2И-2ИЛИ-НЕ
4086	Логический элемент 2-2-2-3И-4ИЛИ-НЕ (2-2-2-2И-4ИЛИ-НЕ) с возможностью расширения (по ИЛИ)
4093	Четыре элемента 2И-НЕ на триггерах Шмитта
4094	8-разрядный сдвиговой регистр с хранением
4099	8-разрядная защелка (регистр) с адресацией
40106	Шесть инвертирующих триггеров Шмитта
4160	Асинхронный десятичный счетчик со сбросом
4161	Асинхронный 4-разрядный двоичный счетчик со сбросом
4162	Синхронный десятичный счетчик со сбросом
4163	Синхронный 4-разрядный двоичный счетчик со сбросом
4502	Шесть инвертирующих буферов со стробированием
4508	Сдвоенная четырехразрядная защелка
4510	Двоичный реверсивный счетчик
4511	Двоично-семисегментный дешифратор/формирователь
4512	Восьмиканальный селектор данных
4513	Двоично-семисегментная защелка/формирователь
4514	Дешифратор 1×16 (высокий уровень на выходе)
4515	Дешифратор 1×16 (низкий уровень на выходе)
4516	Двоичный реверсивный счетчик
4518	Сдвоенный прямой двоичный счетчик

(окончание)

Прибор	Описание
4519	Четыре двухвходовых мультиплексора
4520	Сдвоенный 4-разрядный двоичный счетчик
4521	24-разрядный делитель частоты
4522	Программируемый двоичный делитель (двоично-десятичного кода)
4526	Программируемый двоичный делитель
4527	Двоичный умножитель частоты (повторения)
4528	Два перезапускаемых одновибратора
4529	Два четырехканальных аналоговых селектора
4530	Два двухразрядных мажоритарных логических элемента
4531	12-разрядная древовидная схема контроля по четности
4532	8-разрядный шифратор приоритета
4536	Программируемый таймер
4538	Два ждущих мультивибратора
4539	Сдвоенный 4-разрядный мультиплексор
4541	Программируемый таймер
4543	Схема управления жидкокристаллического дисплея, содержащая регистр-зашелку с преобразованием двоичного кода в семисегментный
4551	Четыре двухвходовых аналоговых мультиплексора
4553	3-разрядный двоичный счетчик
4554	Двоичный умножитель $2 \times 2$
4556	Два двоичных дешифратора $4 \times 1$
4560	Двоичный сумматор (двоичного кода)
4561	Схема образования обратного кода к 9
4566	Генератор временной развертки
4580	Многопортовый регистр $4 \times 4$ (банк регистров $4 \times 4$ )
4581	4-разрядное арифметико-логическое устройство
4582	Схема ускоренного переноса 4-разрядных величин
4583	Два триггера Шмита
4585	Четырехразрядная схема сравнения величин (компаратор)
4597	8-разрядный шинный регистр-зашелка с тремя состояниями
4598	8-разрядный шинный регистр-зашелка с тремя состояниями
4599	8-разрядный регистр-зашелка с адресацией
45100	Матричный переключатель (коммутатор) $4 \times 4$

## 1.34.2. Классификация по функциональному назначению

Функция, выполняемая прибором	Номер
<b>Логические элементы — элемент И</b>	
Три 3И	4073
Четыре 2И	4081
<b>Логические элементы — элемент ИЛИ</b>	
Четыре 2ИЛИ	4071
Два 4ИЛИ	4072
Три 3ИЛИ	4075
<b>Логические элементы — элемент Исключающее ИЛИ</b>	
Четыре двухходовых	4070
<b>Логические элементы — элемент И-НЕ</b>	
Четыре 2И-НЕ	4011
Два 4И-НЕ	4012
Три 3И-НЕ	4023
8И-НЕ	4068
<b>Логические элементы — элемент ИЛИ-НЕ</b>	
Четыре 2ИЛИ-НЕ	4001
Два 4ИЛИ-НЕ	4002
Три 3ИЛИ-НЕ	4025
8ИЛИ-НЕ	4078
<b>Логические элементы — элемент Исключающее ИЛИ-НЕ</b>	
Четыре двухходовых	4077
<b>Триггеры Шмитта</b>	
Четыре элемента 2И-НЕ	4093
Шесть инвертирующих	40106
Два	4583
<b>Мажоритарные логические элементы</b>	
Два пятиразрядных	4530
<b>Буферы</b>	
Шесть инвертирующих	4049
Шесть	4050
Шесть инвертирующих	4069
Шесть инвертирующих со стробированием	4502
<b>Триггеры (бистабильные ячейки)</b>	
Два D-типа	4013
Два JK	4027
Четыре тактируемые защелки D-типа (D-триггера)	4042
Четыре RS-триггера с тремя состояниями	4043

(продолжение)

Функция, выполняемая прибором	Номер
Четыре RS-триггера с тремя состояниями	4044
4-разрядный регистр D-типа	4076
8-разрядная защелка (регистр) с адресацией	4099
Сдвоенная четырехразрядная защелка (регистр)	4508
Многопортовый регистр 4×4 (банк регистров 4×4)	4580
8-разрядный шинный регистр- защелка с тремя состояниями	4597
8-разрядный шинный регистр- защелка с тремя состояниями	4598
8-разрядный регистр- защелка с адресацией	4599
<b>Счетчики</b>	
10-разрядный десятичный	4017
Счетчик с выходом на 10-разрядную установку	4018
11-разрядный двоичный счетчик со скользящим переносом	4020
Счетчик с выходом на 4-разрядную установку	4022
4-разрядный двоичный	4024
Бинарный счетчик с преобразительной установкой	4029
11-разрядный двоичный счетчик со скользящим переносом	4040
11-разрядный счетчик с генератором	4060
Асинхронный десятичный счетчик со сбросом	4160
Асинхронный 4-разрядный двоичный счетчик со сбросом	4161
Синхронный десятичный счетчик со сбросом	4162
Синхронный 4-разрядный двоичный счетчик со сбросом	4163
Двоичный реверсивный	4510
Двоичный реверсивный	4516
Сдвоенный прямой двоичный счетчик	4518
Сдвоенный 4-разрядный двоичный счетчик	4520
24-разрядный делитель частоты	4521
Программируемый двоичный делитель (двоично-десятичного кода)	4522
Программируемый двоичный делитель	4526
3-разрядный двоичный счетчик	4553
<b>Сдвиговые регистры</b>	
8-разрядный статический	4014
Два 4-разрядных статических	4015
8-разрядный статический	4021
4-разрядный с параллельным вводом/выводом	4035
8-разрядный с хранением	4094

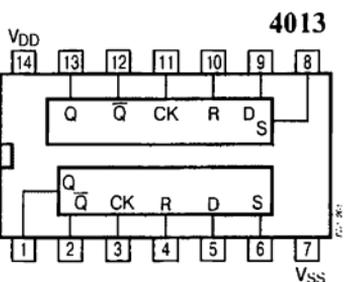
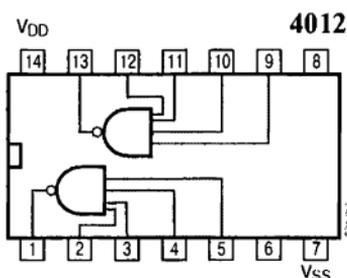
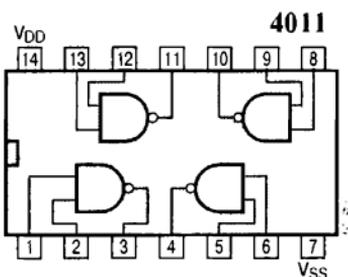
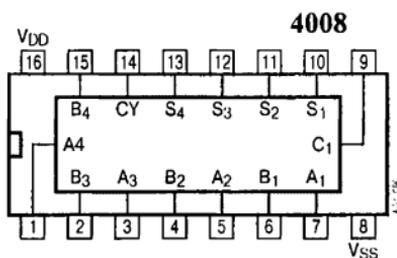
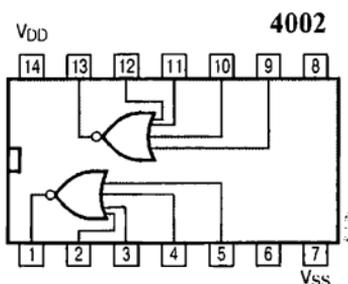
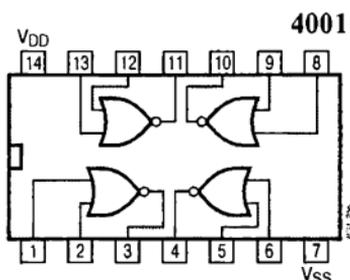
(продолжение)

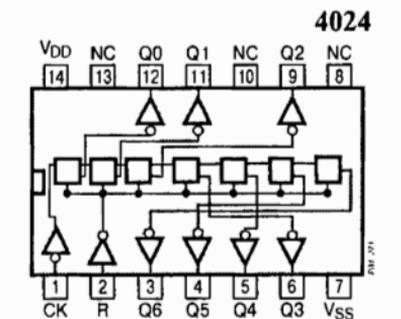
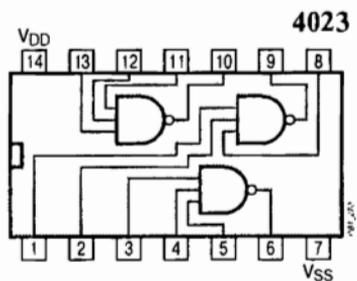
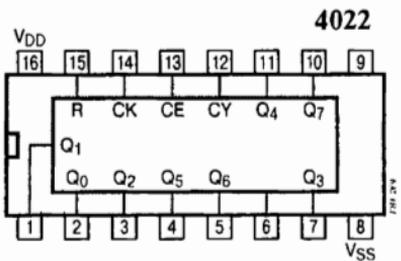
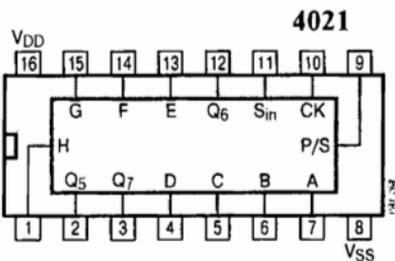
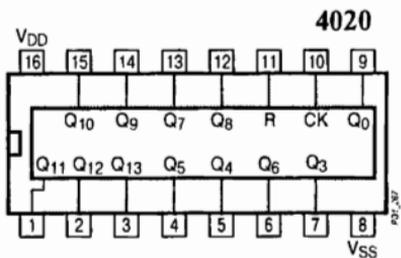
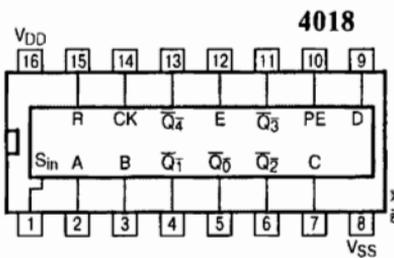
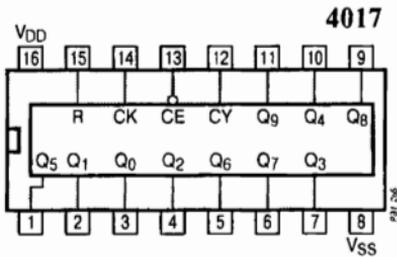
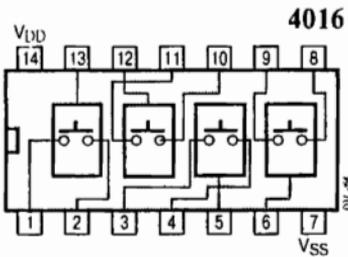
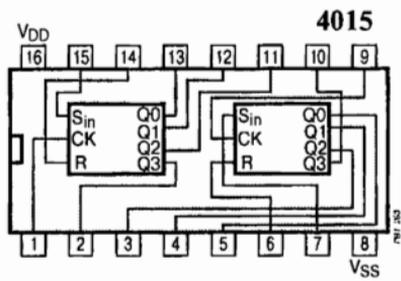
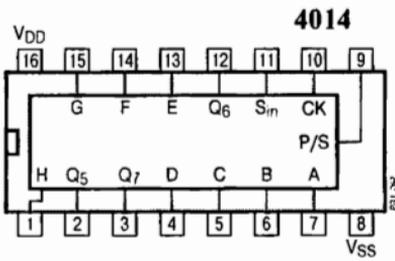
Функция, выполняемая прибором	Номер
<b>Шифраторы, дешифраторы/формирователи</b>	
<b>Дешифраторы</b>	
Двоично-десятичный, двоично-восьмеричный	4028
Двоично-семисегментный дешифратор/формирователь	4511
Двоично-семисегментная защелка/формирователь	4513
Дешифратор 1×16 (высокий уровень на выходе)	4514
Дешифратор 1×16 (низкий уровень на выходе)	4515
Схема управления жидкокристаллического дисплея, содержащая регистр-защелку с преобразованием двоичного кода в семисегментный	4543
Два двоичных дешифратора 4×1	4556
<b>Шифраторы/мультиплексоры</b>	
Восьмиканальный мультиплексор	4051
Двойной четырехканальный мультиплексор	4052
Три аналоговых мультиплексора с двумя входами	4053
Восьмиканальный селектор данных	4512
Четыре двухходовых мультиплексора	4519
Два четырехканальных аналоговых селектора	4529
Восьмиразрядный шифратор приоритета	4532
Сдвоенный 4-разрядный мультиплексор	4539
Четыре двухходовых аналоговых мультиплексора	4551
<b>Арифметические функции</b>	
4-разрядный полный сумматор	4008
Три последовательных сумматора + логика	4032
Три последовательных сумматора + логика	4038
Двоичный умножитель частоты (повторения)	4527
12-разрядная древовидная схема контроля по четности	4531
Двоичный умножитель 2×2	4554
Двоичный сумматор (двоичного кода)	4560
Схема образования обратного кода к 9	4561
4-разрядное арифметико-логическое устройство	4581
Схема ускоренного переноса 4-разрядных величин	4582
4-разрядная схема сравнения величин (компаратор)	4585

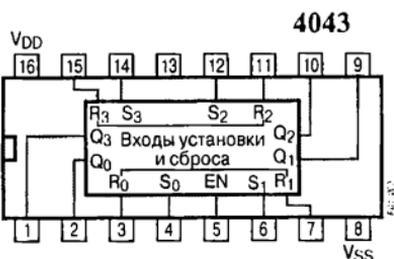
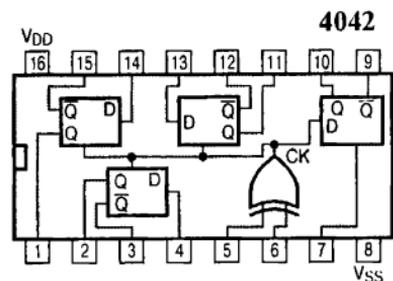
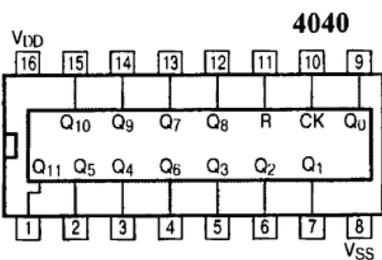
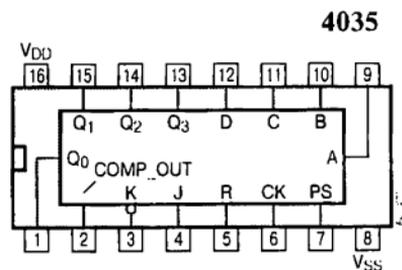
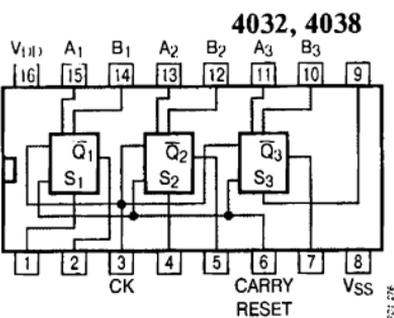
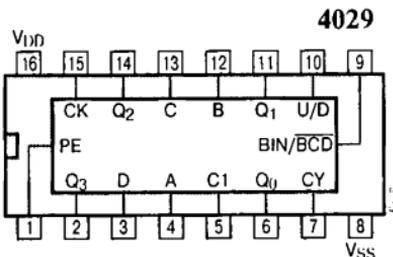
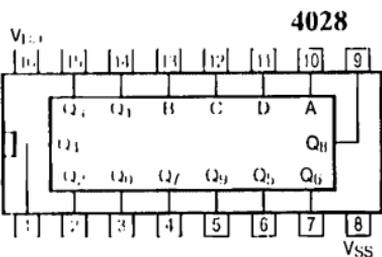
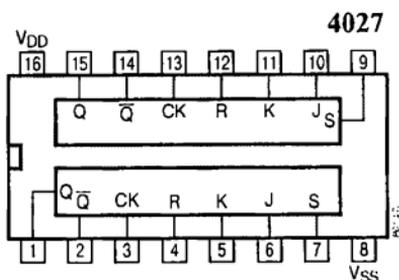
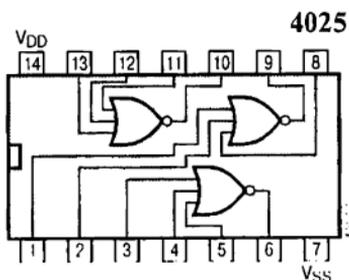
(окончание)

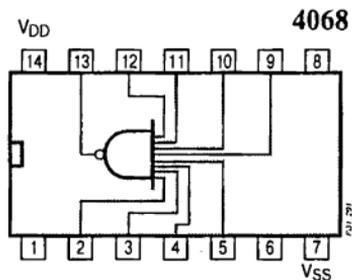
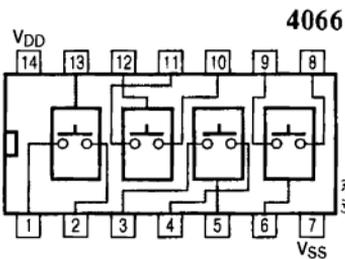
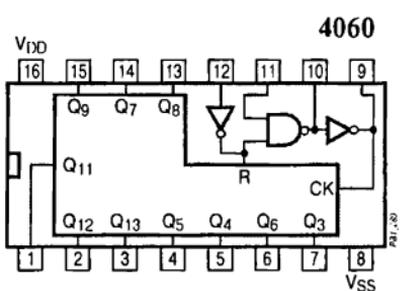
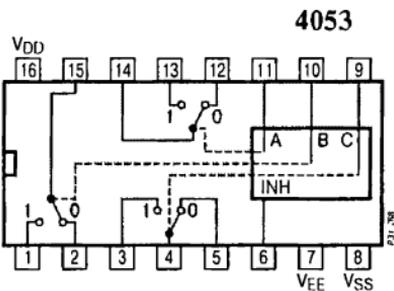
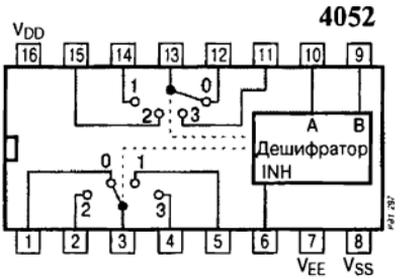
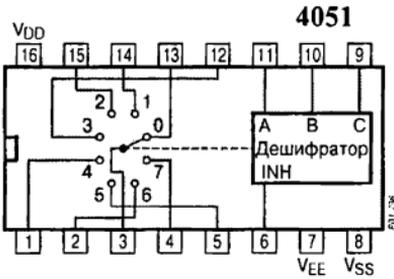
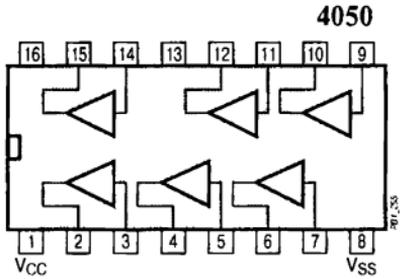
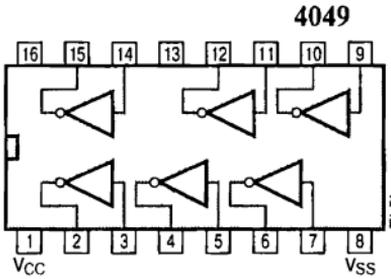
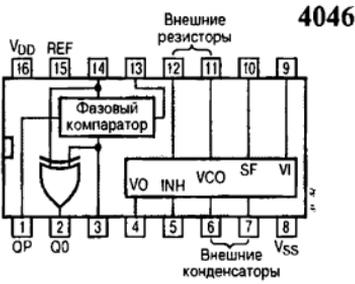
Функция, выполняемая прибором	Номер
<b>Прочие функции</b>	
Четыре двунаправленных переключателя	4016
Четыре двунаправленных переключателя	4016
Микроваттный генератор ФАПЧ	4046
Мультивибратор генератор/ждущий (без устойчивых состояний/с одним устойчивым состоянием)	4047
Четыре двунаправленных переключателя	4066
Два перезапускаемых одновибратора	4528
Программируемый таймер	4536
Два ждущих мультивибратора	4538
Программируемый таймер	4541
Генератор временной развертки	4566
Матричный переключатель (коммутатор) 4×4	45100

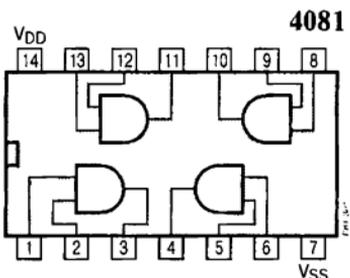
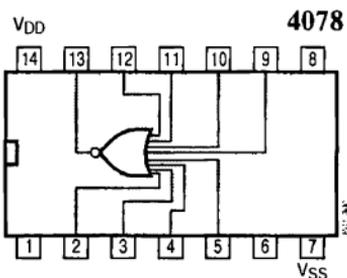
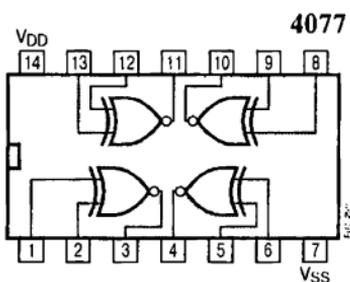
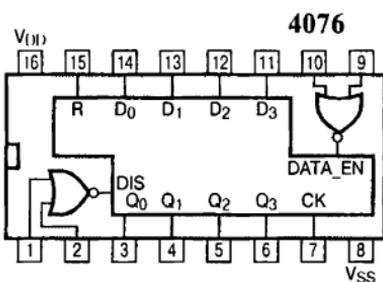
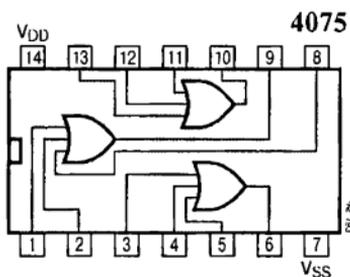
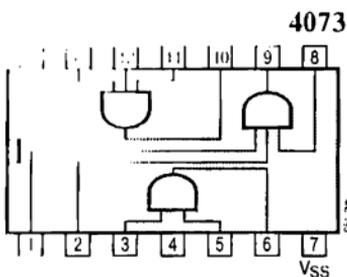
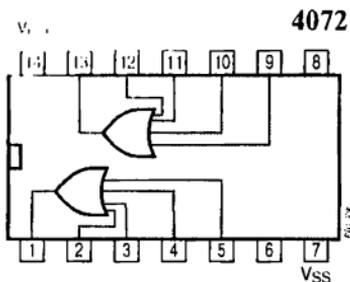
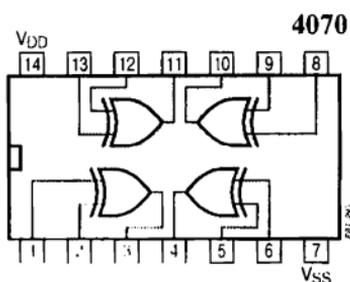
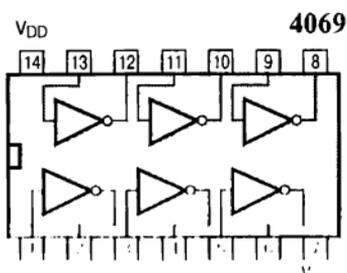
## 1.35. ЦОКОЛЕВКА МИКРОСХЕМ СЕРИИ 4000

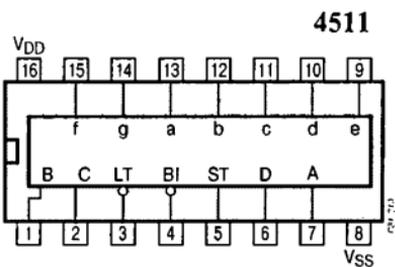
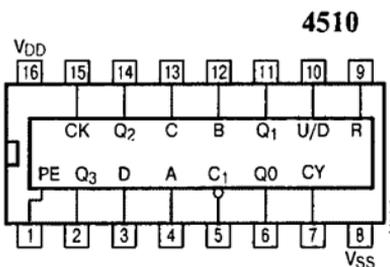
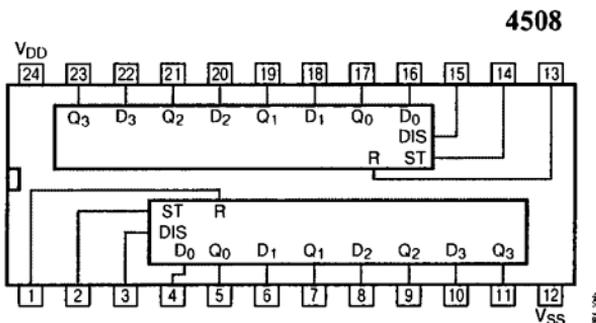
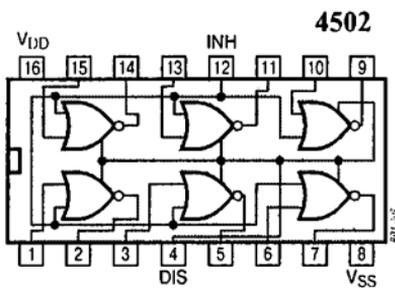
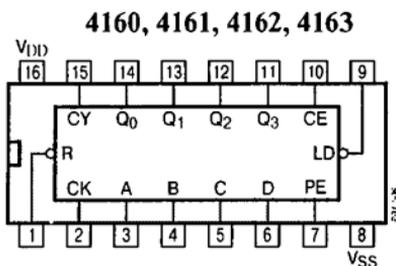
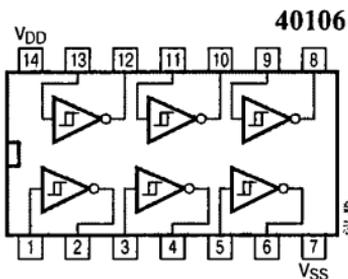
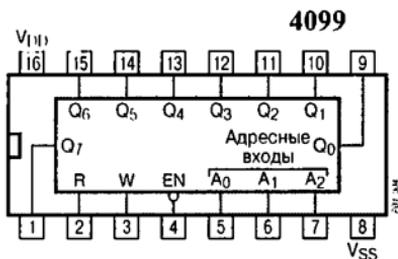
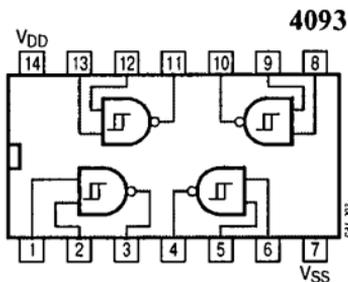


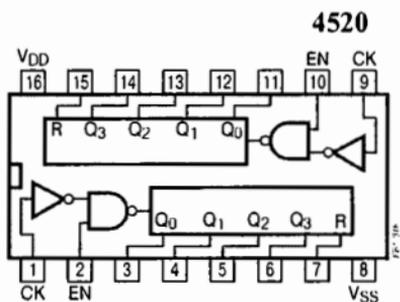
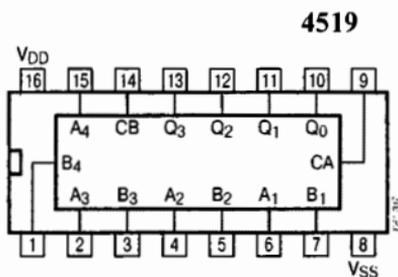
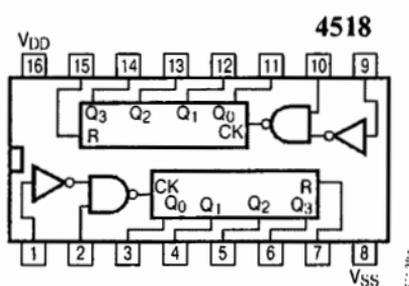
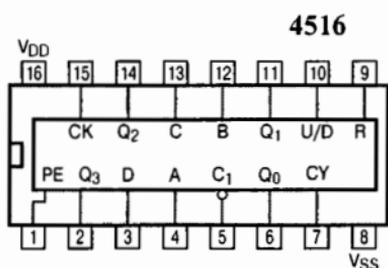
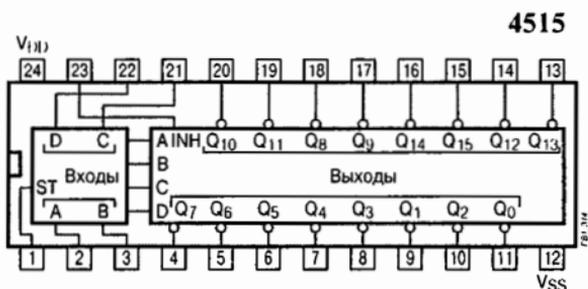
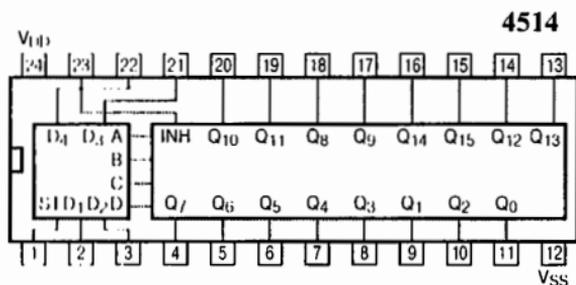
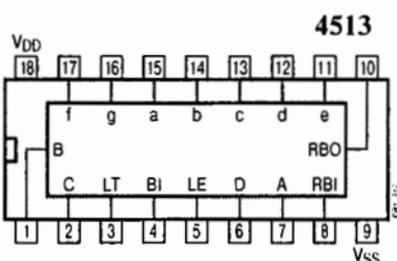


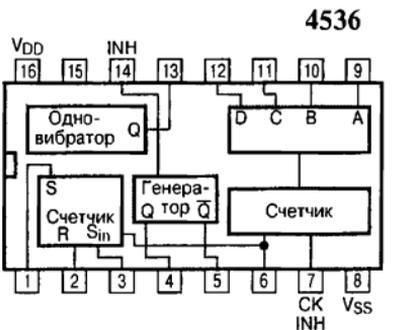
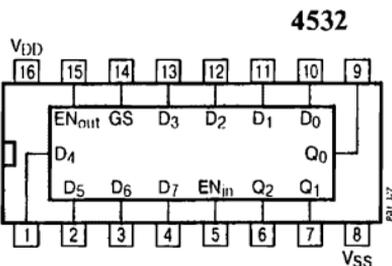
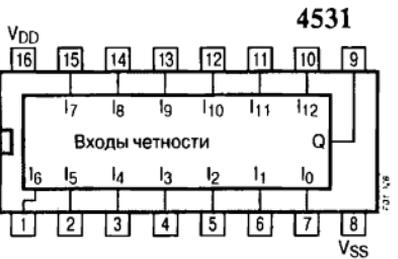
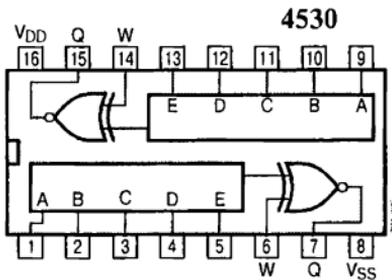
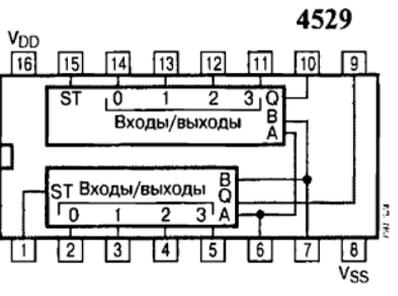
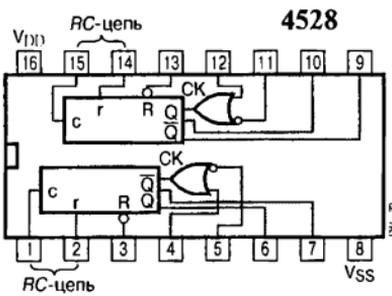
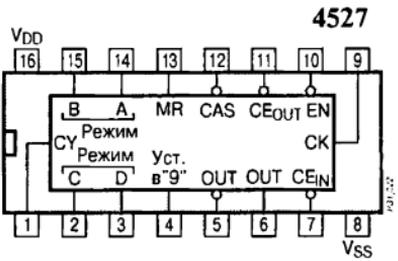
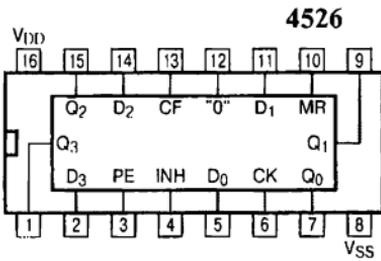
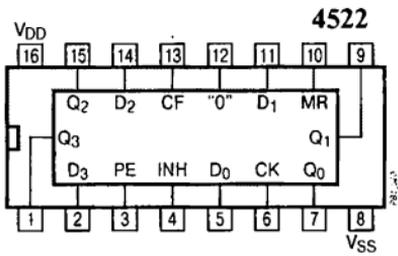
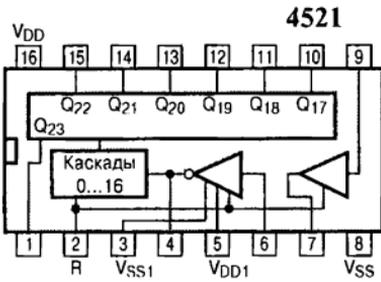


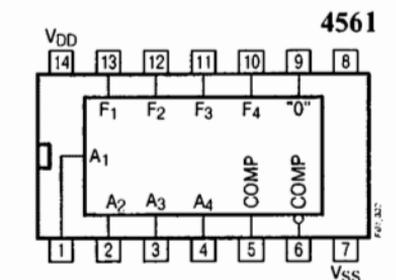
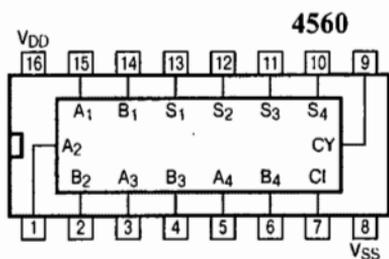
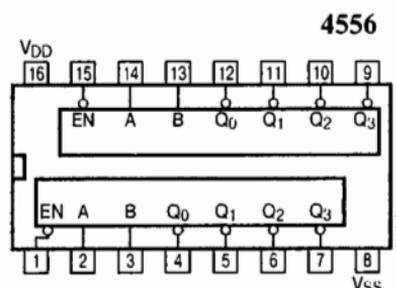
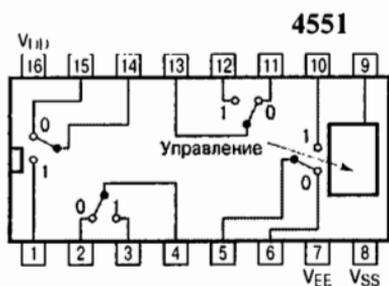
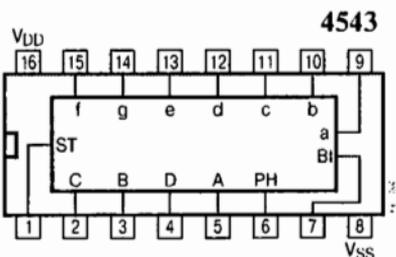
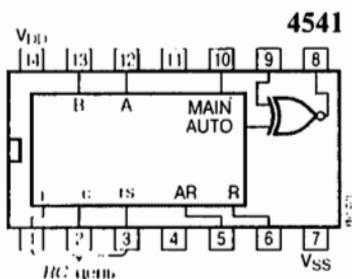
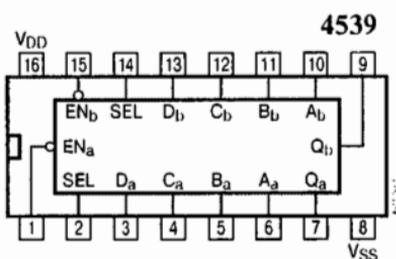
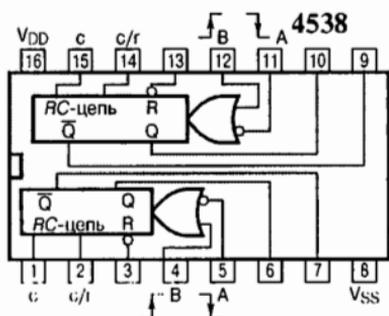


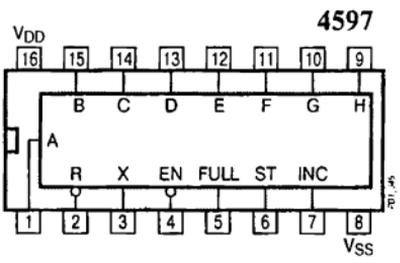
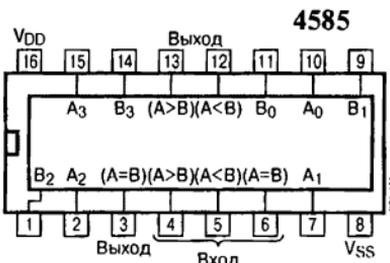
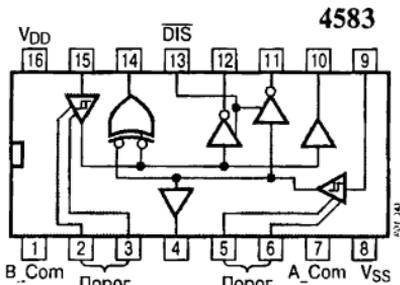
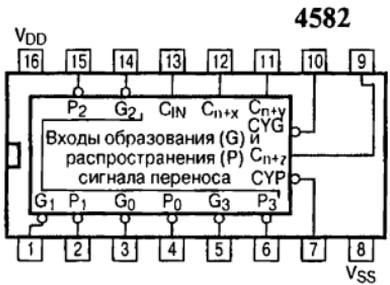
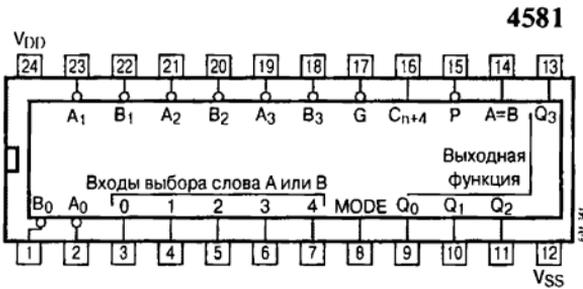
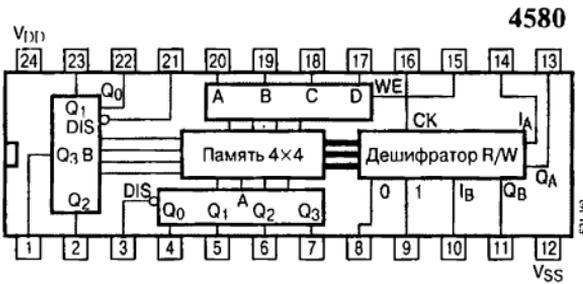
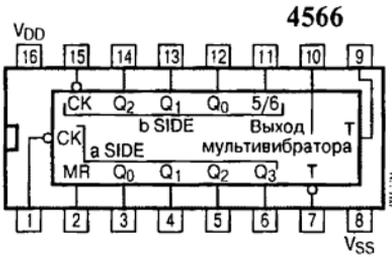


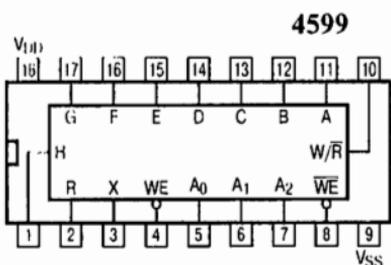
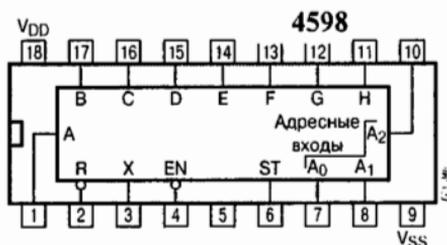












### 1.36. СИМВОЛЫ ПАРАМЕТРОВ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ

$I_{IH}$  — входной ток логической единицы

$I_{IL}$  — входной ток логического нуля

$I_{OH}$  — выходной ток логической единицы

$I_{OL}$  — выходной ток в закрытом состоянии

$I_{OS}$  — выходной ток в режиме короткого замыкания

$I_{CCH}$  — ток питания при ВЫСОКОМ уровне на выходе (выходах)

$I_{CCL}$  — ток питания при НИЗКОМ уровне на выходе (выходах)

$f_{max}$  — максимальная тактовая частота

$f_w$  — среднее значение длительности импульса

$I_{DD}$  — ток в режиме покоя (КМОП-прибора)

$I_{OL}$  — выходной ток логического нуля

$I_{IN}$  — входной ток

$I_{OZ}$  — выходной ток в состоянии ВЫСОКОГО импеданса на выходе с тремя состояниями

$I_{CC}$  — ток в режиме покоя (ТТЛ-прибора)

$t_h$  — время удержания

$t_{PZX}$  — время задержки распространения сигнала при переходе из состояния «выключено» в состояние ВЫСОКОГО или НИЗКОГО уровня для выхода с тремя состояниями

$t_{PXZ}$  — время задержки распространения сигнала при переходе в состояние «включено» из состояния ВЫСОКОГО или НИЗКОГО уровня для выхода с тремя состояниями

$t_{PD}$  — время задержки распространения сигнала

$t_{GLH}$  — время перехода из состояния НИЗКОГО уровня в состояние ВЫСОКОГО уровня

$t_{\text{THL}}$  — время перехода из состояния ВЫСОКОГО уровня в состояние НИЗКОГО уровня

$Q_0$  — уровень сигнала (на выходе)  $Q$  перед тем как на входе установится указанное устойчивое состояние

$\bar{Q}_0$  — обратное (дополняющее) значение

$V_{\text{IH}}$  — входное напряжение ВЫСОКОГО логического уровня

$V_{\text{IL}}$  — входное напряжение НИЗКОГО логического уровня

$V_{\text{T+}}$  — пороговое напряжение для сигнала положительной полярности

$V_{\text{T-}}$  — пороговое напряжение для сигнала отрицательной полярности

$V_{\text{OH}}$  — выходное напряжение ВЫСОКОГО логического уровня

$V_{\text{OL}}$  — выходное напряжение НИЗКОГО логического уровня

$V_{\text{(ON)}}$  — выходное напряжение в открытом состоянии

$V_{\text{(OFF)}}$  — выходное напряжение в закрытом состоянии

$V_{\text{DD}}$  — напряжение питания постоянного тока (КМОП)

$V_{\text{CC}}$  — напряжение питания постоянного тока (ТТЛ)

$V_{\text{SS}}$  — заземление (КМОП)

GND — заземление (ТТЛ)

$V_{\text{IN}}$  — входное напряжение

$T_{\text{S}}$  — температура нагрева вывода при пайке

$P_{\text{D}}$  — рассеяние на корпусе

$T_{\text{S}}$  — диапазон температур хранения

$T_{\text{A}}$  — диапазон рабочих температур

$H$  — ВЫСОКИЙ уровень (устойчивое состояние)

$L$  — НИЗКИЙ уровень (устойчивое состояние)

↓ — изменение уровня (сигнала) от ВЫСОКОГО к НИЗКОМУ

↑ — изменение уровня (сигнала) от НИЗКОГО к ВЫСОКОМУ

$X$  — несущественный уровень входного сигнала

$Z$  — состояние ВЫСОКОГО импеданса выхода с тремя состояниями

$\text{⌋}$  — одиночный импульс ВЫСОКОГО уровня

$\text{⌋}$  — одиночный импульс НИЗКОГО уровня

Toggle (переключение из одного состояния в другое) — состояние на каждом выходе изменяется на обратное к его предыдущему уровню

$Q_n$  — уровень сигнала (на выходе)  $Q$  перед самым последним изменением

## 1.37. ПАРАМЕТРЫ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

## 1.37.1. Операционные усилители на биполярных транзисторах

Тип прибора	OP07	OP27	11	165	301A	308	324	348	531	709	725CN	741/741N	741S	747	748	759	558	552	554	559
Диапазон напряжения питания ( $V_S$ ) [В]	$\pm 3 \dots \pm 18$	$\pm 4 \dots \pm 18$	$\pm 2.5 \dots \pm 20$	$\pm 6 \dots \pm 18$	$\pm 5 \dots \pm 18$	$\pm 5 \dots \pm 18$	3...32 $\pm 1.5 \dots \pm 16$	$\pm 10 \dots \pm 18$	$\pm 5 \dots \pm 22$	$\pm 9 \dots \pm 18$	$\pm 4 \dots \pm 22$	$\pm 5 \dots \pm 18$	$\pm 5 \dots \pm 18$	$\pm 2 \dots \pm 18$	$\pm 1 \dots \pm 18$	7...36 $\pm 3.5 \dots \pm 18$	$\pm 3 \dots \pm 18$	$\pm 3 \dots \pm 20$	$\pm 3 \dots \pm 20$	$\pm 8 \dots \pm 12$
Макс. дифференциальное входное напряжение [В]	$\pm 30$	$\pm 0.7$	1	$\pm 15$	30	30	32	24	15	5	5	30	30	30	30	30	30	—	—	—
Макс. синфазное входное напряжение [В]	$\pm 22$	$\pm 18$	—	$V_S$	15	15	16	12	15	10	15	15	15	15	15	$V_S$	15	13	13	—
Диапазон рабочих температур [°C]	0...70	0...70	0...70	-40... +150*	0...70	0...70	0...70	0...70	0...70	0...70	0...70	0...70	0...70	0...70	0...70	0...125*	0...70	0...70	0...70	0...70
Длительность короткого замыкания на выходе	H/O	H/O	H/O	H/O	H/O	—	—	H/O	H/O	5c	5c	H/O	H/O	H/O	H/O	H/O	H/O	H/O	H/O	—

\* — температура перехода.  
H/O — величина не определена.

(продолжение)

Тип прибора	OP07	OP27	11	165	301A	308	324	348	531	709	725CN	74174IN	741S	747	748	759	4558	5532	5534	5539
Полная рассеиваемая мощность (max) [мВт] (25°C)		500	500	20Вт	500	500	625	500	300	120	500	500	625	670	500	1300	680	1000	1000	550
Типовые характеристики при 25°C, нагрузка 2 кОм																				
Коэффициент усиления по напр. в реж. бол. сигн. при разомкнутой петле ОС [дБ]	132	123	109	80	88	102	100	96	96	93	127	106	100	106	106	106	109	100	100	52
Входное сопротивление [МОм]	33	4	105	500	2	40	10	2.5	20	0.25	1.5	2	1	2	2	1.5	5	0.3	0.1	0.1
Дифференциальное входное напряжение компенсации смещения нуля на выходе [мВ]	0.06	0.03	0.2	2	2	10	2	1	2	2	2	1	2	1	2	1	0.5	0.5	0.5	2
Дифференциальный входной ток смещения [нА]	0.8	12	0.001	20	3	1.5	5	4	50	100	1.2	20	30	20	20	5	5	10	20	2000
Входной ток смещения [нА]	±2.2	±15	0.04	200	70	<7	45	30	400	300	80	80	200	80	80	50	40	200	500	5000

(окончание)

Тип прибора	OP07	OP27	11	165	301A	308	324	348	351	709	725CN	74174IN	7415	747	748	759	855B	5532	4534	6555
Коэффициент ослабления синфазного сигнала [дБ]	120	100	130	70	90	100	70	90	100	90	115	90	90	90	90	100	90	100	100	80
Коэффициент ослабления напряжения питания [мкВ/В]	0.16	2	0.8	1000	16	16	—	15	10	25	20	30	10	30	30	10	30	10	10	200
Скорость нарастания выходного напряжения [В/мкс]	0.17	2.8	0.3	6	0.4	—	—	0.6	35	12	0.25	0.5	20	0.5	0.8	0.5	1	9	13	600
Температурный коэффициент напряжения смещения [мкВ/°С]	0.5	0.4	2	—	6	—	7	—	—	3.3	2	5	3	—	—	—	—	—	—	v
Температурный коэффициент тока смещения [А/°С]	12 п	—	10 ф (фемто)	—	20 п	2 п	10 п	—	0.6 н	0.1 н	10 п	0.5 н	0.5 н	0.5 н	0.1 н	—	—	—	—	—
Ширина полосы пропускания на уровне полной мощности [кГц]	—	—	—	—	10	10	6	10	500	—	10	10	200	10	10	—	—	100	95	48000
Размах выходного напряжения [В]	±13	±13	±12	24	±14	±13	28 или ±14	±12	±15	±14	±10	±13	±13	±13-	±13	±12.5	±13	±16	±16	±2.3...-2.7

### 1.37.2. Операционные усилители на полевых транзисторах и на комбинациях биполярных и полевых транзисторов

Тип прибора	ОУ на полевых транзисторах					ОУ на комбинации ПТ и БТ	
	3130Е	355	3140Е, 3240Е	351, 353	064	071, 072, 074, 081, 082, 084	091, 092
Корпус	DIL, 8 выводов	DIL, 8 выводов	DIL	DIL, 8 выводов	DIL, 14 выводов	DIL	DIL
Диапазон напряжения питания ( $V_S$ ) [В]	+6...+16 или $\pm 3$ ... $\pm 8$	$\pm 4$ ... $\pm 18$	+4...+36 или $\pm 2$ ... $\pm 18$	$\pm 5$ ... $\pm 18$	$\pm 2$ ... $\pm 18$	$\pm 3$ ... $\pm 18$	3...36
Макс. дифференциальное входное напряжение [В]	$\pm 8$	$\pm 30$	$\pm 8$	$\pm 30$	$\pm 30$	$\pm 30$	36
Макс. синфазное входное напряжение [В]	$\pm V_S$	$\pm V_S$	$\pm V_S$	$\pm V_S$	$\pm V_S$	$\pm V_S$	36
Диапазон рабочих температур. [°C]	0...70	0...70	0...70	0...70	0...70	0...70	0...70
Полная рассеиваемая мощность (max), мВт	630	500	630	500	680	680	1150
Длительность короткого замыкания на выходе	Не определена	Не определена	Не определена	Не определена	Не определена	Не определена	Не определена
Типичные характеристики при 25°C, $V_S = +15$ В							
Коэффициент усиления по напряжению при разомкнутой петле ОС [дБ]	110	106	100	110	76	106	106
Входное сопротивление [Ом]	$1.5 \cdot 10^{12}$	$1 \cdot 10^{12}$	$1 \cdot 10^{12}$	$1 \cdot 10^{12}$	$1 \cdot 10^{12}$	$1 \cdot 10^{12}$	$1 \cdot 10^{12}$
Входное напряжение компенсации смещения нуля на выходе [мВ]	8	3	5	5	3	3 (071, 072, 074)	

Тип прибора	ОУ на полевых транзисторах					ОУ на комбинации ПТ и БТ		
	3130Е	355	3140Е, 3240Е	351, 357	358	71, 072, 074, 075, 082, 084	091, 092	
Корпус	DIL, 8 выводов	DIL, 8 выводов	DIL	DIL, 8 выводов	DIL, 8 выводов	DIL	DIL	
Входной ток смещения нуля [пА]	0,5	10	0,5	25	5	5	5 нА	
Входной ток смещения [пА]	5	30	10	5	5	5	10 нА	
Коэффициент ослабления синфазного сигнала [дБ]	80	100	90	20	20	20	90	
Коэффициент ослабления напряжения питания [мкВ/В]	300	10	100	30	30	155	90	
Скорость нарастания выходного напряжения [В/мкс]	10	5	9	13	3,5	13	0,6	
Температурный коэффициент напряжения смещения [мкВ/°С]	10	5	8	10	20	20	10	
Температурный коэффициент тока смещения	Удваивается при изменении температуры приблизительно на $\pm 20^\circ\text{C}$							
Ширина полосы пропускания на уровне полной мощности [кГц]	120	60	110	150	40	150	9	
Размах выходного напряжения [В]	$R_T = 2 \text{ кОм}$	30 В ( $V_S = 15 \text{ В}$ )	—	13 В ( $V_S = 15 \text{ В}$ )	—	—	26	—
	$R_T = 10 \text{ кОм}$	—	$\pm 13$	—	$\pm 13,5$	$\pm 13,5$	$\pm 13,5$	27

DIL — корпус с двухрядным расположением выводов.

## 1.38. ТОРОИДАЛЬНЫЕ ФЕРРИТОВЫЕ И ПОРОШКОВЫЕ СЕРДЕЧНИКИ

Тороидальные ферритовые сердечники и тороидальные порошковые сердечники из карбонильного железа используются в качестве основы для изготовления разнообразных катушек индуктивности, трансформаторов, согласующих трансформаторов, дросселей и многих других приборов, обладающих индуктивностью. Такие сердечники значительно упрощают конструирование точных индуктивных компонентов, для чего требуется лишь провод и немного воображения. Данные по выпускаемым сердечникам приведены в Табл. 1.2...1.8.

### 1.38.1. Материалы для сердечников

Для успешного воплощения большинства идей, связанных с применением приборов, обладающих индуктивностью, необходимо понимание основных свойств сердечников из порошкового железа и феррита. Прежде чем приступить к рассмотрению самих сердечников, стоит ознакомиться с материалами, из которых эти сердечники сделаны.

#### *Порошковое железо*

Порошковые сердечники сделаны из железа, которое предварительно измельчают до порошкообразного состояния, а затем придают форму при помощи какого-либо связующего материала. Основными материалами, используемыми для изготовления железного порошка, являются карбонильное железо и железо с пониженным содержанием водорода. Сердечники из карбонильного железа имеют более высокую температурную стабильность, а их магнитная проницаемость  $\mu$  лежит в диапазоне от 1 до 35. Такие сердечники часто используют для широкополосных трансформаторов и катушек с высокой добротностью, работающих на частотах до 200 или 300 МГц. Сердечники из карбонильного железа часто используют в мощных согласующих трансформаторах.

У сердечников из железа с пониженным содержанием водорода более низкая добротность, чем у сердечников из карбонильного железа, но их магнитная проницаемость достигает 90. Такие сердечники применяют в низкочастотных дросселях и катушках индуктивности, а также при изготовлении фильтров электромагнитных помех.

Для обозначения различных материалов, из которых изготавливают порошковые сердечники, применяется числовая и цветовая системы кодировки. В таблицах указаны калибры сердечников, материалы, цветовые коды и приблизительный частотный диапазон для наиболее часто применяемых сердечников из порошкового железа.

### Ферритовые материалы

Из названия «феррит» можно предположить, что в ферритовых сердечниках используется железо, но на самом деле их изготавливают из более экзотических материалов, например широко используются ферриты на основе никеля и цинка или марганца и цинка. Никель-цинковые ферриты имеют более высокое объемное удельное сопротивление, неплохую стабильность и относительно высокую добротность. Типичные значения магнитной проницаемости таких сердечников составляют от 125 до 850. Объемное удельное сопротивление марганцевоцинковых ферритов меньше, но они имеют высокую добротность в диапазоне частот от 1 до 1000 кГц. Эти материалы используются в мощных трансформаторах, импульсных источниках питания и фильтрах, защищающих от электромагнитных помех. Они позволяют добиться значительного ослабления в полосе частот от 20 МГц и выше.

#### 1.38.2. Формулы и таблицы для расчетов

Для того чтобы определить количество витков, необходимое для получения требуемой индуктивности, нужно знать параметр материала, называемый коэффициентом  $A_L$ . Уравнения для вычисления таковы:

1. Для ферритовых материалов:

$$N = 1000 \sqrt{\frac{L \text{ [мГн]}}{A_L \text{ [мГн/1000 витков]}}}$$

2. Для сердечников из порошкового железа:

$$N = 100 \sqrt{\frac{L \text{ [мкГн]}}{A_L \text{ [мкГн/100 витков]}}}$$

где  $N$  — количество витков,  $L$  — индуктивность, а  $A_L$  — свойство материала сердечника.

Для СВЧ применений существуют некоторые материалы, у которых коэффициент  $A_L$  выражается в нГн/виток.

Таблица 1.2. Размеры тороидальных сердечников

Калибр сердечника	Наружный диаметр [дюймы]	Наружный диаметр [мм]	Внутренний диаметр [дюймы]	Внутренний диаметр [мм]	Высота [дюймы]	Высота [мм]
FT-23	0.230	5.842	0.120	3.048	0.060	1.524
FT-37	0.375	9.525	0.187	4.750	0.125	3.175
FT-50	0.500	12.700	0.281	7.137	0.188	4.775
FT-50A	0.500	12.700	0.312	7.925	0.250	6.350
FT-50B	0.500	12.700	0.312	7.925	0.500	12.700
FT-82	0.825	20.955	0.520	13.208	0.250	6.350
FT-87A	0.870	22.098	0.540	13.716	0.500	12.700
FT-114	1.142	29.007	0.750	19.050	0.295	7.493
FT-114A	1.142	29.007	0.750	19.050	0.545	13.843
FT-140	1.400	35.560	0.900	22.860	0.500	12.700
FT-150	1.500	38.100	0.750	19.050	0.250	6.350
FT-150A	1.500	38.100	0.750	19.050	0.500	12.700
FT-193A	1.932	49.073	1.250	31.750	0.750	19.050
FT-240	2.400	60.960	1.400	35.560	0.500	12.700

Таблица 1.3. Размеры тороидальных сердечников в зависимости от материала

Калибр сердечника	Материал									
	43 (850)	61 (125)	63 (250)	67 (40)	68 (20)	72 (2M)	75 (5M)	77 (2M)	F (3M)	J (5M)
FT-23	188	24.8	7.9	7.8	4	396	990	356	N/A	N/A
FT-37	420	55.3	17.7	17.7	8.8	884	2210	796	N/A	N/A
FT-50	523	68	22	22	11	1100	2750	990	N/A	N/A
FT-50A	570	75	24	24	12	1200	2990	1080	N/A	N/A
FT-50B	1140	150	48	48	12	2400	N/A	2160	N/A	N/A
FT-82	557	73.3	22.4	22.4	11.7	1170	3020	1060	N/A	3020
FT-87A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3700	6040
FT-114	603	79.3	25.4	25.4	N/A	1270	3170	1140	1902	3170
FT-114A	N/A	146	N/A	N/A	N/A	2340	N/A	N/A	N/A	N/A

Таблица 1.3 (окончание)

Калибр сердечника	Материал									
	43 (850)	61 (125)	63 (250)	67 (40)	68 (20)	72 (2M)	75 (5M)	77 (2M)	F (3M)	J (5M)
FT-140	952	140	45	45	N/A	2250	6736	2340	N/A	6736
FT-150	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2640	4400
FT-150A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5020	8370
FT-193A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4460	7435
FT-240	1240	173	53	53	N/A	3130	6845	3130	N/A	6845

В скобках указана величина  $\mu$ .

N/A — данные отсутствуют (сердечник не выпускается).

M — 1000000.

Таблица 1.4. Размеры тороидальных сердечников в зависимости от сортамента

Калибр сердечника	Провод (AWG)														
	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
T-12	0	0	1	1	1	2	4	5	8	11	15	21	29	37	47
T-16	0	1	1	1	3	3	5	8	11	16	21	29	38	49	63
T-20	1	1	1	3	4	5	6	9	14	18	25	33	43	56	72
T-25	1	1	3	4	5	7	11	15	21	28	37	48	62	79	101
T-30	1	3	4	5	7	11	15	21	28	37	48	62	78	101	129
T-37	3	5	7	9	12	17	23	31	41	53	67	87	110	140	177
T-44	5	6	7	10	15	20	27	35	46	60	76	97	124	157	199
T-50	6	8	11	16	21	28	37	49	63	81	103	131	166	210	265
T-68	9	12	15	21	28	36	47	61	79	101	127	162	205	257	325
T-80	12	17	23	30	39	51	66	84	108	137	172	219	276	347	438
T-94	14	20	27	35	45	58	75	96	123	156	195	248	313	393	496
T-106	14	20	27	35	45	58	75	96	123	156	195	248	313	393	496
T-130	23	30	40	51	66	83	107	137	173	220	275	348	439	550	693
T-157	29	38	50	64	82	104	132	168	213	270	336	426	536	672	846
T-184	29	38	50	64	82	104	132	168	213	270	336	426	536	672	846
T-200	41	53	68	86	109	139	176	223	282	357	445	562	707	886	1115
T-225	46	60	77	98	123	156	198	250	317	400	499	631	793	993	1250
T-300	66	85	108	137	172	217	274	347	438	553	688	870	1093	1368	1721
T-400	79	100	127	161	202	255	322	407	513	648	806	1018	1278	1543	2013
T-520	110	149	160	223	279	349	443	559	706	889	1105	1396	1753	2192	2758

AWG — стандарт на диаметр проводов (США).

Таблица 1.5. Размеры торoidalных сердечников

Калибр сердечника	Наружный диаметр [дюймы]	Наружный диаметр [мм]	Внутренний диаметр [дюймы]	Внутренний диаметр [мм]	Высота [дюймы]	Высота [мм]
T-12	0.125	3.175	0.062	1.575	0.05	1.270
T-16	0.160	4.064	0.078	1.981	0.06	1.524
T-20	0.200	5.080	0.088	2.235	0.07	1.778
T-25	0.250	6.350	0.12	3.048	0.096	2.438
T-30	0.307	7.798	0.151	3.835	0.128	3.251
T-37	0.375	9.525	0.205	5.207	0.128	3.251
T-44	0.440	11.176	0.229	5.817	0.159	4.039
T-50	0.500	12.700	0.300	7.620	0.190	4.826
T-68	0.690	17.526	0.370	9.398	0.190	4.826
T-80	0.795	20.193	0.495	12.573	0.250	6.350
T-94	0.942	23.927	0.560	14.224	0.312	7.925
T-106	1.060	26.924	0.570	14.478	0.437	11.100
T-130	1.300	33.020	0.780	19.812	0.437	11.100
T-157	1.570	39.878	0.950	24.130	0.570	14.478
T-184	1.840	46.736	0.950	24.130	0.710	18.034
T-200	2.000	50.800	1.250	31.750	0.550	13.970
T-200A	2.000	50.800	1.250	31.750	1.000	25.400
T-225	2.250	57.150	1.400	35.560	0.550	13.970
T-225A	2.250	57.150	1.400	35.560	1.000	25.400
T-300	3.000	76.200	1.920	48.768	0.500	12.700
T-300A	3.000	76.200	1.920	48.768	1.000	25.400
T-400	4.000	101.600	2.250	57.150	0.650	16.510
T-400A	4.000	101.600	2.250	57.150	1.000	25.400
T-500	5.200	132.080	3.080	78.232	0.800	20.320

Таблица 1.6. Применение торoidalных сердечников

Тип	m	Применение
43	850	Катушки индуктивности и широкополосные трансформаторы, работающие на частотах до 50 МГц
61	125	Широкополосные трансформаторы, работающие на частотах до 200 МГц, с высокой добротностью в интервале между 200 и 50 МГц
63	40	Приборы, где требуется высокая добротность в частотном интервале между 15 и 25 МГц
67	40	Приборы, где требуется высокая добротность в частотном интервале между 10 и 80 МГц, и широкополосные приборы, работающие на частотах до 200 МГц
68	20	Параллельные резонансные LC-контуры с высокой добротностью, работающие в интервале частот между 80 и 180 МГц. Используются также в широкополосных усилителях и трансформаторах
72	2000	Приборы с высокой добротностью, работающие на частотах до 500 кГц. Используются также для ослабления электромагнитных помех частотой от 500 до 50 МГц

Таблица 1.6 (окончание)

Тип	m	Применение
75	5000	В приборах с малыми потерями в диапазоне частот от 1 до 1000 кГц, включая импульсные и широкополосные трансформаторы, фильтры электромагнитных помех для диапазона частот от 500 до 20 МГц
77	2000	Широкополосные трансформаторы, работающие на частотах от 1 до 1000 кГц. Фильтры электромагнитных помех для диапазона частот от 500 до 50 МГц
F	3000	То же, что у типа 77
I	5000	В приборах с малыми потерями в диапазоне частот от 1 до 1000 кГц, включая импульсные трансформаторы

Таблица 1.7. Применение тороидальных сердечников

Тип (число штрихов)	Применение
6	Высокая магнитная проницаемость. Используется в фильтрах электромагнитных помех, дросселях постоянного тока, в импульсных источниках питания
3	Катушки индуктивности и трансформаторы с высокой добротностью, работающие в диапазоне частот от 50 до 500 кГц
5	Высокая стабильность, неплохая добротность. Обычно используются в радилюбительской аппаратуре диапазона 160 м и в радиовещательной аппаратуре АМ-диапазона
1	Высокое объемное удельное сопротивление. Используются для НЧ-аппаратуры
2	Высокое объемное удельное сопротивление. Обычно используются в катушках индуктивности и трансформаторах в ВЧ-диапазоне от 3 до 30 МГц.
26	Высокая магнитная проницаемость. Используется в фильтрах электромагнитных помех, дросселях постоянного тока, в импульсных источниках питания
3	Катушки индуктивности и трансформаторы с высокой добротностью, работающие в диапазоне частот от 50 до 500 кГц
5	Высокая стабильность, неплохая добротность. Обычно используются в радилюбительской аппаратуре диапазона 160 м и в радиовещательной аппаратуре АМ-диапазона
1	Высокое объемное удельное сопротивление. Используются для НЧ-аппаратуры
2	Высокое объемное удельное сопротивление. Обычно используются в катушках индуктивности и трансформаторах в ВЧ-диапазоне от 3 до 30 МГц.
7	Используются в катушках индуктивности и трансформаторах, работающих в ВЧ-диапазоне и возле нижней границы СВЧ-диапазона
6	Высокая добротность в диапазоне частот между 30 и 50 МГц
10	Высокая стабильность, неплохая добротность. Используются в катушках индуктивности и трансформаторах в диапазоне от 40 до 100 МГц
12	Высокая стабильность, но средняя добротность. Используются в катушках индуктивности и трансформаторах в диапазоне от 50 до 100 МГц
17	Аналогично типу 12, но обладает более высокой температурной стабильностью и меньшей добротностью
0	Приборы с высокой добротностью, работающие на частотах свыше 200 МГц. Более чувствительны к методике намотки провода, чем другие типы

Таблица 1.8. Размеры тороидальных сердечников

Тип	26	3	15	1	2	7	6	10	12	17	0
Цвет	Желтый/ белый	Серый	Красный/ белый	Синий	Красный	Белый	Желтый	Черный	Зеленый/ белый	Синий/ желтый	Желто- коричневый
Материал	Пониж. Н	Карб. НР	Карб. GS6	Карб. С	Карб. Е	Карб. ТН	Карб. SF	Пор. жел. SF	Син. оксид	Карб.	Фенол.
Частота [МГц]	DC-1	0.05...0.50	0.10...2	0.5...5	2...30	3...35	10...50	30...100	50...200	40...180	100...300
m	75	35	25	20	10	9	8	6	4	4	1
Температурный коэффициент [ppm/°C]	825	370	190	280	95	30	35	150	170	50	0
Калибр сердечника	Значение $A_d$										
T-12	N/A	60	50	48	20	18	17	12	7.5	7.5	3
T-16	145	61	55	44	22	N/A	19	13	8	8	3
T-20	180	76	65	52	27	24	22	16	10	10	3.5
T-25	235	100	85	70	34	29	27	19	12	12	4.5
T-30	325	140	93	85	43	37	36	25	16	16	6
T-37	275	120	90	80	40	32	30	25	15	15	4.9
T-44	360	180	160	105	52	46	42	33	18.5	18.5	6.5
T-50	320	175	135	100	49	43	40	31	18	18	6.4

Таблица 1.8 (окончание)

Тип	26	3	15	1	2	7	6	10	12	17	0
T-68	420	195	180	115	57	52	47	32	21	21	7.5
T-80	450	180	170	115	55	50	45	32	22	22	8.5
T-94	590	248	200	160	84	N/A	70	58	32	N/A	10.6
T-106	900	450	345	325	135	133	116	N/A	N/A	N/A	19
T-130	785	350	250	200	110	103	96	N/A	N/A	N/A	15
T-157	870	420	360	320	140	N/A	115	N/A	N/A	N/A	N/A
T-184	1640	720	N/A	500	240	N/A	195	N/A	N/A	N/A	N/A
T-200	895	425	N/A	250	120	105	100	N/A	N/A	N/A	N/A

N/A — данные отсутствуют (сердечник не выпускается).

H — водород: пониж. H — с пониженным содержанием водорода.

Карб. — карбонильный.

Пор. жел. — порошковый железный.

Син. — синтетический.

Фенол. — фенольный.

### 1.39. СИСТЕМА ОБОЗНАЧЕНИЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ И МАТЕРИАЛОВ «PRO ELECTRON»

В системе обозначения полупроводниковых приборов и материалов «Pro Electron», используемой большинством европейских производителей, прибор маркируют с помощью кода, содержащего две буквы и серийный номер. Буквы отражают полупроводниковый материал, из которого изготовлен прибор, и основную функцию прибора.

Первая буква	Полупроводниковый материал
A	Германий
B	Кремний
C	Арсенид галлия или подобный
D	Антимонид индия или подобный
R	Сульфид кадмия или подобный
Вторая буква	Основная функция
A	Детекторный диод, диод с высоким быстродействием, диод смесителя
B	Варикап
C	Транзистор несилевой, для диапазона звуковых частот
D	Транзистор мощный, для диапазона звуковых частот
E	Туннельный диод
F	Транзистор высокочастотный, несилевой
G	Различные
L	Транзистор высокочастотный (радиочастотный), силовой
N	Оптрон, оптоэлектронная пара
P	Прибор, чувствительный к излучению (например к световому)
Q	Источник излучения
R	Переключающий прибор, несилевой
S	Переключающий транзистор, несилевой
T	Переключающий прибор, силовой
U	Переключающий транзистор, силовой
X	Множительный диод
Y	Выпрямительный диод или подобный прибор
Z	Источник опорного напряжения или стабилитрон

Серийный номер определяет конкретное применение прибора и содержит либо три числа (что указывает на то, что прибор в основном предназначен для широкого применения), либо букву, следующую за двумя числами (что означает, что прибор в основном предназначен для промышленного или профессионального применения).

В случае, если существуют разновидности прибора, то к вышеописанному коду добавляется дополнительный код (через дефис) для описания конкретного типа прибора внутри области применения. Затрагиваются два класса приборов:

1. Выпрямительные диоды и тиристоры; с помощью кодов указывается либо повторяющееся значение пикового обратного напряжения  $V_{RRM}$ , либо повторяющееся значение пикового напряжения в закрытом состоянии  $V_{DRM}$ , то из них, которое является наименьшим.
2. Стабилитроны и диоды, подавляющие помехи, вызванные переходными процессами; первая буква (только для стабилитронов) указывает допустимое отклонение рабочего напряжения, где  $A = \pm 1\%$ ;  $B = \pm 2\%$ ;  $C = \pm 5\%$ ;  $D = \pm 10\%$ ;  $E = \pm 15\%$ , а группа цифр указывает типичное рабочее напряжение (или максимальное рекомендуемое значение напряжения подавления для диодов, подавляющих помехи, вызванные переходными процессами).

Во всех случаях, чтобы указать, что это версия прибора рассчитана на обратную полярность (т.е. вариант с резьбовым креплением анода), последней может использоваться буква (R).

---

Часть вторая

# Схемы и системы

## 2.1. МОСТОВАЯ СХЕМА УИТСТОНА

В основе многих контрольно-измерительных приборов лежит мостовая схема для измерения сопротивления (мост Уитстона) на постоянном токе, разработанная в 1843 году и часто используемая до сих пор (Рис. 2.1).

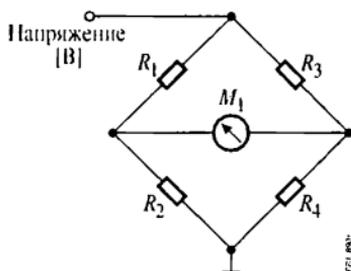


Рис. 2.1. Мост для измерения сопротивления (мост Уитстона)

Нулевым условием для моста Уитстона является равенство падений напряжения на резисторах  $R_1/R_2$  и  $R_3/R_4$ . Если выполняется условие  $R_1/R_2 = R_3/R_4$ , то вольтметр  $M_1$  показывает ноль. Основной метод определения величины сопротивления одного резистора основан на расчете по известным величинам сопротивлений трех остальных резисторов. Например, резистор с неизвестным сопротивлением подсоединяется вместо резистора  $R_4$ , величины сопротивлений резисторов  $R_1$  и  $R_3$  известны, а резистор  $R_2$  представляет собой проградуированный в омах потенциометр. Выполнив нулевое условие (стрелка вольтметра показывает ноль) при помощи потенциометра  $R_2$  и считав значение сопротивления потенциометра, можно вычислить величину сопротивления резистора  $R_4$  по формуле:

$$R_4 = \frac{R_2 R_3}{R_1}.$$

## 2.2. ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ МОСТЫ

Измерение активного сопротивления при помощи моста Уитстона дает достаточно точные результаты при условии измерения на постоянном токе или переменном токе сравнительно низкой частоты, но для измерения индуктивности или емкости следует использовать модифицированные мостовые схемы на более высоких частотах. Существует три основных варианта мостовых схем такого типа: мост Максвелла, мост Хэя и мост Шеринга.

## 2.2.1. Мост Максвелла

На Рис. 2.2 показана схема моста Максвелла.

Нулевое условие для такого моста возникает при выполнении следующих равенств:

$$L_1 = R_2 R_3 C_1$$

и

$$R_4 = \frac{R_2 R_3}{R_1}.$$

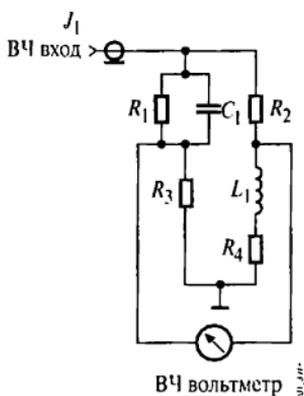


Рис. 2.2. Мост Максвелла

Поскольку уравнения баланса совершенно не зависят от частоты, мост Максвелла часто используется для измерения неизвестной величины индуктивности (например  $L_1$ ). Такая схема не слишком чувствительна к резистивным потерям в катушке индуктивности (в отличие от некоторых других методов). К тому же изготовить эталонные конденсаторы стандартной емкости для  $C_1$  гораздо легче, чем изготовить катушки стандартной индуктивности для  $L_1$ . Это и определяет основное использование моста Максвелла как измерителя индуктивности.

Часто схемы моста Максвелла используются в приборах, называемых куметрами или измерителями добротности, которые измеряют добротность  $Q$  катушек индуктивности. Однако следует заметить, что уравнение для определения  $Q$  зависит от частоты:

$$Q = 2\pi f R_1 C_1,$$

где  $f$  — частота в герцах,  $R_1$  — сопротивление в омах, а  $C_1$  — емкость в фарадах.

## 2.2.2. Мост Хэя

Мост Хэя похож по конструкции на мост Максвелла, за исключением того, что  $RC$ -цепочка  $R_1/C_1$  является последовательной, а не параллельной (Рис. 2.3).

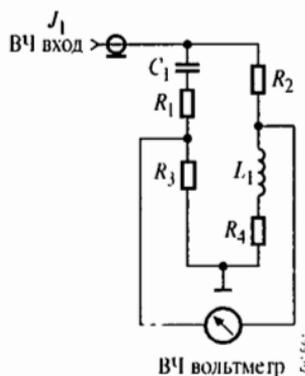


Рис. 2.3. Мост Хэя

В отличие от моста Максвелла мост Хэя чувствителен к частоте, а уравнения баланса для нулевого условия имеют немного более сложный вид:

$$I_1 = \frac{R_2 R_3 C_1}{1 + \left[ \frac{1}{Q} \right]^2}$$

и

$$R_4 = \left[ \frac{R_2 R_3}{R_1} \right] \times \left[ \frac{1}{Q^2 + 1} \right],$$

где  $Q = \frac{I}{\omega R_1 C_1}$ .

Мост Хэя используется для измерения индуктивности катушек с высокой добротностью, тогда как мост Максвелла предпочтительнее использовать для измерений индуктивности катушек с малой добротностью.

*Примечание:* При очень высокой добротности (т.е.  $Q > 100$ ) можно считать, что уравнение для определения добротности становится независимым от частоты:

$$L_1 = R_2 R_3 C_1.$$

### 2.2.3. Мост Шеринга

Уравнение баланса для нулевого условия моста Шеринга (Рис. 2.4) выглядит следующим образом:

$$C_3 = \frac{C_2 R_1}{R_2},$$

$$R_3 = \frac{C_2 R_1}{R_2}.$$

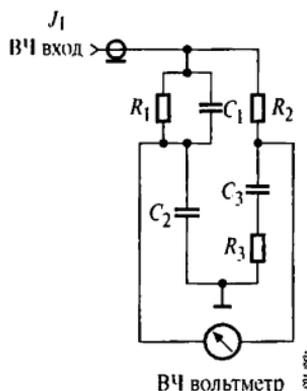


Рис. 2.4. Мост Шеринга

В основном мост Шеринга используется для измерения емкости и коэффициента мощности конденсаторов. В современных вариантах этой схемы резистор  $R_3$  фактически отсутствует, поэтому единственным активным сопротивлением в этом плече моста является последовательное сопротивление тестируемого конденсатора (например  $C_3$ ). Добротность конденсатора находится по формуле:

$$Q_{C_3} = \frac{1}{\omega R_1 C_1}.$$

## 2.3. УСИЛИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Возможно, наиболее часто встречающимся типом электронных схем являются схемы, подходящие под определение «усилитель». Усилители электрических сигналов встречаются в огромном множестве схем, начиная от бытовых Hi-Fi-систем и заканчивая высокочастотными схемами, работающими при частотах свыше 1000 МГц. В этом разделе даны основные принципы усиления переменного тока, после чего будут рассмотрены разнообразные типы усилителей.

## 2.4. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ

Основные требования, предъявляемые к усилителю, просты. Это схема с двумя входами и двумя выходами (Рис. 2.5).



Рис. 2.5. Символьное изображение усилителя

На вход подается напряжение переменного тока  $V_{in}$ , а на выходе получают усиленную «копию» этого напряжения  $V_{out}$ . Для описания работы усилителя необходимо дать определение некоторым терминам.

### 2.4.1. Период и частота

Частотой сигнала называется количество циклических повторений сигнала, укладываемых в интервале, равном 1 с. На Рис. 2.6 показан сигнал синусоидальной формы, повторяющийся каждую миллисекунду. Следовательно, период этого сигнала равен 1 мс, а частота — 1 кГц.

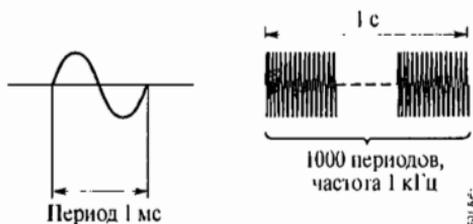


Рис. 2.6. Период и частота

### 2.4.2. Коэффициент гармоник

Большинство сигналов, встречающихся на практике, значительно отличается от синусоидального сигнала, и в большинстве случаев (таких, например, как человеческая речь) основную частоту (частоту основной гармоники) определить почти невозможно. Однако любой повторяющийся (периодический) сигнал может быть получен в результате сложения синусоидальных и косинусоидальных сигналов основной частоты, удвоенной основной частоты, утроенной основной частоты и т.д., как показано на Рис. 2.7.

Эти составляющие называются гармониками сигнала. Вследствие различных коэффициентов гармоник нота «до» основной октавы звучит на фортепиано и скрипке по-разному.

В составе сигнала амплитуда гармоники обратно пропорциональна ее частоте, и поэтому начиная с некоторой частоты амплитуды гармоник становятся настолько малыми, что ими можно пренебречь. Метод разложения сигнала сложной формы на ее частотные составляющие называется методом разложения сигнала в ряд Фурье, или гармоническим анализом. Пример такого анализа показан на Рис. 2.7.

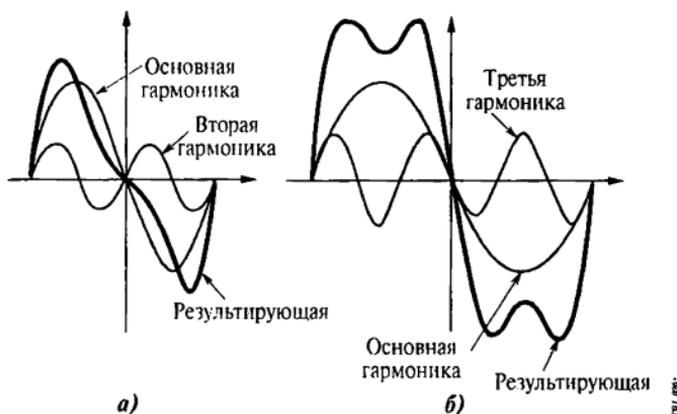


Рис. 2.7. Сигнал и образующие его гармоники:

а — вторая гармоника; б — третья гармоника

Этот метод имеет большое значение при разработке усилителей. Разложение в ряд Фурье позволяет определить диапазон частот, содержащихся в сигнале сложной формы, который предстоит усилить. Если рабочие характеристики усилителя соответствуют этим частотам по всему диапазону, то выходной сигнал будет представлять собой усиленную точную «копию» входного сигнала. Например, чтобы обеспечить передачу музыки без искажений, усилители звуковой частоты должны иметь диапазон от 30 Гц до более чем 15 кГц.

### 2.4.3. Ряд Фурье

Сигнал может быть представлен в виде суммы синусоидального сигнала основной частоты и совокупности ее синусоидальных и/или косинусоидальных гармоник. Все эти составляющие образуют *ряд Фурье* сигнала. Основная гармоника синусоидального сигнала описывается формулой:

$$v = V_m \sin(2\omega t). \quad (1)$$

Здесь  $v$  — мгновенное значение синусоидального сигнала,  $V_m$  — амплитуда синусоидального сигнала,  $\omega$  — угловая частота ( $2\pi f$ ) синусоидального сигнала,  $t$  — время в секундах.

*Период* — это интервал времени между повторениями тождественных событий, следовательно, период синусоидального сигнала  $T = 2\pi/\omega = 1/f$ , где  $f$  — частота (количество циклических повторений в секунду).

На практике ряд Фурье, соответствующий сигналу, можно получить, разложив данный сигнал на частотные составляющие либо при помощи набора частотно-избирательных фильтров, либо при помощи алгоритма цифровой обработки сигнала, называемого *быстрым преобразованием Фурье*. С помощью ряда Фурье можно решить обратную задачу — создать сигнал желаемой формы.

Для сигнала любой формы ряд Фурье можно записать в виде:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \int_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)) dt \quad (2)$$

где  $a_n$  и  $b_n$  — амплитуды гармоник (см. ниже),  $n$  — целые числа, остальные члены были определены ранее.

Амплитудные коэффициенты  $a_n$  и  $b_n$  выражаются следующими соотношениями:

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(n\omega t) dt \quad (3)$$

и

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(n\omega t) dt. \quad (4)$$

В общем случае амплитудные коэффициенты не равны нулю на частотах, определяемых рядом Фурье. Поскольку целым числом  $n$  можно задать только некоторые частоты, спектр периодического сигнала называют *дискретным*.

Произведение  $a_0/2$  в уравнении (2) ряда Фурье — это среднее значение функции  $f(t)$  за период сигнала. Практически это *постоянная составляющая* сигнала. Если у сигнала присутствует полуволновая симметрия, т.е. максимальной положительной амплитуде сигнала соответствует равная ей максимальная отрицательная амплитуда сигнала в любой момент времени, или  $+V_m = |-V_m|$ , постоянная составляющая у такого сигнала отсутствует, и  $a_0 = 0$ .

Существует другая форма записи ряда Фурье:

$$f(t) = \frac{2}{T} \int_0^{\infty} c_n(n\omega t - \varphi_n) dt, \quad (5)$$

где  $c_n = \sqrt{(a_n)^2 + (b_n)^2}$ ,

$$\varphi_n = \arctg(b_n / a_n).$$

На основе представленных выше уравнений можно заключить, что каждый сигнал обладает бесконечным количеством гармоник. Очевидно, что в практических системах ширина полосы частот вовсе не бесконечна и некоторые из этих гармоник исчезнут при нормальной работе электронных схем.

Кроме того, часто оказывается, что высшие гармоники не имеют какого-либо серьезного значения и ими можно пренебречь. С увеличением индекса  $n$  амплитудные коэффициенты  $a_n$  и  $b_n$  уменьшаются и при некотором значении этого индекса становятся столь малы, что и их вклад в форму сигнала либо совершенно не влияет на практическую работу прибора, либо совершенно незаметен с практической точки зрения.

Значение индекса  $n$ , при котором это происходит, частично зависит от времени нарастания (длительности фронта) сигнала. Обычно время нарастания определяется как время, требуемое для увеличения амплитуды сигнала от 10% до 90% ее окончательного значения.

#### 2.4.4. Коэффициент усиления

Коэффициент усиления  $G$  усилителя определяется как отношение выходного напряжения к входному:

$$G = \frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}}.$$

Коэффициент усиления рассчитывают для определенной частоты, поскольку эффекты (не только полезные, но и паразитные), проявляют себя на разных частотах по-разному, что приводит к зависимости коэффициента усиления от частоты.

Во многих усилительных схемах значение коэффициента усиления обычно достигает нескольких тысяч, поэтому удобнее выражать его в логарифмической форме.

Часто коэффициент усиления выражают в децибелах и называют коэффициентом усиления по мощности:

$$G = 10 \lg \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \text{ [дБ]}.$$

Если сопротивление нагрузки и источника одинаковы, то, используя равенство

$$P = \frac{V^2}{R},$$

можно выразить коэффициент усиления в децибелах как отношение напряжений:

$$G = 20 \lg \frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} \text{ [дБ]}.$$

Это выражение справедливо лишь в случае, когда сопротивления нагрузки и источника совпадают, однако не редко коэффициент усиления выражают в децибелах и при различающихся сопротивлениях нагрузки и источника, что неправильно и чего следует избегать.

#### 2.4.5. Ширина полосы пропускания

Как упоминалось ранее, коэффициент усиления усилителя должен быть задан для каждой конкретной частоты и коэффициенты усиления при различных частотах будут отличаться.

На низких частотах конденсаторы связи (разделительные конденсаторы) между усилительными каскадами увеличивают их сопротивление, что приводит к потерям в усилении. На высоких частотах коэффициент усиления уменьшается из-за паразитных емкостей и собственных ограничений транзистора.

Исходя из вышесказанного можно предположить, что зависимость коэффициента усиления от частоты будет иметь вид, показанный на **Рис. 2.8**.



**Рис. 2.8.** Ширина полосы пропускания усилителя

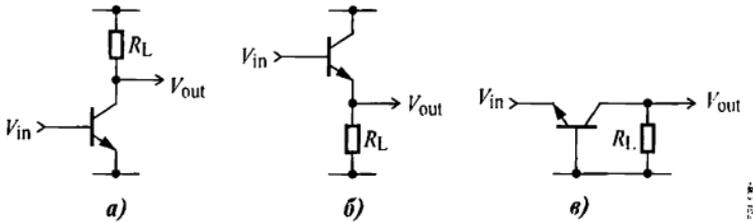
Диапазон частот, в котором данный усилитель эффективно работает, называют шириной полосы пропускания усилителя. Обычно она определяется двумя точками, коэффициент усиления в которых снизился на 3 дБ по сравнению с коэффициентом усиления в полосе пропускания, т.е. полоса пропускания заключена между частотами, на которых коэффициент усиления по мощности уменьшается наполовину.

Многие усилительные схемы (в особенности в радиоаппаратуре) специально разрабатывают таким образом, чтобы усиливать или подавлять какой-либо конкретный диапазон частот.

## 2.5. ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ ТРАНЗИСТОРНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Усилительный каскад на одном транзисторе может быть собран по одной из трех схем, показанных на **Рис. 2.9**.

Эти конфигурации называют схемой с общим эмиттером, схемой с общим коллектором и схемой с общей базой.



**Рис. 2.9.** Основные схемы включения транзистора:

*а* — с общим эмиттером; *б* — с общим коллектором;  
*в* — с общей базой

## 2.6. УСИЛИТЕЛЬ С ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ

Самой распространенной транзисторной усилительной схемой является схема с общим эмиттером. Упрощенный вариант такой схемы показан на **Рис. 2.9а**. Чтобы транзистор был открыт и ток протекал в коллекторной цепи, через переход база—эмиттер тоже должен протекать небольшой ток. Для выполнения этого условия напряжение между эмиттером и базой должно составлять приблизительно 0,6 В.

Отношение коллекторного тока к току базы называется коэффициентом усиления по току усилителя с общим эмиттером и обозначается как  $h_{FE}$  или греческой буквой  $\beta$ . Значения этого коэффициента сильно различаются даже для транзисторов одного типа. Например, широко используемый в низкочастотных усилителях транзистор BC108 может иметь значения  $h_{FE}$  в пределах от 100 до 800.

Для схемы, изображенной на **Рис. 2.10а**, ток базы, который задается резистором  $R_b$ , можно записать так:

$$I_b = \frac{(V_{cc} - 0.6)}{R_b}.$$

Коллекторный ток, протекающий при этом, будет равен:

$$I_c = h_{FE} I_b.$$

Падение напряжения на резисторе  $R_L$ , в свою очередь, составит:

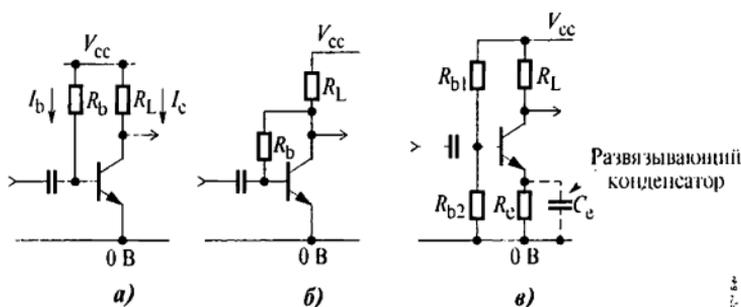
$$V_L = I_c R_L.$$

В идеальном случае резисторы  $R_L$  и  $R_b$  должны выбираться таким образом, чтобы выполнялось соотношение  $V_L = 0.5V_{cc}$ , тогда положительные и отрицательные перепады напряжения на коллекторе будут равны.

Если на базу подается небольшой сигнал переменного тока, ток базы будет изменяться в соответствии с ним, что приведет к соответствующим, только гораздо большим, изменениям коллекторного тока. Это вызовет, в свою очередь, ощутимое изменение напряжения на резисторе  $R_L$ . Если изменение напряжения базы положительно, базовый ток увеличится, что вызовет увеличение тока коллектора и уменьшение напряжения на коллекторе, т.е. усиленный выходной сигнал является обратным по фазе по отношению к входному сигналу.

У простой усилительной схемы множество недостатков. Сопротивления резисторов  $R_L$  и  $R_b$  должны очень точно подбираться в соответствии с характеристиками каждого конкретного транзистора, поскольку значения  $h_{FE}$  (как указывалось ранее) довольно ощутимо изменяются от транзистора к транзистору, даже если они одного типа. Однако еще важнее тот факт, что характеристики транзистора зависят от температуры. Поэтому простая схема, аналогичная той, что показана на **Рис. 2.10а**, в действительности не будет надежно работать за пределами интервала температур в несколько градусов Цельсия.

От температуры зависят несколько параметров транзистора, но наиболее существенные из них — коэффициент усиления по току и начальный ток коллектор—эмиттер. Начальный ток, обозначаемый  $I_{ceo}$ , это ток, протекающий из коллектора в эмиттер



**Рис. 2.10.** Усилитель с общим эмиттером: а — простая схема; б — схема с температурной стабилизацией; в — схема реального усилителя

при отключенной базе. Он сильно зависит от температуры и удваивается при каждом увеличении температуры на  $8^{\circ}\text{C}$ .

Улучшенный вариант этой схемы показан на **Рис. 2.10б**. Здесь базовый резистор  $R_b$  подключен к коллектору. Допустим, что сопротивления резисторов  $R_L$  и  $R_b$  подобраны таким образом, что напряжение на коллекторе составляет точно  $0.5 V_{cc}$ , и изменение температуры приводит к увеличению начального тока. Увеличение начального тока приведет к увеличению тока коллектора и уменьшению напряжения на коллекторе. Уменьшение напряжения на коллекторе вызовет уменьшение тока базы, протекающего через резистор  $R_b$ , что приведет к уменьшению коллекторного тока и скомпенсирует в некоторой степени изменение начального тока.

Схема, показанная на **Рис. 2.10в**, обеспечивает практически идеальную компенсацию изменений характеристик транзистора. Напряжение базы (так называемую *рабочую точку*) задает делитель напряжения, состоящий из резисторов  $R_{b1}$  и  $R_{b2}$ . Напряжение на эмиттере, таким образом, определяется как напряжение база—эмиттер и имеет практически постоянное значение, равное  $0.6\text{ В}$ . Поскольку значение эмиттерного напряжения постоянно, ток эмиттера можно определить как:

$$I_e = \frac{V_e}{R_e} = \frac{(V_b - 0.6)}{R_e}.$$

Для современных транзисторов с достаточно большими значениями  $h_{FE}$  вполне приемлемо записать:

$$I_c = I_e.$$

Отсюда можно определить падение напряжения на резисторе  $R_L$ .

В этой схеме колебания параметра  $h_{FE}$  могут влиять только на ток базы, поступающий с делителя напряжения  $R_{b1}$  и  $R_{b2}$ . Изменение тока базы может вызвать несущественные изменения рабочего режима, если протекающий через резисторы  $R_{b1}$  и  $R_{b2}$  ток покоя окажется значительно больше тока базы. Однако номиналы резисторов  $R_{b1}$  и  $R_{b2}$  не должны быть слишком малы, иначе входное сопротивление каскада будет неприемлемо низким.

Вычисления коэффициента усиления однокаскадного усилителя с применением разнообразных моделей могут быть достаточно сложны математически. Но для большинства применений достаточная точность будет обеспечена при простых аппроксимациях. Для того чтобы определить коэффициент усиления данного однокаскадного усилителя, необходимы два параметра. Первый параметр — это  $h_{fe}$ . Этот параметр похож на опи-

санный выше коэффициент усиления по постоянному току  $h_{FE}$  и представляет собой коэффициент усиления по переменному току в режиме малого сигнала:

$$h_{fe} = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}.$$

Параметр  $h_{fe}$  — безразмерный, область его типичных значений — от 50 до 800.

Второй параметр — это  $h_{ie}$ . Он характеризует отношение изменения напряжения база—эмиттер в режиме малого сигнала к приращению тока базы и определяется как:

$$h_{ie} = \frac{\Delta V_{be}}{\Delta I_b}.$$

Параметр  $h_{ie}$  имеет размерность сопротивления, и его типичные значения составляют несколько сотен ом.

Когда к коллектору в схеме с общим эмиттером подключают нагрузку (например другой каскад), в цепи коллектора появляется параллельное входное сопротивление  $R_{in}$  и, соответственно, сопротивление нагрузки принимает вид:

$$R_L = \frac{R_c \cdot R_{in}}{R_{in} + R_c}.$$

Для усилителя напряжения, изображенного на **Рис. 2.10в**, можно использовать следующие уравнения, обеспечивающие достаточную аппроксимацию рабочих характеристик:

$$\text{входное сопротивление } Z_{in} = h_{ie} + h_{fe} R_c, \quad (1)$$

$$\text{выходное сопротивление } Z_{out} = R_L, \quad (2)$$

коэффициент усиления по напряжению

$$G_V = \frac{R_L}{(h_{ie}/h_{fe}) + R_c}. \quad (3)$$

Из уравнения (1) видно, что резистор  $R_c$  повышает входное сопротивление, а из уравнения (3) — что этот резистор понижает коэффициент усиления. В большинстве схем величина отношения  $h_{ie}/h_{fe}$  гораздо меньше, чем сопротивление резистора  $R_c$ , поэтому уравнение (3) можно переписать в виде:

$$G_V = \frac{R_L}{R_c}.$$

Однако для большинства усилительных схем снижение коэффициента усиления из-за резистора  $R_c$  неприемлемо. Если добавить развязывающий конденсатор  $C_c$  в цепь эмиттера, как по-

казано на Рис. 2.10в, условия, необходимые для устойчивой работы в режиме постоянного тока, не изменятся, но действующее сопротивление эмиттера по отношению к сигналам переменного тока станет практически равным нулю. Подставив в уравнение (3)  $R_e = 0$ , получим:

$$G_V = h_{fe} \frac{R_L}{h_{ie}}. \quad (4)$$

Отношение  $h_{ie}/h_{fe}$  часто обозначают как  $g_m$ .

Предполагается, что сопротивление развязывающего конденсатора  $C_e$  при выводе уравнения (4) незначительно и сравнимо с величиной  $h_{ie}/h_{fe}$ . Однако с уменьшением частоты сопротивление конденсатора увеличивается; следовательно, требуемый номинал конденсатора  $C_e$  следует рассчитывать с учетом наименьшей частоты усиливаемого сигнала.

Характеристики транзисторов могут сильно изменяться от одного прибора к другому, поэтому приведенная выше формула может служить только для оценки ожидаемых результатов. При разработке реальных усилителей обычно требуется очень высокий коэффициент усиления, и тогда для задания коэффициента усиления применяют обратную связь, о которой будет сказано позже. Вводя обратную связь, удастся добиться соответствующей работы усилителя, невзирая на изменения характеристик прибора.

## 2.7. УСИЛИТЕЛЬ С ОБЩИМ КОЛЛЕКТОРОМ (ЭМИТТЕРНЫЙ ПОВТОРИТЕЛЬ)

Второй из наиболее популярных схем транзисторных усилителей является схема с общим коллектором. Входной сигнал в такой схеме поступает на базу, а выходной сигнал снимается с эмиттера. Вариант такой схемы, используемый на практике, показан на Рис. 2.11а.

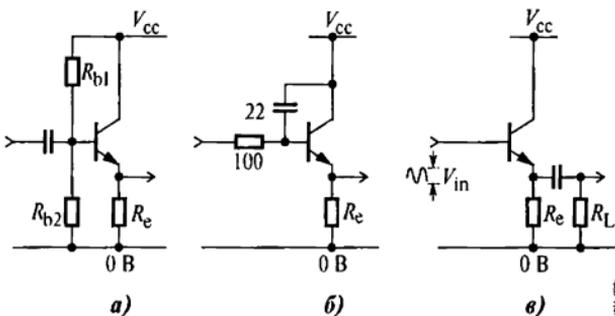


Рис. 2.11. Усилитель с общим коллектором (эмиттерный повторитель):  
 а — практическая схема усилителя;  
 б — схема с защитой от возникновения генерации;  
 в — схема с ограничением уровня сигнала

Условия работы в режиме постоянного тока задаются при помощи резисторов  $R_{b1}$ ,  $R_{b2}$  и  $R_c$ , которые также компенсируют изменения характеристик прибора.

Так как транзистор всегда открыт, напряжение на переходе эмиттер-база составляет приблизительно 0.6 В. Выходной сигнал почти идентичен входному сигналу и по амплитуде, и по фазе. Такая схема называется также эмиттерным повторителем, поскольку напряжение на эмиттере почти в точности повторяет любое входное напряжение, поступающее на базу.

Выходное сопротивление эмиттерного повторителя очень низкое, обычно менее 100 Ом, а входное сопротивление определяется выражением:

$$Z_{in} = h_{ie} + h_{ie} R_c.$$

Входное сопротивление может быть очень высоким, обычно от 10 до 100 кОм, хотя в наличие резисторов  $R_{b1}$  и  $R_{b2}$  в некоторой степени уменьшает его.

Совокупность высокого входного сопротивления, низкого выходного сопротивления и единичного коэффициента усиления делает эмиттерный повторитель очень удобным для применения в качестве буферного каскада.

Эмиттерный повторитель обладает некоторыми специфическими особенностями. Общей чертой всех эмиттерных повторителей является резкое возникновение колебаний на высокой частоте. Чтобы избежать этого, в цепь базы вводят резистор небольшого сопротивления (менее 100 Ом) или включают конденсатор небольшой емкости (около 22 пФ) между коллектором и базой, как показано на **Рис. 2.11б**.

Еще одна проблема возникает при емкостной связи эмиттерного повторителя с нагрузкой, как показано на **Рис. 2.11в**. Если сопротивление резистора  $R_L$  меньше, чем сопротивление резистора  $R_c$  (см. **Рис. 2.11а**), а постоянное смещение, которое задается резисторами  $R_{b1}$  и  $R_{b2}$ , всего лишь немного больше амплитуды сигнала, может возникнуть ограничение отрицательной части амплитуды сигнала. Это исключительно вопрос расчета схемы, и критерий для его решения можно выразить так:

$$V_{in} < \frac{R_L}{R_c + R_L} V_{cc}.$$

## 2.8. УСИЛИТЕЛЬ С ОБЩЕЙ БАЗОЙ

Последняя схема включения показана на **Рис. 2.12**.

Входной сигнал поступает на эмиттер, а выходной сигнал снимается с коллектора. Входное сопротивление такой схемы очень мало (около 15 Ом), тогда как выходное достаточно велико (обычно превышает 1 МОм).

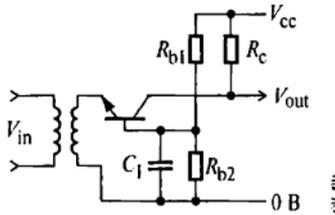


Рис. 2.12. Усилитель с общей базой

Эта схема в некотором роде напоминает источник стабилизированного тока. Благодаря всем этим особенностям область применения усилителя с общей базой сильно ограничена, однако эта схема обеспечивает усиление по напряжению и иногда используется для усиления сигналов от источников с низким сопротивлением, таких, как микрофоны, датчики и антенны.

Основная схема усилителя с общей базой показана на Рис. 2.12. Условия работы в режиме постоянного тока устанавливаются резисторами  $R_{b1}$ ,  $R_{b2}$ . Развязка базы по отношению к сигналам переменного тока осуществляется конденсатором  $C_1$ .

В случае схемы с общей базой проблемы стабилизации стоят не так остро, поскольку начальный ток  $I_{cbo}$  составляет обычно всего лишь несколько микроампер.

Входной сигнал для такой схемы должен поступать от источника с низким сопротивлением, и часто в роли такого источника выступает вторичная обмотка трансформатора. Если же используется емкостная связь, для уменьшения сопротивления необходимо подбирать конденсатор с очень высокой емкостью.

Схема с общей базой не вносит изменений в фазу сигнала между входом и выходом, так как при поступлении положительного входного сигнала коллекторный ток уменьшается, а напряжение на коллекторе возрастает.

Табл. 2.1 иллюстрирует различие параметров схем усилителей, описанных выше.

Таблица 2.1. Сравнение параметров различных усилительных транзисторных схем

Параметр	Схема с общим эмиттером	Схема с общим коллектором	Схема с общей базой
Коэффициент усиления по напряжению	Высокий	Низкий (1 или менее)	Высокий (>100)
Коэффициент усиления по току	Высокий ( $\beta$ )	Высокий ( $\beta + 1$ )	Низкий (<1)
Входное сопротивление, $Z_{in}$ [Ом]	Среднее (~1)	Высокое (>100к)	Низкое
Выходное сопротивление, $Z_{out}$ [Ом]	Среднее или высокое	Низкое (<100)	Высокое (>500к)
Инверсия фазы	Есть	Нет	Нет

## 2.9. МНОГОКАСКАДНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

На практике обычно требуется, чтобы коэффициент усиления усилителя был значительно выше того, который может обеспечить один транзисторный каскад. Для получения необходимого коэффициента усиления каскады могут быть последовательно соединены (включены каскадно), и тогда общий коэффициент усиления составит:

$$G = G_1 \times G_2 \times G_3 \times \dots,$$

где  $G_n$  — коэффициент усиления каскада  $n$ .

Если коэффициент усиления выражен в децибелах, выражение приобретает вид:

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + \dots \text{ [дБ]}.$$

К разработке многокаскадных усилителей следует подходить с особой тщательностью, иначе можно столкнуться с проблемой самовозбуждения и каскадный усилитель превратится в многокаскадный генератор.

На Рис. 2.13 показан многокаскадный усилитель.

Транзистор  $TR_3$  вызывает достаточно значительные изменения тока питания, и в случаях, если отсутствует стабилизация источника питания или индуктивность выводов источника питания велика, напряжение питания изменяется вместе с током.

Эти изменения поступают обратно на первый каскад, где они проходят обработку как входной сигнал, т.е. усиливаются. При соответствующих условиях в усилителе может возникнуть автогенерация колебаний.

Чтобы преодолеть эту проблему, обычно применяют развязку первых нескольких каскадов с источником питания.

В схеме многокаскадного усилителя, показанной на Рис. 2.13, развязка источника питания с транзистором  $TR_1$  осуществляется при помощи резистора  $R_{13}$  и конденсатора  $C_8$ .

Вторая проблема, встречающаяся в многокаскадных усилителях, это генерация колебаний, вызванная паразитной емкостью.

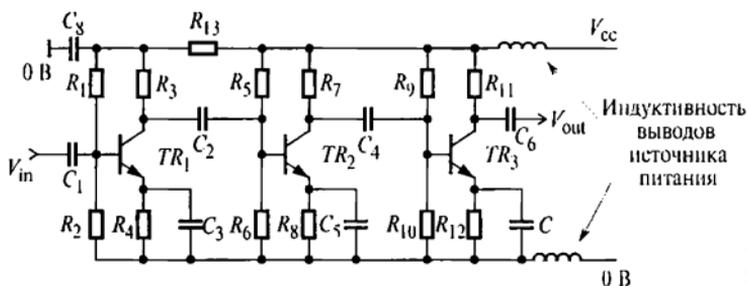


Рис. 2.13. Развязка многокаскадного усилителя

Эта проблема обусловлена взаимным расположением усилительных каскадов на плате. Если каскады расположены неудачно, возникшие между ними паразитные емкостные связи способны перелать часть сигнала с последующих каскадов на предыдущие, образуя паразитную положительную обратную связь. Проблема может быть решена разработкой грамотной конструкции и аккуратным монтажом.

К этому можно добавить, что частота колебаний, вызываемых паразитной емкостью, обычно очень высока, и, если верхняя граница полосы пропускания усилителя ниже частоты этих колебаний, проблему можно решить, специально уменьшив усиление на высоких частотах.

Еще одна важная проблема многокаскадного усилителя, которую следует отметить, заключается в наличии помех, наводимых самим усилителем. Транзисторы генерируют белый шум отчасти благодаря неравномерности потока электронов, отчасти из-за теплового возбуждения электронов в сопротивлениях схемы. Транзисторный шум можно разложить на две составляющие: собственный шум, который зависит от эмиттерного тока, и избыточный шум, который зависит от напряжения на коллекторе.

Любой шум, возникающий в начальных каскадах многокаскадного усилителя, затем усиливается последующими каскадами в ущерб нормальной работе усилителя. Для его уменьшения начальные каскады должны работать при малых токах и малых напряжениях. Кроме того, уменьшения шума можно добиться, применяя специальные малошумящие транзисторы, например BC149.

Очень редко можно встретить многокаскадный усилитель без общей обратной связи, у которого можно было бы точно определить коэффициент усиления. Как было замечено ранее, различия в характеристиках транзисторов вызывают достаточно сильные различия коэффициентов усиления в почти идентичных однокаскадных усилителях.

В многокаскадном усилителе этот эффект многократно увеличивается. Например, если усилитель содержит три каскада, коэффициент усиления каждого из которых может варьироваться от 5 до 1, то вариация общего коэффициента усиления уже будет составлять от 125 до 1.

Обычно многокаскадный усилитель проектируется таким образом, чтобы минимальный возможный коэффициент усиления (рассчитанный для наихудших характеристик транзистора) был более чем достаточен. Кроме того, общий коэффициент усиления устанавливается с учетом отрицательной обратной связи, что дает возможность усилителю работать соответствующим образом вне зависимости от транзисторов, используемых в схеме.

## 2.10. ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ

Вариации характеристик транзистора приводят к достаточно большому различию между коэффициентами усиления совершенно идентичных усилителей. Для создания усилителей с предсказуемыми коэффициентами усиления и незначительными искажениями широко используется отрицательная обратная связь.

На Рис. 2.14 представлена схема усилителя А с высоким коэффициентом усиления и обратной связью (блок В), уменьшающей выходное напряжение.

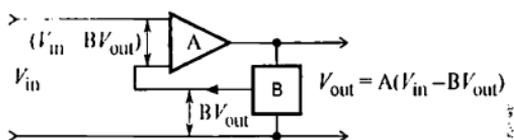


Рис. 2.14. Структурная схема усилителя с отрицательной обратной связью

Простой анализ дает:

$$G_{\text{OVERALL}} = \frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} = \frac{A}{(1 + AB)},$$

где  $G_{\text{OVERALL}}$  — общий коэффициент усиления. Если, например,  $A = 100$ , а  $B = 0.1$ , общий коэффициент усиления составит 9.1. Если значение  $A$  удвоится и составит 200, а значение  $B$  останется равным 0.1, общий коэффициент усиления станет 9.5, т.е. изменится незначительно. Если значение  $A$  очень велико, общий коэффициент усиления можно рассматривать как  $1/B$ .

Отрицательную обратную связь, кроме того, весьма удобно использовать для уменьшения искажений, хотя это не так очевидно. Если искажения усилителя составляют  $N\%$  при разомкнутой петле обратной связи, искажения при наличии отрицательной обратной связи составят:

$$D = \frac{N}{(1 + AB)} \%.$$

Член  $(1 + AB)$  иногда называют коэффициентом ослабления усиления, а член  $AB$  — коэффициентом усиления при разомкнутой петле обратной связи. Общий коэффициент усиления  $A/(1 + AB)$  называется коэффициентом усиления при замкнутой петле обратной связи.

## 2.11. УСИЛИТЕЛИ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ

Усилители звуковой частоты, или звуковые усилители, предназначены для использования в диапазоне частот от 30 Гц до 20 кГц. Во всем этом диапазоне коэффициент усиления должен быть постоянным, если при воспроизведении не требуется выделить какую-либо конкретную область частот. Человеческое ухо очень чувствительно к искажениям, поэтому выходной каскад должен быть сконструирован так, чтобы искажения были минимальными.

Звуковые усилители, как правило, состоят из двух блоков. Каскад предусилителя (или управляющего усилителя) используется для усиления сигнала до уровня приблизительно 1 В. Этот каскад содержит органы регулировки громкости и тембра и переключатели выбора устройства (с которого будет усиливаться сигнал) и режима работы.

Второй блок представляет собой усилитель мощности, осуществляющий значительное усиление сигнала для подачи его в громкоговорители. Этот усилитель не содержит органов управления.

В большинстве современных усилителей предусилитель и усилитель мощности расположены в одном корпусе, но иногда удобно располагать их в отдельных корпусах. Сигнал может поступать во входной каскад предусилителя от самых различных источников, и его уровень может изменяться от нескольких милливольт (например, электромагнитный звукосниматель) до нескольких сотен милливольт (входной сигнал от радиоприемника). Поэтому переключатель выбора режима должен не только осуществлять выбор входа, но также выбирать соответствующий коэффициент усиления.

Дальнейшие сложности возникают из-за того, что характеристика пары магнитная лента—головка звукоснимателя не является плоской. Допустимые вариации этой характеристики определены стандартом RIAA, разработанным Американской Ассоциацией производителей звукозаписывающей аппаратуры. Поэтому усилитель, работающий в режиме выбора магнитной головки звукоснимателя, должен корректировать ее характеристику так, чтобы она становилась плоской.

Типовой входной каскад показан на **Рис. 2.15**.

Транзисторы  $TR_1$  и  $TR_2$  образуют простой двухкаскадный усилитель со стабилизацией по постоянному току, обеспечиваемой резистором  $R_3$ . Выбор требуемого входа осуществляется с помощью переключателя выбора режима  $SW_{1a}$ , а многопозиционным переключателем  $SW_{1b}$  выбираются те компоненты цепи обратной связи, которые обеспечат надлежащие характеристики усилителя для входного сигнала от выбранного источника. На-

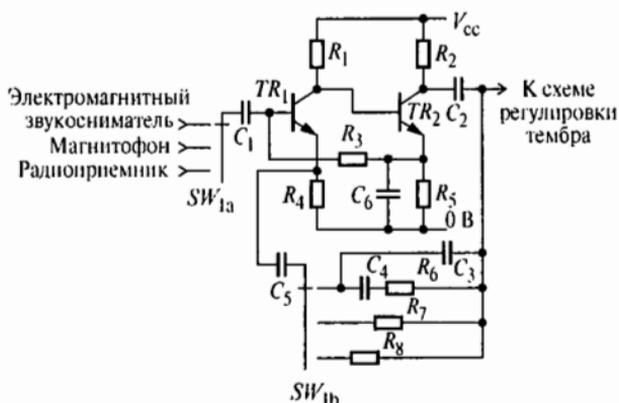


Рис. 2.15. Входной каскад звукового предусилителя

пример, при выборе электромагнитного звукоснимателя требуемая коррекция характеристики в соответствии со стандартом RIAA будет обеспечиваться при помощи резистора  $R_6$  и конденсаторов  $C_3$  и  $C_4$ .

Транзисторы  $TR_1$  и  $TR_2$  специально подбираются таким образом, чтобы их характеристики обеспечивали низкий уровень шума, поэтому нужно обратить внимание на их соединение с переключателями  $SW_1$ , чтобы устранить возможность возникновения помех от силовых трансформаторов или высокочастотных звукоснимателей.

Сигнал с входного каскада поступает на органы регулировки тембра. Обычно они представляют собой схему подъема/опускания характеристики в области высоких/низких звуковых частот. На Рис. 2.16 показаны типовая пассивная схема (а) и активная схема с отрицательной обратной связью (б). Форма амплитудно-частотной характеристики этих схем показана на Рис. 2.16в.

Восприятие человеческим ухом звуков различных частот весьма неодинаково: при малых уровнях громкости ухо менее чувствительно к низким частотам. В некоторых усилителях вместо простой регулировки громкости с помощью аттенюатора используется схема регулировки уровня громкости. Она осуществляет ступенчатый подъем характеристики в области нижних звуковых частот по мере уменьшения громкости, чтобы компенсировать особенности слышимости звуков человеческим ухом. Любители Hi-Fi-аппаратуры обычно не пользуются схемами регулировки уровня громкости, а предпочитают простую аттенюаторную схему регулировки громкости из-за более естественного звука.

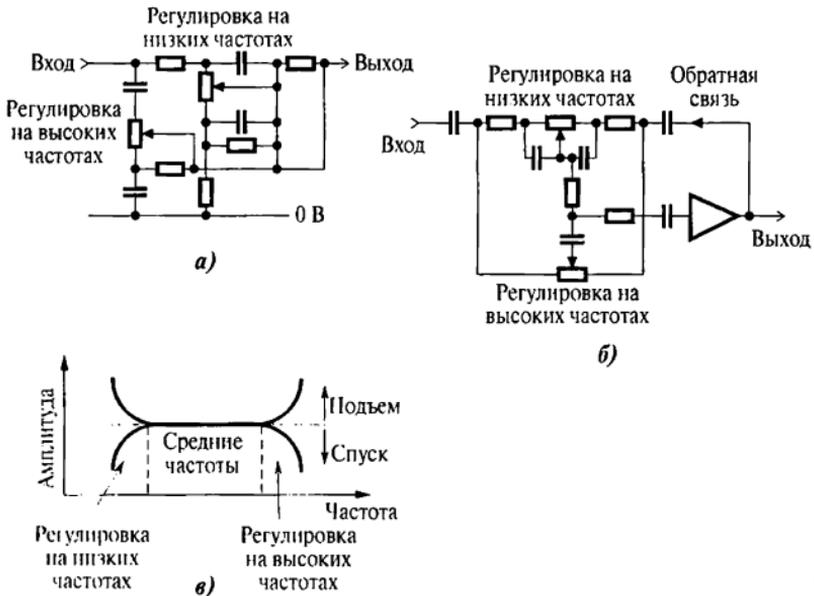


Рис. 2.16. Схемы регулировки тембра: а — пассивная схема; б — активная схема (регулятор тембра Баксендалла); в — типичная характеристика

## 2.12. УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ

Обычно термином «усилитель мощности» называют выходной каскад звукового усилителя, но похожие устройства используются и для многих других целей.

Классификация усилителей мощности проводится в соответствии с режимом, в котором работает выходной каскад. Самый простой усилитель мощности — это усилитель класса А, схема которого представлена на Рис. 2.17а, а типичная характеристика — на Рис. 2.17б.

### 2.12.1. Усилители класса А

Рабочая точка транзистора в усилителях класса А выбирается таким образом, чтобы коллекторный ток протекал при любых напряжениях входного сигнала. Искажения у такого усилителя малы, но коэффициент полезного действия тоже невелик, в лучшем случае он составляет 50%. Поэтому усилители класса А наиболее подходят для использования в качестве маломощных усилителей в портативных радиоприемниках и подобных схемах.

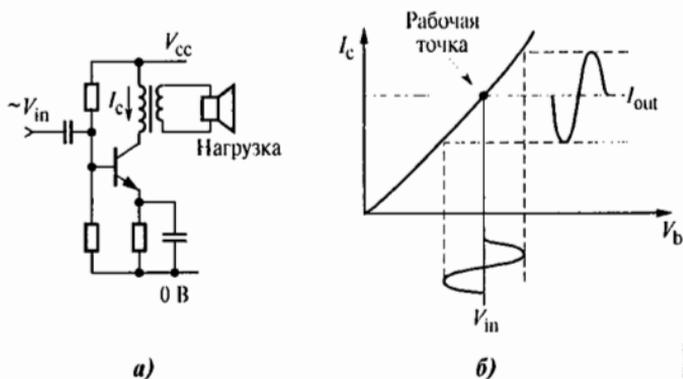


Рис. 2.17. Усилитель мощности класса А: а — схема; б — типичная характеристика — зависимость тока коллектора от напряжения на базе

### 2.12.2. Усилители класса В

Смещение рабочей точки транзисторов в усилителе класса В, представленном на Рис. 2.18а, подобрано так, что один из них заперт, в то время как другой открыт, и наоборот, как показано на Рис. 2.18б.

При положительном входном сигнале (положительном полупериоде) транзистор  $TR_1$  открыт, а транзистор  $TR_2$  заперт, при отрицательном входном сигнале (отрицательном полупериоде) — наоборот. Таким образом, транзисторы работают попеременно, каждый в течение одного полупериода входного сигнала. Такой режим работы называется *двухтактным режимом*. Смещение для транзисторов  $TR_1$  и  $TR_2$  устанавли-

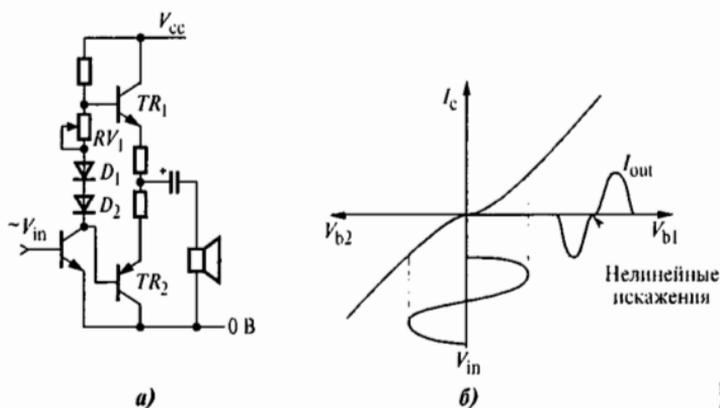


Рис. 2.18. Усилитель класса В: а — схема; б — типичная характеристика

ливается с помощью подстроечного потенциометра  $RV_1$ , а диоды  $D_1$  и  $D_2$  обеспечивают температурную компенсацию напряжения база-эмиттер  $V_{be}$  транзисторов. Поскольку схема имеет незначительный ток покоя, коэффициент полезного действия усилителей класса В достаточно велик.

### 2.12.3. Усилители класса АВ

Нелинейность характеристики транзисторов при малых  $V_b$  приводит к сильным искажениям при малых уровнях громкости усилителей класса В. Эти искажения называют нелинейными, и при работе усилителя они вызывают раздражение у слушателя. Поэтому усилители класса В в чистом виде в звуковых схемах используются достаточно редко, и при их реализации обычно задают небольшой ток покоя. Такой режим называется режимом класса АВ. При работе в этом режиме оба транзистора смещены за пределы нелинейной области характеристики, что приводит к значительному уменьшению искажений за счет небольшой потери в коэффициенте полезного действия.

### 2.12.4. Усилители класса С

Усилители класса С находят применение только в высокочастотной радиоаппаратуре. Рабочая точка выходного каскада смещена далеко за пределы области отсечки, и транзистор открывается только при максимумах входного сигнала. Сигнал от такого усилителя сильно искажен, как видно из Рис. 2.19, и непригоден для использования в звуковых схемах.

В то же время в высокочастотных схемах правильная форма сигнала восстанавливается благодаря резонансной нагрузке. Усилители класса С очень эффективны и поэтому нашли широкое применение в радиоэлектронике.

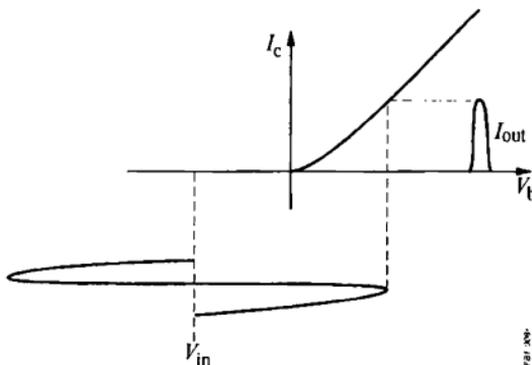


Рис. 2.19. Входной и выходной сигнал усилителя класса С

### 2.12.5. Усилители классов D и E

Усилители этих классов не подпадают строго под определенные классы усилителей, работающих в открытом состоянии. Работа усилителей класса D основана на *широтно-импульсной модуляции*, или ШИМ, а усилители класса E — это усилители, работающие в *режиме переключения*. Усилители класса D (Рис. 2.20) могут применяться в звуковой аппаратуре, но есть варианты усилителей, работающих в диапазонах длинных и средних волн. Усилители класса E в основном используются в ВЧ аппаратуре.

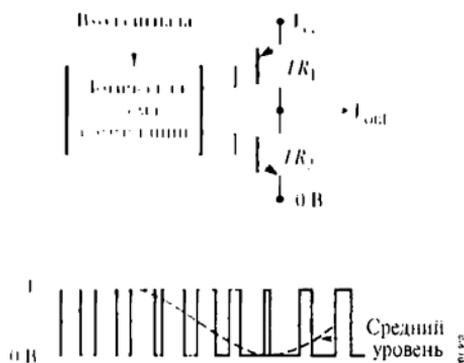


Рис. 2.20. Усилитель класса D

### 2.13. КЛАССИФИКАЦИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ ПО ПАРАМЕТРАМ

Усилители можно охарактеризовать по ряду рабочих параметров. Это:

- частотная характеристика (или зависимость коэффициента усиления или фазы от частоты);

- зависимость коэффициента усиления или фазы от выходной мощности;

- точка компрессии по уровню 1 дБ;

- преобразование амплитудной модуляции в фазовую;

- согласование входного и выходного сопротивления;

- коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН);

- потери на отражении;

- значения полных сопротивлений;

- максимальная выходная мощность;

- суммарное значение коэффициента нелинейных искажений;

- интермодуляционное искажение (сигнала);

- точка пересечения третьего порядка;

- шум-фактор;

- развязка входа от выхода.

### 2.13.1. Малосигнальный усилитель

Обычно малосигнальные усилители используют в приемниках, предусилителях и некоторых каскадах с низким уровнем сигналов в передатчиках. Часто эти усилители работают в режиме класса А, так как для их работы в первую очередь требуется линейность, потери в виде рассеяния тепла и прочие присущие классу А недостатки особого значения здесь не имеют.

Типичный малосигнальный ВЧ-усилитель может быть как настраиваемым на одну частоту, так и широкополосным, покрывающим целую полосу частот. Существуют усилители, обладающие чрезвычайно широкой полосой пропускания. Когда-то такая полоса пропускания была только у видеоусилителей, но теперь благодаря монолитным СВЧ интегральным схемам стало возможным изготавливать широкополосные усилители с выходным/входным сопротивлением 50 Ом, охватывающие широкий диапазон частот: от сигналов постоянного тока до СВЧ.

### 2.13.2. Высокочастотный усилитель мощности

Высокочастотные усилители мощности существенно отличаются от малосигнальных усилителей. Одно из очевидных отличий — это уровни мощности сигналов. Если мощность выходного сигнала малосигнального усилителя, который на практике может использоваться в качестве усилителя напряжения, составляет от микроватт до нескольких милливольт, то уровни мощности выходного сигнала ВЧ-усилителя мощности лежат в пределах от 100 мВт до нескольких мегаватт. С другой стороны, мощность передатчиков некоторых международных коротковолновых радиостанций составляет многие мегаватты.

Еще одно различие, вытекающее из отдаваемой мощности ВЧ-усилителя, заключается в большом количестве рассеиваемого тепла. Коэффициент полезного действия таких усилителей изменяется от 25% до почти 80%, остальная мощность рассеивается в виде огромного количества тепла. Из этого следует, что ВЧ-усилители мощности должны быть оборудованы теплоотводами и вентиляторами. В некоторых устройствах радиовещания и передатчиках большой мощности устанавливается система водяного охлаждения вокруг активной части усилителя мощности.

Мощные вакуумные лампы, используемые в ВЧ-усилителях, либо включаются с заземленным катодом, а положительное питание подается на анод, либо анод может быть заземлен, а катод подключен к отрицательному питанию высокого напряжения. В последнем случае анод конструируется таким образом, что вокруг него монтируется либо водяная рубашка, либо система воздуховодов, и если бы анод не был заземлен, сделать такую кон-

струкцию было бы проблематично. Можно найти даже такие радиопередатчики, отводимое тепло которых служит для обогрева помещения или здания, в котором они расположены, вместо парового, газового или масляного отопления.

### 2.13.3. Основные параметры ВЧ-усилителей

*Частотная характеристика.* Эта характеристика графически отображает зависимость коэффициента усиления от частоты и может быть выражена как в линейном масштабе, так и в логарифмическом (в децибелах).

*Зависимость коэффициента усиления или фазы от выходной мощности.* В высокочастотных усилителях мощности коэффициент усиления и сдвиг фазы изменяются вместе с уровнем выходной мощности.

*Точка компрессии по уровню 1 дБ.* Коэффициент усиления нелинейного усилителя измеряется как  $P_{\text{out}}/P_{\text{in}}$ , и как входная, так и выходная мощность могут увеличиваться неограниченно. Реальные же усилители при определенных уровнях входной мощности начинают входить в насыщение. Возле некоторой точки, находящейся непосредственно за изгибом характеристики в области насыщения, усиление падает на 1 дБ. Уровень входной мощности, при котором происходит это изменение, называется точкой компрессии по уровню 1 дБ  $P_1$  (Рис. 2.21).

*Преобразование амплитудной модуляции в фазовую.* Этот параметр представляет собой показатель количества составляющих фазовой модуляции (ФМ), появившихся благодаря изменениям сигнала, созданным амплитудной модуляцией (АМ).

*Согласование сопротивлений.* Этот параметр показывает, насколько хорошо согласованы входное и выходное сопротивление-

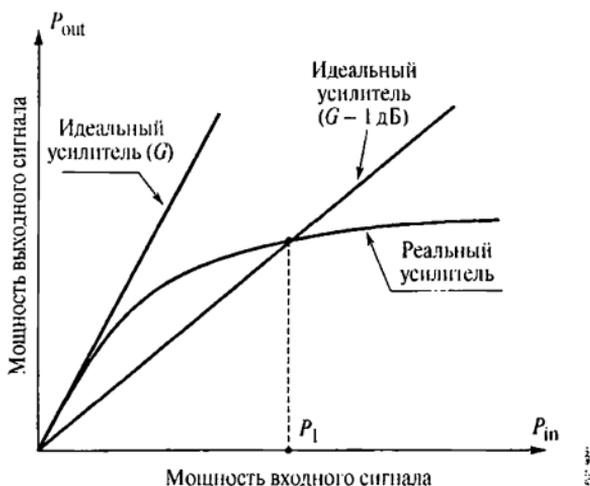


Рис. 2.21. Зависимость выходной мощности сигнала от входной

ния усилителя с сопротивлениями системы. Максимальной передачи мощности и отсутствия отражений можно добиться в том случае, когда сопротивления нагрузки и источника одинаковы. Номинальное значение резистивного сопротивления ВЧ-систем составляет 50 Ом (75 Ом для теле- и видеосистем).

*Коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН).* Всякий раз, когда сопротивления источника и нагрузки не согласованы, возникает стоячая волна, характеризующаяся коэффициентом стоячей волны по напряжению (КСВН). Отношение двух сопротивлений (которое обычно больше единицы) и называется КСВН. КСВН входа усилителя — это КСВН, которым обладает вход, подключенный к источнику с сопротивлением 50 Ом, или выход, подключенный к нагрузке. Идеальное соотношение 1:1.

*Потери на отражении.* Это отношение отраженного сигнала к переданному сигналу в системе, выраженное в децибелах. По мере того как КСВН приближается к значению 1:1, потери на отражении возрастают.

*Полное сопротивление.* Фактические величины входного и выходного сопротивлений обычно определяются формулой:

$$Z = R + jX.$$

*Максимальная выходная мощность.* Этот параметр используется в ВЧ-усилителях как показатель наибольшей выходной мощности, выраженной в ваттах или кратных единицах, которую может выделять усилитель, удовлетворяя при этом указанным характеристикам, таким, как суммарный коэффициент гармоник (суммарное значение коэффициента нелинейных искажений), интермодуляционное искажение (сигнала) и т.д.

*Суммарное значение коэффициента нелинейных искажений.* Показатель линейности усилителя. Идеальный линейный усилитель не создает гармоник частоты входного сигнала. Реальные же усилители создают такие гармоники (Рис. 2.22).

*Интермодуляционное искажение (сигнала).* Если на вход усилителя одновременно поступают два сигнала с частотами  $f_1$  и  $f_2$ , имеет место некоторая нелинейность, вследствие чего образуются дополнительные частотные составляющие. На Рис. 2.23 показаны некоторые частотные составляющие третьего порядка.

Обычно эти составляющие рассматриваются как наиболее важные, поскольку находятся вблизи исходных сигналов, и, таким образом, с большой долей вероятности попадают в полосу пропускания усилителя. Другие же составляющие, находящиеся за пределами полосы пропускания усилителя, менее важны. Вот список этих составляющих:

Первый порядок (исходные сигналы)	$f_1$ $f_2$
Второй порядок	$f_1 + f_2$ $f_1 - f_2$
Третий порядок	$2f_1 + f_2$ $2f_1 - f_2$ $2f_2 + f_1$ $2f_2 - f_1$
Четвертый порядок	$2f_1 + 2f_2$ $2f_1 - 2f_2$
Пятый порядок	$3f_1 + 2f_2$ $3f_1 - 2f_2$ $3f_2 + f_1$ $3f_2 - f_1$

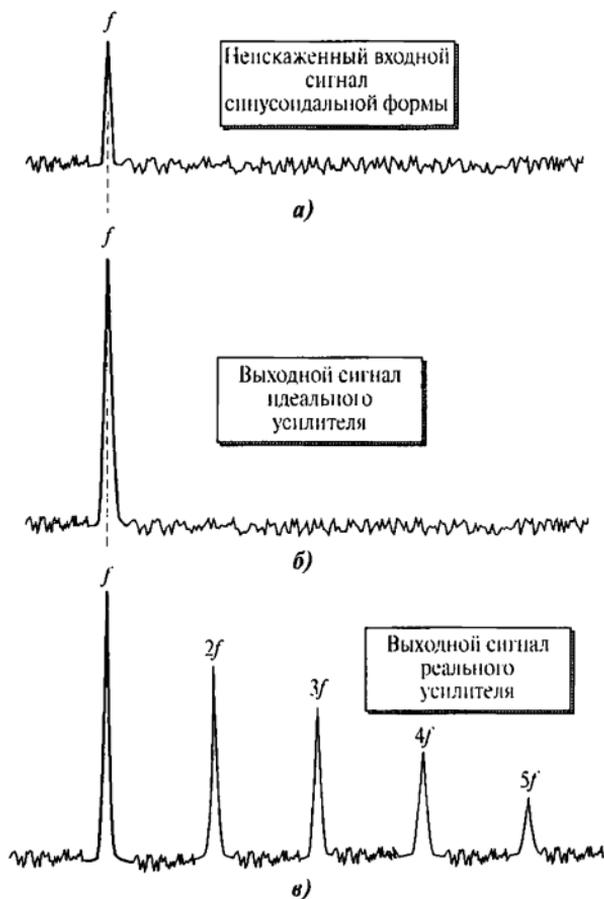


Рис. 2.22. Спектральные характеристики входного (а), выходного идеального (б) и выходного реального (в) сигналов

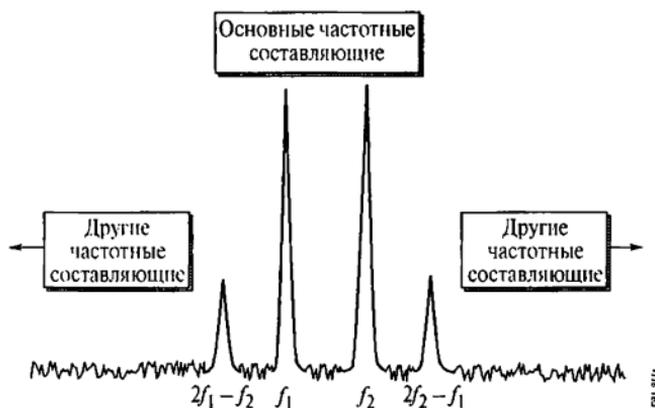


Рис. 2.23. Исходные сигналы и частотные составляющие третьего порядка



Рис. 2.24. Точка пересечения кривых передаточных функций первого и третьего порядка

*Коэффициент шума.* Наряду с шумовой температурой выражает уровень шума, создаваемого усилителем.

*Точка пересечения третьего порядка.* Составляющие третьего порядка на выходе усилителя возрастают быстрее, чем основные составляющие (исходные сигналы). В некоторой точке, которая может находиться выше точки компрессии, составляющие основного сигнала идеального усилителя и составляющие третьего порядка пересекаются. Эта точка называется точкой пересечения третьего порядка. Если уровни сигналов на входе превышают уровень в точке пересечения третьего порядка, то и суммарное значение коэффициента нелинейных искажений, и негермодуляционные искажения (сигнала) существенно возрастают (Рис. 2.24).

*Развязка входа от выхода.* Отношение уровня сигнала, поступившего на выход усилителя, к уровню на входе схемы. Поступившие на выход сигналы могут быть отражены от нагрузки (как бывает, если усилитель мощности подключен к антенне и передающей линии) либо могут поступать от следующих за усилителем схем (как, например, в приемнике, где сигнал от гетеродина, поступивший на смеситель, может появиться на выходе ВЧ-усилителя).

## 2.14. ВИДЕОУСИЛИТЕЛИ

Как правило, усилители, полоса пропускания которых распространяется от нижней границы диапазона звуковых частот до частот, измеряемых меггерцами, называются видеоусилителями, вне зависимости от области их применения. Такое название пришло из телевизионной схемотехники, где требуются широкополосные усилители, хотя усилители этого класса используются также и в другом оборудовании, например в радарах и ультразвуковых приборах.

Конструкция видеоусилителей при поверхностном рассмотрении напоминает конструкцию усилителей звуковой частоты. Граница полосы пропускания в области верхних частот ограничивается паразитными емкостями и падением коэффициента  $h_{fe}$  транзисторов. Нижняя граница определяется возрастающим сопротивлением межкаскадных разделительных конденсаторов и развязывающих конденсаторов в цепи эмиттера.

Паразитную емкость можно уменьшить при внимательном отношении к размещению и выбору соответствующих компонентов, но устранить ее полностью никогда не удастся. Сопротивление паразитной емкости в 20 пФ составляет 4 кОм на частоте 2 МГц и 1 кОм на частоте 5 МГц. Это означает, что для компенсации паразитной емкости потребовались бы очень низкие значения сопротивления остальной части схемы. Однако низкое значение коллекторного сопротивления приведет к низкому коэффициенту усиления; следовательно, такой подход практически непригоден.

На практике для решения этой проблемы в качестве коллекторной нагрузки включают катушку индуктивности и резистор. Величина индуктивности катушки  $L$  выбирается исходя из величины паразитной емкости таким образом, чтобы вместе они образовали резонансный контур при максимальном значении требуемой частоты (обычно около 5 МГц). Благодаря очень высокому значению сопротивления  $R$  достигается сильное демпфирование схемы и коэффициент усиления остается достаточно постоянным в требуемом диапазоне частот.

На низких частотах значение коэффициента усиления в значительной степени определяется межкаскадной связью. Характеристики и емкостной, и трансформаторной (индуктивной) связи неудовлетворительны на низких частотах, поэтому в видеоусилителях обычно применяют связь по постоянному току.

На Рис. 2.25 представлена схема каскада типичного видеоусилителя.



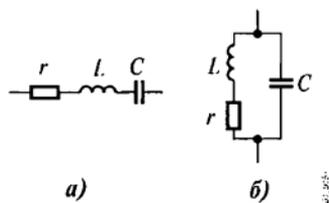
Рис. 2.25. Каскад видеоусилителя

Такой каскад усиливает видеосигналы в диапазоне от нескольких вольт до почти 60 В, в качестве нагрузки к его выходу подключается ЭЛТ. Стоит обратить внимание на связь по постоянному току и компенсационную катушку индуктивности в цепи коллектора.

## 2.15. ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

В ВЧ-усилителях зачастую требуются схемы, усиливающие сигналы в очень узкой полосе частот и подавляющие все остальные. В частотно-избирательных усилителях (часто называемых также резонансными, или просто ВЧ-усилителями) для осуществления необходимой настройки используются индуктивно-емкостные цепочки.

Схема, изображенная на **Рис. 2.26а**, известна как последовательный резонансный контур.



**Рис. 2.26.** Резонансные контуры:

*а* — последовательный резонансный контур;

*б* — параллельный резонансный контур

Фазовые изменения, вызываемые катушкой индуктивности и конденсатором, абсолютно противоположны, поэтому резонанс наступает, когда их реактивные сопротивления равны, т.е.:

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC}$$

или

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Полное сопротивление при резонансе определяется исключительно значением активного сопротивления  $r$ . Из этого следует, что при резонансе сопротивление схемы мало.

Схема, изображенная на **Рис. 2.26б**, представляет собой параллельный резонансный контур (она чаще встречается в ВЧ-усилителях). Резонанс в такой схеме также наступает при равных реактивных сопротивлениях катушки индуктивности и конденсатора. Формулы, приведенные выше, справедливы и для этой схемы тоже.

При резонансе полное сопротивление параллельного резонансного контура очень велико. Теоретически его значение бесконечно, но практически компоненты схемы обладают последовательным резистивным сопротивлением, обозначенным на рисунке как  $r$ .

Если подключить параллельный резонансный контур в качестве нагрузки к коллектору транзисторного усилителя, коэффициент усиления будет изменяться вместе с сопротивлением резонансного контура и будет максимальным при резонансе (**Рис. 2.27**).

Максимальное значение коэффициента усиления определяется главным образом последовательным сопротивлением катушки. «Кратность увеличения», обозначаемая  $Q$ , для катушки при резонансе составляет:

$$Q = \frac{2\pi fL}{r} = \frac{\omega L}{r},$$

где  $\omega = 2\pi f$ , а  $f$  — резонансная частота. Чем выше значение  $Q$ , тем выше коэффициент усиления. Типичные значения  $Q$  лежат в пределах от 100 до 500.

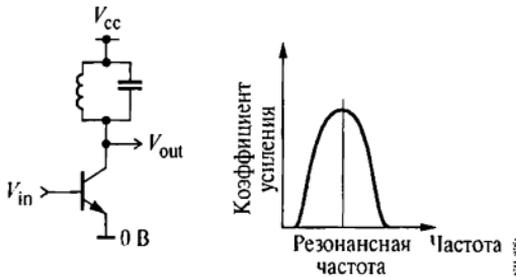


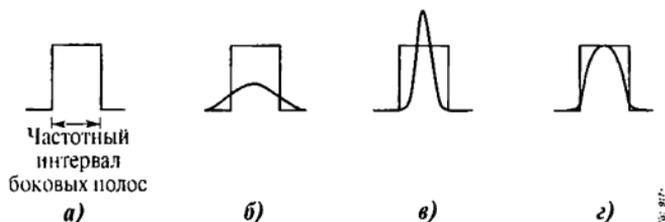
Рис. 2.27. Транзисторный усилитель с резонансным контуром в цепи коллектора

При резонансе параллельный индуктивно-емкостный контур имеет свойства резистора, сопротивление которого можно определить по любой из формул:

$$R = \frac{\omega^2 L^2}{r} = \frac{L}{Cr} = \frac{Q}{\omega C}.$$

Можно было бы предположить, что контур изготавливается таким образом, чтобы значение  $Q$  было насколько возможно большим, так как ВЧ-усилитель обычно используется для выбора только одной конкретной радиостанции в конкретный момент времени. Но это не совсем так, потому что радиосигнал занимает не только одну конкретную частоту. Он состоит из средней частоты несущей и полосы боковых частот, и, следовательно, необходимо, чтобы ВЧ-усилитель работал в некоторой довольно узкой полосе частот. На Рис. 2.28а изображена идеальная характеристика такого усилителя.

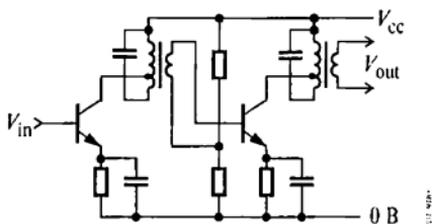
Чем выше значение  $Q$  резонансного контура, тем уже полоса частот, сигналы из которой будут подвергаться усилению. На Рис. 2.28б, в показаны характеристики идентичных контуров, у которых значения  $Q$  составляют 100 и 500 соответственно. Характеристика контура с высоким значением  $Q$  очень узкая, и требуемая полоса частот усиливаться не будет. Контур с малым значением  $Q$  пропускает слишком широкую полосу частот. Из формы резонансных кривых на рисунке следует, что нет значения  $Q$  реального однокаскадного усилителя, дающего приемлемую аппроксимацию идеальной характеристики (Рис. 2.28а).



**Рис. 2.28.** Выходной сигнал усилителя в радиоприемниках:  
 а — идеальная характеристика отклика;  
 б — характеристика отклика однокаскадного усилителя с  $Q = 100$ ;  
 в — характеристика отклика однокаскадного усилителя с  $Q = 500$ ;  
 г — характеристика отклика многокаскадного усилителя,  $Q = 100$  для каждого каскада

Однако, если собрать многокаскадный усилитель, значение  $Q$  для каждого каскада которого равно 100, можно получить характеристику, изображенную на **Рис. 2.28г**. Эта характеристика имеет подходящую ширину и форму и неплохо аппроксимирует идеальную характеристику. Поэтому многокаскадная структура используется в ВЧ-усилителях не только для увеличения коэффициента усиления, но и для улучшения избирательности по частоте.

Обычно у транзисторного ВЧ-усилителя высокое выходное сопротивление и довольно низкое входное. Поэтому, для того чтобы добиться надлежащего согласования между каскадами, используют трансформаторы, как показано на **Рис. 2.29**.



**Рис. 2.29.** Транзисторный ВЧ-усилитель

Чтобы установить подходящие значения индуктивности  $L$  и емкости  $C$ , применяется первичная обмотка с ответвлениями.

Методика, описанная здесь, позволяет конструировать ВЧ-усилители, частота которых достигает нижней границы диапазона ОВЧ (около 40 МГц). Для создания усилителей, работающих с сигналами более высокой частоты, применяют другие методы, выходящие за рамки данной книги.

## 2.16. ИЗМЕРЕНИЕ ИНТЕРМОДУЛЯЦИОННЫХ ИСКАЖЕНИЙ

Интермодуляционные искажения возникают в случае, когда на входе усилителя смешиваются два или более сигналов. Если усилитель идеально линейный, в частотном спектре его выходных сигналов будут присутствовать только сигналы исходной частоты. Но любая нелинейность приведет к появлению частотных составляющих, которые были рассмотрены ранее. Интермодуляционные искажения тестируемого усилителя характеризуют при помощи измерения точки пересечения второго порядка ( $IP_2$ ) и точки пересечения третьего порядка ( $IP_3$ ).

Тестовая установка для проведения измерений интермодуляционных искажений включает в себя два генератора сигналов, вырабатывающих тестовые сигналы с частотами  $f_1$  и  $f_2$ . Каждый генератор сигналов оборудован фильгмом низких частот для того, чтобы в выходном спектре этого генератора не присутствовали гармоники, которые могли бы создавать собственные интермодуляционные составляющие.

Сигналы  $f_1$  и  $f_2$  объединяются в линейной схеме сложения сигналов. Во избежание попадания сигнала от одного генератора на выход другого важно, чтобы у схемы сложения сигналов была эффективная развязка входов и выходов друг от друга. В некоторых случаях в этих сигнальных линиях предусмотрена установка регулируемых или ступенчатых аттенюаторов, которые также способствуют развязке. Чтобы устранить проблемы с линейностью до того, как сигнал поступит на вход усилителя и возникнут либо гармоники, либо интермодуляционные составляющие, перед входом усилителя устанавливается полосовой фильтр. Некоторые схемы сложения могут вносить нелинейность, особенно если в схеме используются катушки индуктивности с ферритовыми или порошково-железными сердечниками.

Выходной сигнал тестируемого усилителя наблюдается на анализаторе спектра. Амплитуды ( $A$ ) тестовых сигналов с частотами  $f_1$  и  $f_2$  равны. Для большинства усилителей задан стандартный интервал между частотами  $f_1$  и  $f_2$ , например 20 кГц, 100 кГц, 1 МГц, в зависимости от типа усилителя и диапазона частот.

*Метод измерения точки пересечения второго порядка.* Для нахождения точки пересечения второго порядка требуется выявить составляющие второго порядка,  $f_1 \pm f_2$ . Если обозначить амплитуду входного сигнала  $A$  [дБм], коэффициент усиления  $G$  [дБ], то амплитуда входного сигнала при поступлении на вход двух сигналов с равными амплитудами составит  $G + A$  [дБм]. Метод измерения заключается в обнаружении составляющих искажений второго порядка на дисплее анализатора спектра и измерении

разности  $\Delta P$  [дБ] между этими составляющими и выходным сигналом  $G + A$  двух входных сигналов с частотами  $f_1$  и  $f_2$ . Точка пересечения второго порядка определяется по формуле:

$$IP_2 = A + \Delta P$$

или

$$IP_2 = 2A + G - B,$$

где  $IP_2$  — точка пересечения второго порядка (в дБм),  $A$  — уровень входного сигнала (в дБм),  $G$  — коэффициент усиления тестируемого усилителя (в дБ),  $B$  — разность между уровнями основных сигналов и составляющих второго порядка на выходе.

*Метод измерения точки пересечения третьего порядка.* Измерение точки пересечения третьего порядка ( $IP_3$ ) проводится подобно измерению точки второго порядка, но теперь нужно наблюдать составляющие третьего порядка. Из четырех составляющих третьего порядка обычно наибольшее значение имеют разностные составляющие третьего порядка ( $2f_1 - f_2$  и  $2f_2 - f_1$ ), потому что, как правило, именно они попадают в полосу пропускания усилителя. Точка пересечения третьего порядка определяется по формуле:

$$IP_3 = A + \frac{\Delta P}{2}.$$

В измерении точек пересечения более высокого порядка обычно нет необходимости.

В общем случае:

$$IP_N = \frac{NP_A - P_{1M}}{N - 1},$$

где  $IP_N$  — это интермодуляционная составляющая порядка  $N$ ,  $N$  — порядок интермодуляционной составляющей,  $P_A$  и  $P_{1M}$  — уровни мощности сигналов в дБм.

*Пример:*

Высокочастотный усилитель частотой 162.55 МГц тестировался при частотах  $f_1 = 162.55$  МГц и  $f_2 = 162.57$  МГц. Ближайшими составляющими третьего порядка будут  $2f_1 - f_2 = 162.53$  МГц и  $2f_2 - f_1 = 162.59$  МГц.

1. Минимальный различимый сигнал частотой 162.55 МГц требует настройки аттенюатора на  $-89$  дБ, поэтому  $P_{1M} = (-10 \text{ дБм} - 89 \text{ дБ}) = -99 \text{ дБм}$ .
2. Чтобы уровень отклика частотой 162.53 МГц был равен уровню минимально различимого сигнала, для отклика третьего порядка требуется установить ослабление  $19$  дБ. Таким образом,  $P_A = (-10 \text{ дБм} - 19 \text{ дБ}) = -29 \text{ дБм}$ .

Поскольку для отклика третьего порядка  $N = 3$ , то:

$$IP_3 = \frac{3 \times (-291 \text{ дБм}) - (-99 \text{ дБм})}{3-1} = +6 \text{ дБм} .$$

При помощи приведенных выше уравнений можно вычислить точки пересечения любого порядка, после того как будут найдены точки  $P_A$  и  $P_{IM}$ .

## 2.17. УСИЛИТЕЛИ НА ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ

Усилители переменного тока изготавливают и с применением интегральных схем, но формируют несколько иначе, чем усилители постоянного тока или логические схемы. В настоящее время простые мощные звуковые усилители конструируют на интегральных схемах с минимальным количеством внешних компонентов.

Типичная схема звукового усилителя с регулировкой тембра показана на Рис. 2.30.

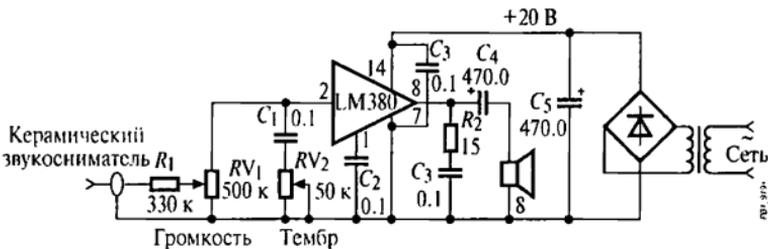


Рис. 2.30. Звуковой усилитель на интегральной схеме для несложного проигрывателя

Усилители на интегральных схемах используют в большинстве телевизоров и в недорогих бытовых музыкальных центрах. В аппаратуре класса Hi-Fi чаще применяют транзисторные предусилители, и причина этого в том, что шумовые характеристики большинства предусилителей на интегральных схемах пока еще уступают шумовым характеристикам транзисторных усилителей.

Интегральные схемы используют и в схемах, работающих на высоких и промежуточных частотах, хотя это не приводит к столь резкому уменьшению количества компонентов, как в звуковых усилителях. Эти схемы должны содержать органы настройки, которые вряд ли чем-либо можно заменить. Многие интегральные схемы разрабатываются для применения в какой-либо конкретной области, например, в современных цветных теле-

визорах используются специально разработанные интегральные схемы для блока промежуточной частоты, детектора звукового сигнала и демодулятора сигнала цветности. Одним из ведущих производителей налажен выпуск уникальных радиоприемников прямого усиления (TRF) на одном кристалле. Несомненно, что универсальность усилителей переменного тока будет возрастать и далее, и, вероятно, наступит время, когда разработчики схем смогут выбирать усилители переменного тока по каталогам, почти так же, как они выбирают усилители постоянного тока или логические элементы.

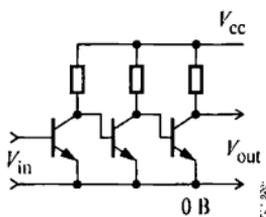
## 2.18. УСИЛИТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

До недавних пор описания усилителей постоянного тока содержали множество подробностей относительно их разработки с применением дискретных элементов. Технология интегральных схем дала разработчику аппаратуры возможность пользоваться усилителями постоянного тока с превосходными характеристиками, стоимость которых почти не отличается от стоимости отдельного транзистора. В настоящее время усилители постоянного тока рассматриваются как стандартные блоки, и в очень редких случаях разработчику приходится самостоятельно конструировать такой усилитель.

### 2.18.1. Основные принципы

В обычных усилителях переменного тока для связи следующих друг за другом каскадов включают конденсаторы и трансформаторы. Такая связь по переменному току приводит к тому, что параметры смещения для каждого каскада совершенно независимы. Очевидно, что в усилителях постоянного тока невозможно воспользоваться таким методом, так как непосредственная связь между каскадами принципиально необходима.

Однако непосредственная связь приводит к возникновению некоторых проблем. Казалось бы, усилители постоянного тока должны выглядеть подобно схеме, изображенной на **Рис. 2.31**.



**Рис. 2.31.** Простой усилитель постоянного тока

К сожалению, существует ряд причин, по которым такая схема не будет работать. Характеристики транзисторов варьируются в достаточно широком диапазоне как при изменении температуры, так и от прибора к прибору. Две наиболее важные, применительно к усилителю постоянного тока, характеристики транзистора — это напряжение база—эмиттер и начальный ток коллектора.

Напряжение база—эмиттер  $V_{be}$  изменяется на 2 мВ при изменении температуры на один градус Цельсия. Усилитель не делает различий между изменениями напряжения  $V_{be}$  вследствие изменения температуры и изменениями, вызванными входным сигналом. Входной сигнал усилителя для большинства применений представлен напряжением порядка нескольких милливольт, и это делает невозможным использование простого усилителя вследствие влияния колебаний температуры окружающей среды.

Начальный ток коллектора вызывает изменение величины коллекторного напряжения, которое является входным сигналом для последующих каскадов. Этот ток опять-таки зависит от температуры. Таким образом, простая схема, изображенная на рисунке, более пригодна для использования в качестве термометра, нежели как усилитель.

### 2.18.2. Дифференциальный усилитель

В усилителях постоянного тока почти повсеместно применяется схема, представленная на Рис. 2.32.

Транзисторы  $TR_1$  и  $TR_2$  специально подбираются с одинаковыми характеристиками. Особенно важно, чтобы эти характеристики одинаково изменялись с температурой. При изготовлении усилителя на дискретных компонентах нужно особенно тщательно подбирать транзисторы и устанавливать их на теплоотводы, чтобы поддерживалось равенство температур. В интегральном варианте формирования усилителя характеристики автоматически совпадают, а температурная стабильность обеспечивается корпусом микросхемы.

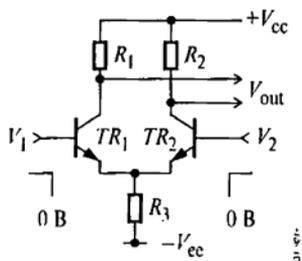


Рис. 2.32. Дифференциальный усилитель постоянного тока

В результате такого подхода изменения напряжения  $V_{be}$  вызывают одинаковые изменения коллекторного напряжения, а так как резистор  $R_3$  можно рассматривать в качестве источника тока постоянной величины, на коллекторные токи и напряжения почти ничто не влияет. Более того, любые изменения, которые происходят, одинаковы для обоих транзисторов  $TR_1$  и  $TR_2$ , и дифференциальное выходное напряжение остается неизменным.

Изменения начального тока одинаково отражаются на обоих транзисторах, что также не приводит к каким-либо заметным и существенным изменениям выходного напряжения.

Предположим, что два входа усилителя поступают два входных сигнала, одинаковых и по амплитуде, и по фазе. Они вызовут одинаковые изменения коллекторного тока в обоих транзисторах, и в результате выходное напряжение окажется равным нулю. Если же входные сигналы различаются, коллекторные токи также будут различаться и выходное напряжение будет представлять собой усиленную разность напряжений двух входных сигналов. Поэтому такой усилитель и называется дифференциальным.

Важной характеристикой дифференциального усилителя является его способность усиливать дифференциальный сигнал (разность входных напряжений), но не усиливать сами сигналы. Предположим, что  $V_1 = 0.1$  мВ,  $V_2 = 0$  В, а  $V_{out} = 50$  мВ. Коэффициент усиления дифференциального сигнала:

$$A_{dl} = \frac{50}{0.1} = 500.$$

При увеличении напряжений  $V_1$  и  $V_2$  на 1 мВ:  $V_1 = 1.1$  мВ,  $V_2 = 1$  мВ, напряжение на выходе составит  $V_{out} = 52$  мВ. Значит, коэффициент усиления синфазного входного сигнала составит:

$$A_c = \frac{52 - 50}{1} = 2.$$

Способность усилителя усиливать дифференциальные сигналы, подавляя при этом синфазные сигналы, называется *коэффициентом ослабления синфазного сигнала*, или КОСС, и определяется как:

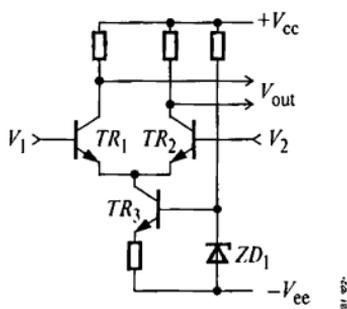
$$\text{КОСС} = \frac{A_{dl}}{A_c}.$$

У рассмотренного выше усилителя КОСС равен 250. Значения КОСС интегральных дифференциальных усилителей настолько велики, что их удобнее выражать в децибелах. Например, КОСС операционного усилителя серии 741 составляет 90 дБ.

КОСС улучшится, если приблизить характеристики резистора  $R_3$  к характеристикам генератора тока постоянной величины.

Этого можно добиться путем увеличения его сопротивления, что влечет за собой необходимость увеличения абсолютного значения напряжения отрицательного питания  $V_{ee}$ . Обычно напряжение питания усилителей постоянного тока составляет  $\pm 15$  В, что на практике ограничивает возможность увеличения сопротивления резистора  $R_3$ .

Другим широко применяемым способом является замена резистора  $R_3$  транзисторным источником тока, как показано на **Рис. 2.33**. Стабилитрон  $ZD_1$  задаст напряжение на эмиттере транзистора  $TR_3$ , ток коллектора которого поступает на эмиттеры транзисторов дифференциальной пары. Если на эмиттеры транзисторов дифференциальной пары поступает ток постоянной величины, можно добиться очень высоких значений КОСС.



**Рис. 2.33.** Дифференциальный усилитель с высоким коэффициентом ослабления синфазного сигнала

### 2.18.3. Усилитель постоянного тока с прерывателем

Другим методом усиления сигналов постоянного тока является использование транзисторных или КМОП-переключателей для прерывания входного сигнала, в результате чего получается сигнал переменного тока, который затем усиливается простейшим усилителем переменного тока. На выходе при помощи еще одного переключателя восстанавливается уровень постоянной составляющей сигнала. Схема такого усилителя показана на **Рис. 2.34а**.

Переключатели  $S_1$  и  $S_2$  — это транзисторные или КМОП-переключатели, работающие попеременно, т.е. когда переключатель  $S_1$  закрыт, переключатель  $S_2$  открыт. На **Рис. 2.34б** представлены формы сигналов. После усилителя с прерывателем в схеме обычно следует фильтр, который отсекает переменную составляющую сигнала, созданную переключателями.

Усилители с прерывателями часто используются там, где требуется развязка между входом и остальной схемой. Типичный пример такого подхода — промышленные системы регистрации данных, где перепады напряжения, вызванные работой заводского оборудования, могут привести к попаданию высокого напря-

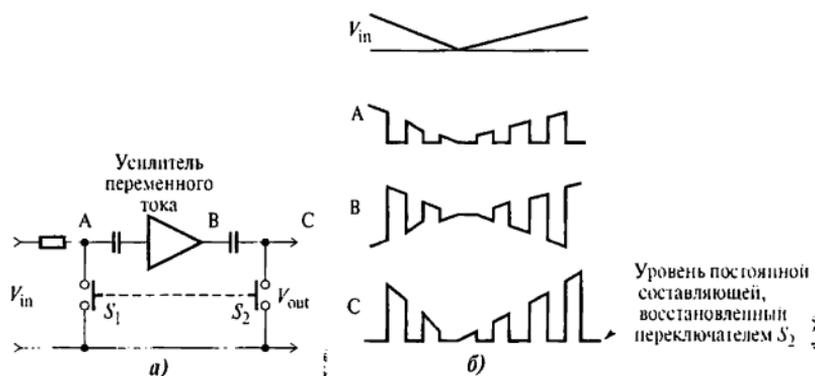


Рис. 2.34. Усилитель с прерывателем:  
а — принципиальная схема; б — форма сигналов

жения на входы преобразователя. Применение усилителя с развязкой в данном случае предотвратит возможное разрушение схемы.

Бытовые усилители с развязкой изготавливаются уже в виде помещенных в корпус приборов, которые выдерживают напряжение свыше 1 кВ. Как правило, для пользователя оказывается более выгодным купить готовый усилитель, чем разрабатывать собственную конструкцию.

## 2.19. ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ И СХЕМЫ НА ИХ ОСНОВЕ

Операционные усилители и области их применения более подробно будут рассмотрены в следующих разделах. Однако, прежде чем рассматривать эту тему подробно, необходимо обозначить пределы и ограничения, связанные с разработкой таких схем.

Наиболее распространенным является операционный усилитель серии 741 (на Рис. 2.35 показано расположение его выводов на корпусе микросхемы).

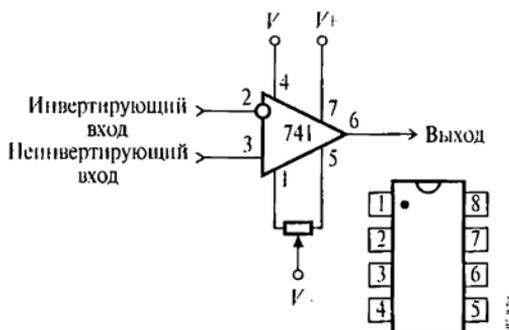


Рис. 2.35. Операционный усилитель серии 741

У этого усилителя два входа: неинвертирующий (иногда обозначаемый  $+$ ) — при поступлении сигнала на этот вход фаза выходного сигнала совпадает с фазой входного; инвертирующий (обозначаемый знаком  $-$ ) — при поступлении сигнала на этот вход выходной сигнал находится в противофазе с входным.

Важным параметром усилителя является коэффициент усиления при разомкнутой петле обратной связи; для усилителя серии 741 он равен 200000. Другой характерный параметр — уже описанный прежде КОСС. Его значение, указанное в спецификации усилителя, составляет 90 дБ.

Чтобы описать другие характеристики, следует разобраться, как работает усилитель.

Если на его обоих входах нулевое напряжение, следует ожидать, что на выходе тоже будет 0 В. Но из-за того что напряжения база—эмиттер  $V_{be}$  входных транзисторов усилителя хотя бы немного различаются, а коэффициент усиления очень велик, выходное напряжение, несомненно, будет отличаться от нуля. Чтобы на выходе установилось напряжение 0 В, на один из входов следует подать напряжение, отличное от нуля. Это напряжение называется *напряжением компенсации смещения нуля на выходе*, обозначается  $V_{10}$  и обычно составляет около 10 мВ, хотя у высококачественных усилителей серии 741 напряжение смещения нуля может быть менее 1 мВ.

Само по себе напряжение смещения нуля не имеет особого значения, поскольку может быть скомпенсировано. Более важным показателем является изменение напряжения  $V_{10}$  при изменении температуры. Этот параметр обозначается как  $\alpha V_{10}$  и обычно составляет около 5 мкВ/°С.

В обоих входных транзисторах протекают базовые токи, обозначаемые  $I_b$ . Обычно они очень малы, около 0.5 мкА для усилителей серии 741. Для того чтобы свести к минимуму влияние этих токов, нужно уравнивать сопротивления обеих входных линий. Тогда токи базы будут создавать одинаковые смещения, которые не повлияют на работу усилителя.

Несмотря на то что характеристики хорошо согласованы друг с другом, базовые токи, тем не менее, не могут быть равными. Различие базовых токов обозначается  $I_{10}$ , его типовое значение около 0.2 мкА. В отличие от напряжения  $V_{10}$  ток  $I_{10}$  практически не изменяется с температурой.

Усилители постоянного тока предназначены для работы на низких частотах, и чтобы свести к минимуму проблемы, связанные с устойчивостью работы при использовании обратной связи, характеристика усилителя серии 741 в области высоких частот осознанно ограничивается при помощи специально размещенного на кристалле конденсатора емкостью 30 пФ. Коэффициент усиления такого усилителя падает до 60 дБ на частоте 1 кГц, 40 дБ

на частоте 10 кГц и 0 дБ на частоте 1 МГц. Частота, на которой коэффициент усиления падает до единицы, называется *шириной полосы единичного коэффициента усиления*.

Существуют также усилители постоянного тока без внутренней компенсации, например операционный усилитель серии 531. Его ширина полосы единичного коэффициента усиления — свыше 10 МГц, а на частотах до 500 кГц коэффициент усиления составляет 40 дБ. При использовании некомпенсированных усилителей нужно помнить, что могут возникнуть проблемы, связанные с неустойчивостью.

Второй способ описания свойств усилителя — определение скорости нарастания выходного напряжения. С помощью этого параметра можно оценить характеристику усилителя при ступенчатом изменении входного сигнала. Он определяется как скорость изменения выходного сигнала и измеряется в вольтах на единицу времени. Для усилителя серии 741 скорость нарастания выходного напряжения составляет 0.5 В/мкс.

### 2.19.1. Инвертирующий усилитель (инвертор)

На Рис. 2.36 представлена схема инвертирующего усилителя.

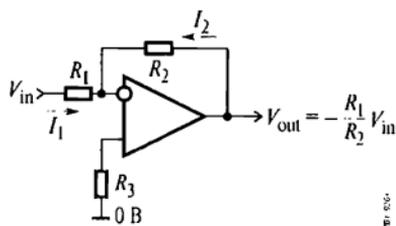


Рис. 2.36. Инвертирующий усилитель

Так как коэффициент усиления такого усилителя очень высок, можно предположить, что напряжение в точке соединения резисторов  $R_1$  и  $R_2$  будет изменяться в пределах нескольких милливольт от 0 В. В таком случае получим:

$$I_1 = \frac{V_{in}}{R_1},$$

$$I_2 = \frac{-V_{out}}{R_2}.$$

Если предположить, что ток  $I_b$  пренебрежимо мал (как обычно и бывает), то:

$$I_1 = I_2,$$

$$\frac{V_{in}}{R_1} = -\frac{V_{out}}{R_2},$$

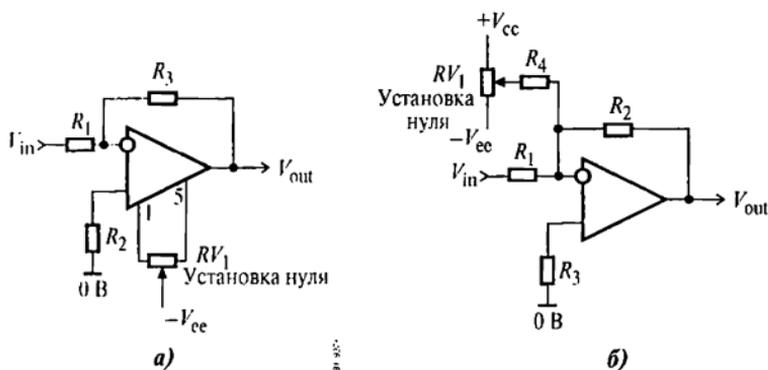
откуда

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in}.$$

Как было сказано прежде, чтобы смещение нуля на выходе было минимальным, входные резисторы должны быть выбраны так, чтобы:

$$R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Нулевые значения для напряжения  $V_{I0}$  и тока  $I_{I0}$  могут быть установлены одним из двух способов, показанных **Рис. 2.37**.



**Рис. 2.37.** Установка нулевых значений напряжения  $V_{I0}$  и тока  $I_{I0}$  для усилителей постоянного тока:  
 а — с помощью выводов установки нуля;  
 б — с помощью дополнительного резистора

В схеме, представленной на **Рис. 2.37а**, используется возможность установки нуля, предусмотренная в микросхеме усилителя серии 741 (выводы 1 и 5). Другой способ (см. **Рис. 2.37б**) основан на установке дополнительного резистора, с помощью которого можно увеличивать или уменьшать ток  $I_I$ .

### 2.19.2. Сумматор

Схема, представленная на **Рис. 2.38**, используется для сложения нескольких напряжений.

Аналогично анализу, проведенному выше:

$$V_{out} = -\left(\frac{R_4}{R_1} V_1 + \frac{R_4}{R_2} V_2 + \frac{R_4}{R_3} V_3\right),$$

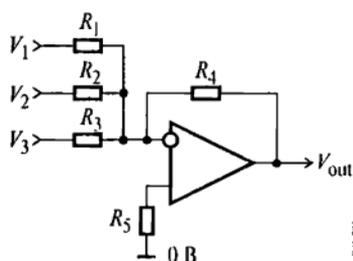


Рис. 2.38. Сумматор на основе операционного усилителя

а сопротивление резистора  $R_5$  равно сопротивлению параллельно включенных резисторов  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  и  $R_4$ .

Схемы сумматоров применяются в аналоговых вычислительных устройствах и в качестве основных элементов для смесителей (преобразователей) звуковой частоты.

### 2.19.3. Повторитель напряжения

Схема, показанная на Рис. 2.39, охвачена 100-процентной обратной связью.

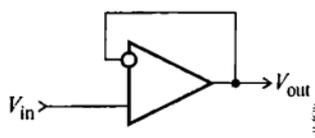


Рис. 2.39. Повторитель напряжения на основе операционного усилителя

Так как напряжения на входах могут различаться всего лишь на милливольт или около того, то:

$$V_{\text{out}} = V_{\text{in}}.$$

Входное сопротивление такой схемы очень высоко (обычно несколько мегом), а выходное сопротивление очень низкое (типичное значение составляет всего лишь несколько ом).

Эта схема используется как очень удобный буферный каскад и может рассматриваться как исключительно эффективный эмиттерный повторитель.

### 2.19.4. Неинвертирующий усилитель

На Рис. 2.40 показаны различные схемы включения неинвертирующих операционных усилителей.

Анализируя схему, изображенную на Рис. 2.40а, можно записать напряжение на инвертирующем входе как:

$$V_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{\text{out}}.$$

По тем же причинам, что и ранее, запишем:

$$V_1 = V_{\text{in}},$$

или

$$V_{\text{in}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{\text{out}},$$

откуда

$$V_{\text{out}} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} V_{\text{in}},$$

$$V_{\text{out}} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_{\text{in}}.$$

Как правило, на основе схемы, изображенной на Рис. 2.40а, строятся усилители звуковой частоты. В схеме, изображенной на Рис. 2.40б, с помощью конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$  обеспечивается развязка по переменному току, а резисторы  $R_1$  и  $R_2$  устанавливают уровень постоянной составляющей на неинвертирующем входе и на выходе. Резисторы  $R_3$  и  $R_4$  определяют коэффициент усиления по переменному току. Входное сопротивление схемы, определяется сопротивлением параллельно включенных резисторов  $R_1$  и  $R_2$ .

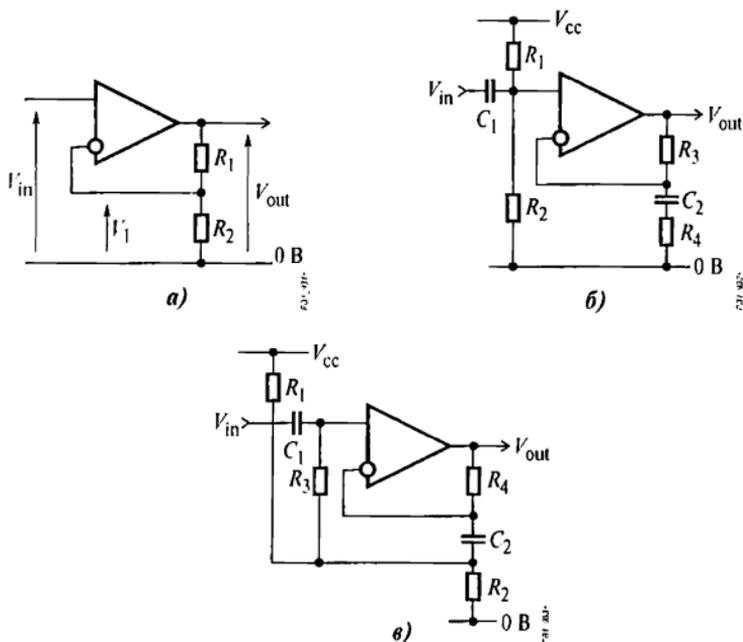


Рис. 2.40. Неинвертирующие усилители: а — основная схема; б — усилитель переменного тока; в — усилитель переменного тока с компенсационной обратной связью

Усилитель с компенсационной обратной связью, изображенный на Рис. 2.40в, обладает очень высоким входным сопротивлением. Уровень постоянной составляющей устанавливается резисторами  $R_1$  и  $R_2$ , как в ранее рассмотренных схемах.

### 2.19.5. Дифференциальный усилитель

На практике часто возникает необходимость измерения разности двух входных напряжений. В качестве примера на Рис. 2.41 представлен мостовой тензодатчик.

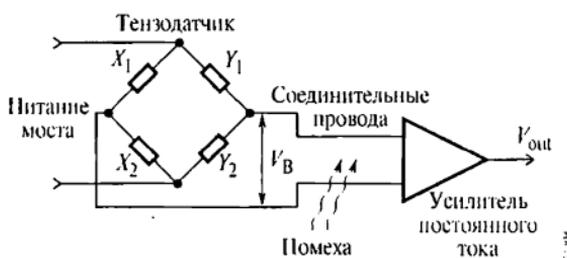


Рис. 2.41. Внесение синфазной помехи

Элементы  $X_1$  и  $X_2$  — это два контролируемых тензорезистора, включенных таким образом, что при механическом воздействии сопротивление  $X_1$  возрастает, а сопротивление  $X_2$  уменьшается. Элементы  $Y_1$  и  $Y_2$  — это идентичные тензорезисторы, не подвергающиеся механическому воздействию, назначение которых — температурная стабилизация схемы.

Напряжение  $V_B$  — это снимаемое с моста напряжение, величина которого на практике очень мала. При поступлении этого напряжения на усилитель напряжение на каждом его входе определяется как:

$$V_{in} = \frac{\pm V_B}{2} + V_{CM},$$

где  $V_{CM}$  — напряжение синфазной помехи, введенной в линию от внешнего источника помех. Если соединительные провода от моста представляют собой экранированную витую пару, то взаимное синфазное напряжение будет одинаковым на обоих входах, что позволяет использовать дифференциальный усилитель.

Схема дифференциального усилителя представлена на Рис. 2.42.

Для правильной работы схемы очень важно, чтобы выполнялось соотношение между резисторами  $R_1 = R_3$  и  $R_2 = R_4$ . В этом случае:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1).$$

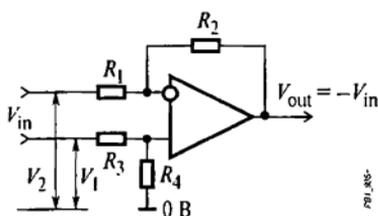


Рис. 2.42. Дифференциальный усилитель на основе операционного усилителя

Для достижения максимального значения КОСС следует использовать прецизионные резисторы.

Дифференциальные усилители получили широкое распространение в приборах, где необходимо усиливать сигналы малого напряжения при наличии синфазных помех, например в термометрах, тензопреобразователях, медицинских электронных приборах.

### 2.19.6. Интегратор

Как известно, интегрирование — математическая операция, в графическом исполнении позволяющая определить площадь под (отрезком) кривой. Интегрирование позволяет установить связь между взаимозависимыми функциями, которые имеют общую переменную. Такой переменной может быть время. Например, скорость — это интеграл ускорения, а расстояние — интеграл скорости. Интегрирование применяется во многих системах. На Рис. 2.43а показана теоретическая модель схемы интегрирования.

Проводя анализ, подобный тому, что проводился для инвертирующей схемы, т.е. допуская, что токи через резистор  $R$  и конденсатор  $C$  совпадают, запишем:

$$I_1 = \frac{V_{in}}{R},$$

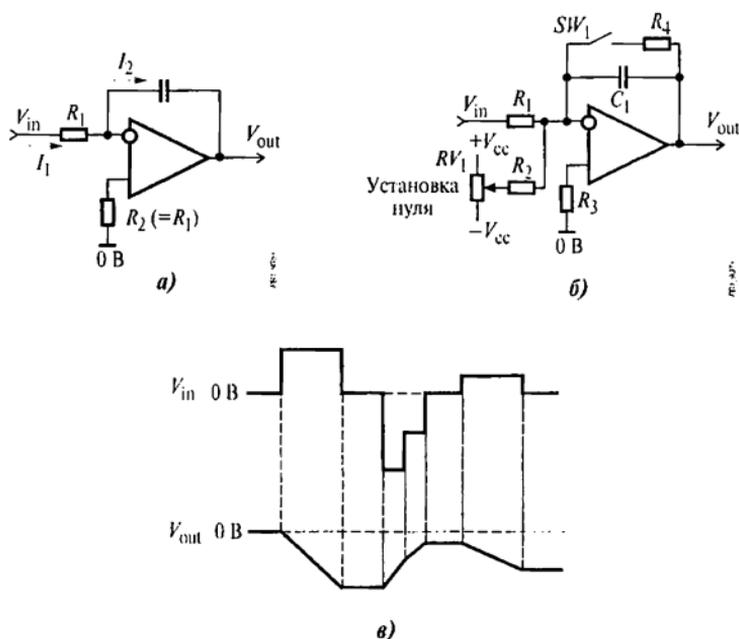
$$I_2 = C \frac{dV_{out}}{dt}.$$

Так как эти токи должны быть равны, то:

$$\frac{V_{in}}{R} = -C \frac{dV_{out}}{dt},$$

откуда:

$$V_{out} = -\frac{1}{RC} \int V_{in} dt.$$



**Рис. 2.43.** Интегратор на основе операционного усилителя: а — упрощенная схема; б — реальная схема — переключатель  $SW_1$  осуществляет сброс результатов (установку на ноль) и «включает» процесс интегрирования; в — временные диаграммы входного и выходного сигнала

Реальная схема интегратора показана на **Рис. 2.43б**. С помощью потенциометра  $RV_1$  подстраивается входное смещение тока, которое может вызвать медленный дрейф выхода усилителя в состояние насыщения. Для установки схемы в начальное состояние разряжают конденсатор  $C_1$  через резистор  $R_4$  замыканием переключателя.

Временные диаграммы реальной схемы показаны на **Рис. 2.43в**. При ступенчатом изменении входного напряжения  $V_{in}$  (в вольтах) происходит линейное изменение выходного напряжения со скоростью  $V/RC$  [В/с].

### 2.19.7. Дифференциатор

Дифференцирование позволяет получить мгновенное значение параметров, изменяющихся во времени. Например, производная по времени от расстояния — скорость. В свою очередь, производная по времени от скорости — ускорение. Упрощенная схема дифференциатора представлена на **Рис. 2.44а**.

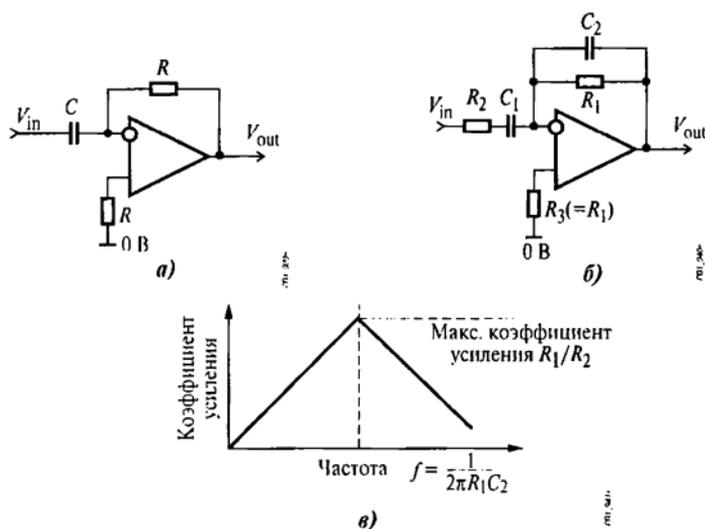


Рис. 2.44. Дифференциатор на операционном усилителе:  
 а — упрощенная схема; б — реальная схема;  
 в — частотная характеристика

В результате анализа, сходного с тем, что имел место в предыдущем разделе, получим:

$$V_{\text{out}} = -RC \frac{dV_{\text{in}}}{dt}.$$

На практике коэффициент усиления хорошего дифференциатора возрастает с увеличением частоты, реализуя очень высокие значения на высоких частотах. Это нежелательно, так как на высоких частотах в такой схеме чрезвычайно высока вероятность возникновения шумов. В схеме, изображенной на Рис. 2.44б, вводится ограничение усиления в области высоких частот. На низких частотах характеристика дифференциатора, образованного  $RC$ -цепочкой ( $R_1/C_1$ ), идентична характеристике дифференциатора, показанного на Рис. 2.44а. Но в области высоких частот коэффициент усиления начинает снижаться благодаря введению в схему резистора  $R_2$  и конденсатора  $C_2$ . Номиналы этих элементов выбраны таким образом, что выполняется равенство  $R_1C_1 = R_2C_2$ . Частота, на которой коэффициент усиления достигает максимального значения и начинает уменьшаться, определяется по формуле:

$$f = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}.$$

Как видно на частотной характеристике (Рис. 2.44в), максимальный коэффициент усиления равен  $R_1/R_2$ .

### 2.19.8. Фильтры

Фильтры используют для получения схем с заданными частотными характеристиками. Существует четыре основных типа фильтров.

Фильтр нижних частот препятствует пропусканню сигналов, частота которых выше некоторого заданного значения. Типичная область применения фильтров низких частот — устранение высокочастотного шума в звуковых схемах, в этом случае такие фильтры называют шумопоглощающими.

Фильтры верхних частот пропускают только те сигналы, частота которых выше некоторого заданного значения. Такие фильтры используются в звуковых схемах для устранения низкочастотного шума, вызываемого, к примеру, работой лентопротяжного механизма магнитофона.

Полосовые фильтры пропускают только частоты определенного диапазона, а режекторные фильтры (фильтр-пробка) препятствуют прохождению сигналов из определенного диапазона частот. Например, режекторный фильтр частотой 45...55 Гц широко используется в контрольно-измерительной аппаратуре для блокировки сетевых шумов частотой около 50 Гц.

На **Рис. 2.45** показаны схемы фильтров на операционных усилителях и условия, соответствующие их назначению.

Стоит заметить, что частота среза — это точка на АЧХ, в которой амплитуда сигнала уменьшается на 3 дБ, а вовсе не значенные частоты, выше (или ниже) которой задерживаются все частоты. На **Рис. 2.45а** и **в** показаны однокаскадные фильтры со спадом 20 дБ/декаду, а на **Рис. 2.45б** и **г** показаны двухкаскадные фильтры со спадом 40 дБ/декаду. В последних двух фильтрах затухание может регулироваться путем изменения номиналов компонентов, как показано на рисунке.

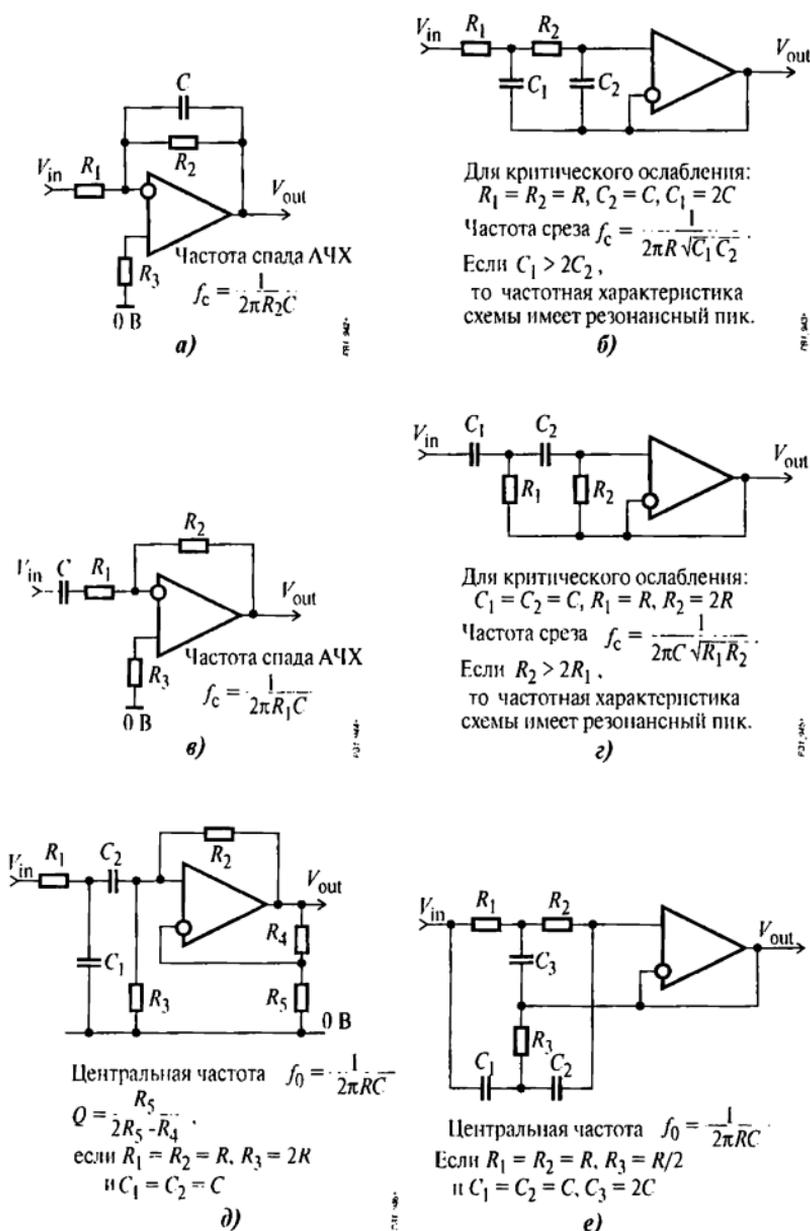
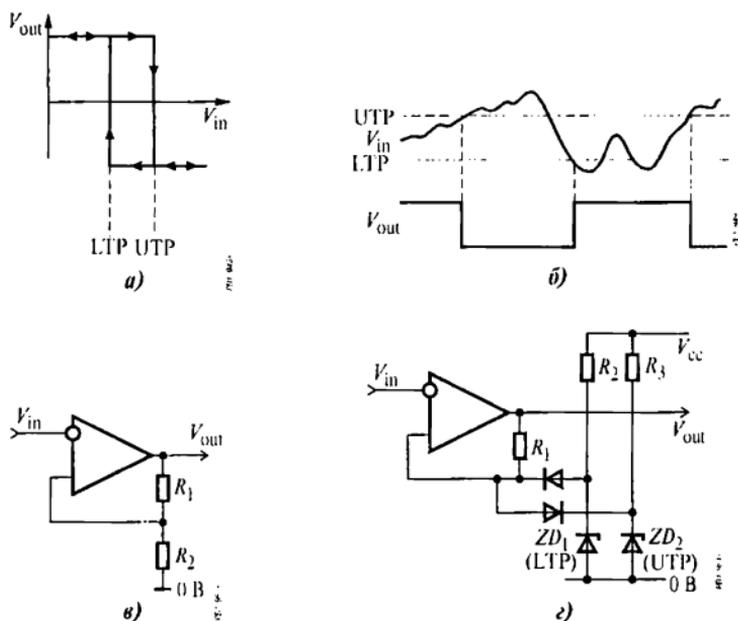


Рис. 2.45. Фильтры на основе операционных усилителей:  
 а — простой фильтр низких частот;  
 б — классическая схема фильтра низких частот;  
 в — простой фильтр высоких частот;  
 г — классическая схема фильтра высоких частот;  
 д — полосовой фильтр;  
 е — режекторный фильтр

## 2.19.9. Триггер Шмитта

Триггер Шмитта широко применяется для преобразования медленно изменяющихся во времени сигналов в сигналы четкой формы с резкими фронтами. Для этих триггеров характерен гистерезис, как видно из **Рис. 2.46**.



**Рис. 2.46.** Триггеры Шмитта на основе операционных усилителей:  
*а* — выходная характеристика схемы (гистерезис);  
*б* — формирование гистерезиса;  
*в* — основная схема;  
*г* — триггер Шмитта с точками переключения, устанавливаемыми стабилитронами

Существуют верхний (УТР) и нижний (ЛТР) пороги срабатывания. Гистерезис представляет собой форму обратной петли характеристики и является полезным эффектом, поскольку уменьшает флуктуации сигнала на выходе, если на медленно изменяющийся входной сигнал накладывается шум.

Триггер Шмитта на основе операционного усилителя показан на **Рис. 2.46в**. Выход триггера находится в состоянии насыщения либо при положительной, либо при отрицательной полярности. Предположим, что уровень входного сигнала превышает верхний порог срабатывания; на выходе устанавливается напряжение  $-V_{cc}$ , а на инвертирующем входе:

$$-V_{cc} \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

Это и есть нижний порог срабатывания. До тех пор пока напряжение  $V_{in}$  будет оставаться выше нижнего порога срабатывания, уровень на выходе не изменится. Если напряжение  $V_{in}$  станет меньше нижнего порога срабатывания, напряжение на выходе возрастет, вместе с ним будет возрастать и напряжение на неинвертирующем входе. В такой схеме имеет место положительная обратная связь; при резком возрастании выходного напряжения до значения  $+V_{cc}$  напряжение на неинвертирующем входе возрастет до значения:

$$+V_{cc} \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

Это напряжение верхнего порога срабатывания: и пока напряжение  $V_{in}$  будет превышать этот уровень, на выходе будет напряжение положительной полярности.

Уровни верхнего и нижнего порогов срабатывания схемы, изображенной на Рис. 2.46в, симметричны относительно 0 В. Существует множество разновидностей этой схемы, у некоторых из них пороги срабатывания несимметричны. Например, верхний и нижний пороги срабатывания схемы, изображенной на Рис. 2.46г, имеют одинаковую полярность, и эта схема работает от одного источника питания.

Большинство серий логических микросхем включают в себя микросхемы триггеров Шмитта: например, 7414 в семействе ТТЛ или 4093 в КМОП (четыре логических элемента И-НЕ с триггерами Шмитта на входах). Но у таких готовых триггеров Шмитта фиксированные пороги срабатывания и ограниченный диапазон входных напряжений. Триггеры Шмитта на операционных усилителях позволяют разработчику конструировать схемы, для которых не подходят триггеры Шмитта на стандартных микросхемах.

### 2.19.10. Повторитель напряжения/инвертор

У схемы, изображенной на Рис. 2.47, единичный коэффициент усиления и возможность переключения полярности выходного сигнала.

При разомкнутом переключателе этот усилитель представляет собой повторитель напряжения,  $V_{out} = V_{in}$ . При замкнутом переключателе усилитель работает как простая инвертирующая схема с единичным коэффициентом усиления,  $V_{out} = -V_{in}$ . Положение переключателя определяет «знак» коэффициента усиления.

Для упрощения схемы на рисунке показан обычный механический переключатель, на практике же используется КМОП-переключатель, например, такой, как 4016, который переключает

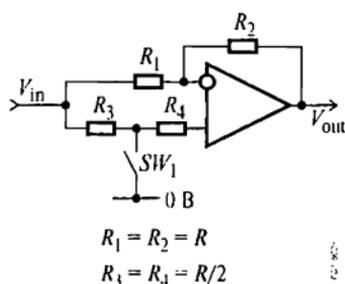


Рис. 2.47. Усилитель с положительным/отрицательным коэффициентом усиления

схему с высоким быстродействием при поступлении сигналов определенных логических уровней. Такой усилитель широко используется в контрольно-измерительной аппаратуре.

### 2.19.11. Преобразование ток/напряжение

Часто возникает необходимость преобразования токовых сигналов в напряжение и наоборот. Например, сила тока стандартного аналогового измерительного сигнала может составлять от 4 до 20 мА, и часто возникает необходимость преобразования этого сигнала в напряжение для отображения результатов на дисплее. Аналогично может потребоваться преобразование напряжения в ток для использования такого сигнала, например, в системах передачи сигналов.

При необходимости передачи аналоговой информации на значительные расстояния токовые сигналы в целом предпочтительнее, чем напряжение, поскольку они менее подвержены влиянию помех и сопротивления линии. Схемы для преобразования тока в напряжение и наоборот для аналоговых сигналов показаны на Рис. 2.48.

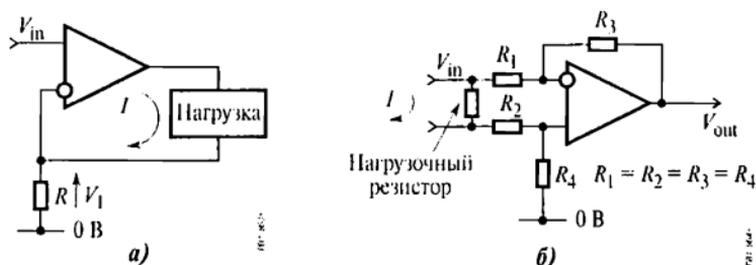


Рис. 2.48. Преобразование

- а — напряжения в ток;  
 б — тока в напряжение

На Рис. 2.48а показана схема преобразования напряжения в ток с помощью повторителя напряжения. Как обычно,  $V_1 = V_{in}$ , но  $V_1 = IR$ , где  $I$  — ток, протекающий в нагрузке. Поэтому ток  $I$  задается напряжением  $V_{in}$  и совершенно не зависит от сопротивления нагрузки (при условии, что выход усилителя не находится в насыщении).

Чтобы преобразовать токовый сигнал в напряжение, применяется схема, изображенная на Рис. 2.48б. Ток протекает через нагрузочный резистор, подключенный параллельно входу стандартного дифференциального усилителя. Напряжение на резисторе составляет просто  $IR$  [В]; выходное напряжение определяется коэффициентом усиления дифференциального усилителя, как описывалось ранее.

Если обе схемы используются совместно, сопротивления резисторов на Рис. 2.48а и Рис. 2.48б равны, а дифференциальный усилитель обеспечивает единичный коэффициент усиления, то конечная схема будет представлять собой звено линии передачи данных, которое можно использовать для передачи аналоговых величин через участки с высоким уровнем электрических помех.

### 2.19.12. Схема с линейно изменяющимся выходным сигналом

На Рис. 2.49 показана схема, у которой изменение выходного сигнала происходит с фиксированной скоростью.

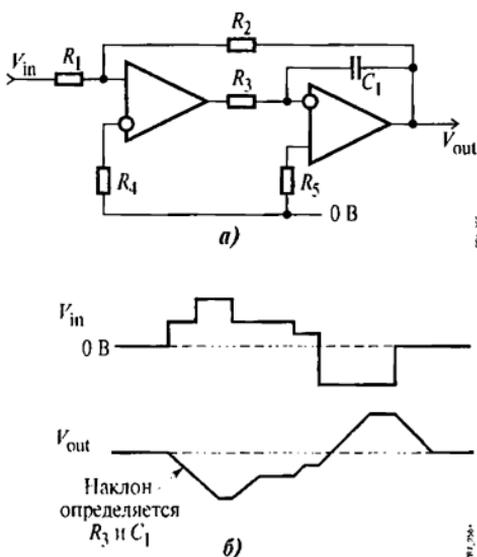


Рис. 2.49. Схема с линейно изменяющимся выходным сигналом:

а — схема;

б — временные диаграммы входного и выходного сигнала

Выходное напряжение повторяет входное (хотя и в инвертированной форме), но скорость изменения является ограниченной. Такие схемы используются для ограничения ускорения, скажем, электрических двигателей, чтобы уменьшить их износ.

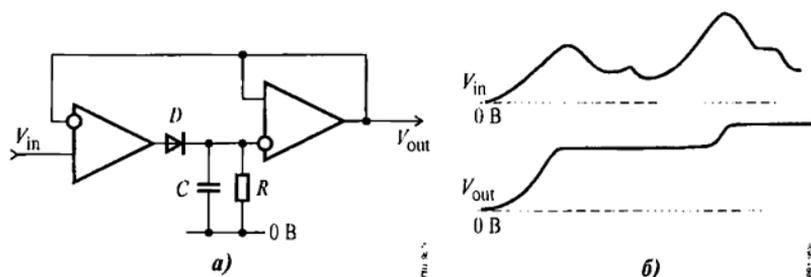
Усилитель 1 работает как компаратор, сравнивая напряжения  $V_{out}$  и  $V_{in}$ . Поэтому если напряжение  $V_{out}$  не равно напряжению  $V_{in}$ , выход усилителя находится в насыщении либо при положительной, либо при отрицательной полярности.

Усилитель 2 — это интегратор, который интегрирует выходной сигнал усилителя 1. Если выходной сигнал усилителя 1 положительный, то напряжение  $V_{out}$  линейно убывает. Скорость линейного изменения определяется величинами резистора  $R_3$  и конденсатора  $C_1$ . Аналогично: если выходной сигнал усилителя 1 отрицательный, напряжение  $V_{out}$  линейно возрастает с фиксированной скоростью.

Если напряжение  $V_{in}$  изменяется, напряжение  $V_{out}$  будет линейно изменяться в соответствующем направлении с фиксированной скоростью до тех пор, пока снова не будет выполняться равенство  $V_{out} = V_{in}$ . Работу схемы иллюстрирует **Рис. 2.496**. При равенстве входного и выходного сигналов на выходе усилителя 1 должен быть ноль, но на практике наблюдаются случайные флуктуации значений выходного сигнала усилителя 1. Но это никак не влияет на выходной сигнал схемы.

### 2.19.13. Схема выделения максимальных значений

Схема выделения пиков поддерживает максимальное значение сигнала. Если напряжение  $V_{in}$  превышает напряжение  $V_{out}$ , выходной сигнал усилителя 1, который работает как компаратор, становится положительным и конденсатор  $C$  заряжается до тех пор, пока не будет выполняться условие  $V_{out} = V_{in}$ . Когда напряжение  $V_{in}$  снова начинает уменьшаться, на конденсаторе сохраняется прежнее значение напряжения, а выходное напряжение усилителя 1 становится отрицательным, когда значение напряжения  $V_{in}$  становится меньше напряжения  $V_{out}$ . В схему, изображенную на



**Рис. 2.50.** Схема выделения максимальных значений:

*а* — схема;

*б* — временные диаграммы входного и выходного сигнала

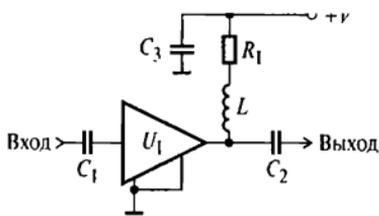
**Рис. 2.50**, введен обратносмещенный диод  $D$ , таким образом, не остается пути для разрядки конденсатора  $C$  (за исключением пути через вход усилителя 2, который обычно выполняется на полевых транзисторах и имеет высокое входное сопротивление).

Поэтому на выходе будет поддерживаться наивысшее значение напряжения  $V_{in}$ . Если включить диод в обратной полярности, на выходе будет поддерживаться наименьшее значение напряжения  $V_{in}$ . Если заменить диод переключателем (с физическим контактом или на передаточном логическом КМОП-вентиле), получится схема выборки и хранения. В такой схеме значение выходного напряжения  $V_{out}$  будет поддерживаться равным тому значению напряжения  $V_{in}$ , которое было в момент последнего замыкания переключателя. Схемы выборки и хранения используются для фиксации значения входного сигнала в цифро-аналоговых преобразователях.

## 2.20. МОНОЛИТНЫЕ СВЧ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ

Монолитные СВЧ интегральные схемы (ИС) могут работать на частотах, начиная от постоянного тока и заканчивая СВЧ-диапазоном. Некоторые дешевые модели таких ИС могут работать на частотах 1...2 ГГц, тогда как другие ИС, тоже по вполне умеренной цене, работают на частотах до 8 ГГц. Более дорогие модели работают на частотах вплоть до 33 ГГц. Для таких усилителей характерно равенство входного и выходного сопротивлений — 50 Ом (для некоторых моделей 75 Ом), поэтому они не требуют специального согласования, и, следовательно, устраняется основная конструктивная преграда для широкополосных схем.

Обычно у монолитной СВЧ-микросхемы несколько выводов. У некоторых из них может отсутствовать вывод  $+V$ , и для передачи потенциалов постоянного тока используется выходной вывод (**Рис. 2.51**).



**Рис. 2.51.** Монолитные СВЧ ИС

## 2.21. ШУМОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ УСИЛИТЕЛЕЙ

### 2.21.1. Отношение сигнал/шум

Качество усилителей оценивается по отношению сигнал-шум, обозначаемого  $S/N$ ,  $SNR$  и иногда,  $S_n$ . Перед разработчиком стоит цель увеличения, насколько возможно, отношения сигнал-шум. В конечном счете минимальный уровень сигнала (предел чувствительности) на выходе усилителя или радиоприемника — это такой уровень, который оказывается чуть выше минимального уровня шума. Поэтому чем ниже минимальный уровень шума в системе, тем меньше минимальный допустимый уровень сигнала.

### 2.21.2. Шум-фактор, коэффициент шума и шумовая температура

Шумовая характеристика приемника или усилителя может быть задана тремя различными, но близкими способами: при помощи шум-фактора ( $F_N$ ), коэффициента шума ( $NF$ ) и эквивалентной шумовой температуры ( $T_E$ ); эти характеристики определяются в виде простого отношения, отношения, выраженного в децибелах, или абсолютного значения температуры (в градусах Кельвина) соответственно.

*Шум-фактор ( $F_N$ )*. Для таких компонентов, как резисторы, шум-фактор представляет собой отношение шума, который дает реальный резистор к простому тепловому шуму идеального резистора. Шум-фактор радиоприемника (или любой другой системы) — это отношение выходной мощности шума ( $P_{NO}$ ) к входной мощности шума ( $P_{NI}$ ):

$$F_N = \left[ \frac{P_{NO}}{P_{NI}} \right]_{T=290 \text{ К}}$$

Для облегчения сравнения шум-фактор обычно измеряется при температуре  $T_0 = 290 \text{ К}$ , что является стандартным значением комнатной температуры (хотя в некоторых странах измерения проводят при 299 или 300 К, отличия незначительны).

Допустимо определять шум-фактор на основе входного и выходного отношений сигнал-шум:

$$F_N = \frac{S_{NI}}{S_{NO}},$$

где  $S_{NI}$  — отношение сигнал-шум на входе, а  $S_{NO}$  — отношение сигнал-шум на выходе.

*Коэффициент шума ( $NF$ )*. Часто коэффициент шума использу-

ется для определения качества приемника, т.е. насколько он отличается от идеального. Следовательно, коэффициент шума — это *критерий качества* (доброкачественность). Коэффициент шума представляет собой шум-фактор, выраженный в децибелах:

$$NF = 10 \lg F_N,$$

где  $NF$  — коэффициент шума в децибелах,  $F_N$  — шум-фактор.

*Шумовая температура* ( $T_E$ ). С помощью шумовой температуры можно охарактеризовать шум на основе эквивалентной температуры. То есть это уровень шума, который выдавал бы резистор при этой температуре (выраженной в градусах Кельвина). Решение уравнений шума показывает, что мощность шума прямо пропорциональна температуре в градусах Кельвина, а также, что мощность шума падает до нуля при абсолютном нуле температуры.

Стоит заметить, что эквивалентная шумовая температура  $T_E$  — это не физическая температура усилителя, а теоретическое построение, представляющее собой *эквивалентную* температуру, при которой в резисторе будет выделяться данное значение мощности шума. Шумовая температура связана с шум-фактором следующим образом:

$$T_E = (F_N - 1) T_0,$$

а с коэффициентом шума:

$$T_E = 290 [10^{(NF/10)} - 1].$$

Часто для усилителей и приемников вместе с коэффициентом шума или вместо него указывается шумовая температура.

### 2.21.3. Шум в каскадных усилителях

Шумовой сигнал воспринимается любым усилителем, следующим в схеме за источником шума, как полноценный входной сигнал. Каждый каскад в цепочке усиливает и сигнал, и шум от предыдущих каскадов, а также вносит свой собственный дополнительный шум. Таким образом, на конечный каскад многокаскадного усилителя поступает входной сигнал, состоящий из исходного сигнала и шума, последовательно усиленных всеми предыдущими каскадами, а также шума, внесенного самими предыдущими каскадами. Полный шум-фактор каскадного усилителя можно вычислить из уравнения Фрииса для шума:

$$F_N = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots + \frac{F_n - 1}{G_1 G_2 \dots G_{n-1}},$$

где  $F_N$  — общий шум-фактор усилителя из  $n$  каскадов,  $F_1$  — шум-фактор каскада 1,  $F_2$  — шум-фактор каскада 2,  $F_n$  — шум-фактор каскада  $n$ ,  $G_1$  — коэффициент усиления каскада 1,  $G_2$  — коэффициент усиления каскада 2 и  $G_{n-1}$  — коэффициент усиления каскада ( $n - 1$ ).

Как понятно из уравнения Фрисса, в значении шум-фактора всей цепочки каскадов преобладают значения шум-факторов первого или первых двух каскадов.

Смысл отношения сигнал-шум ( $S/N$ ) иногда интерпретируется различными способами, и в каждом из этих способов есть попытка приблизить эту характеристику к реальности. Довольно часто можно встретить отношение «сигнал-плюс-шум к шуму», т.е.  $(S+N)/N$ . В обоих случаях по мере возрастания отношений (т.е. с ростом числителя) величины  $S/N$  и  $(S+N)/N$  сближаются друг с другом (при значениях близких к 10 дБ разность между ними близка к 0.5 дБ).

Еще один вариант — это SINAD (отношение суммы мощностей сигнала, шума и искажений к мощности шума). При таком подходе учитывается большинство факторов, ухудшающих прием сигнала.

## 2.22. ГЕНЕРАТОРЫ

Генератор — это электронная схема, преобразующая энергию источника питания постоянного тока в энергию переменного сигнала. В основном генераторы подразделяются на три категории: генераторы синусоидальных сигналов, генераторы прямоугольных импульсов и генераторы сигналов другой формы.

Для поддержания колебаний должны выполняться следующие условия: коэффициент усиления при замкнутой петле ОС должен быть равен (или превышать) единице, сдвиг фазы сигнала в петле обратной связи должен равняться нулю (или быть кратным  $360^\circ$ ).

В генераторах синусоидальных сигналов используют резонансные свойства индуктивно-емкостных цепочек или пьезоэлектрические свойства кристалла кварца, а искусственный сдвиг фазы сигнала получают, используя  $RC$ -цепочки. Эти методы позволяют создавать генераторы сигналов синусоидальной формы с частотой от 0.1 Гц до свыше 400 МГц.

## 2.23. ИНДУКТИВНО-ЕМКОСТНЫЕ КОНТУРЫ

Из теории колебательных контуров известно о резонансных свойствах индуктивно-емкостной цепочки. Существуют две разновидности таких цепочек, показанные на Рис. 2.52 и Рис. 2.53.

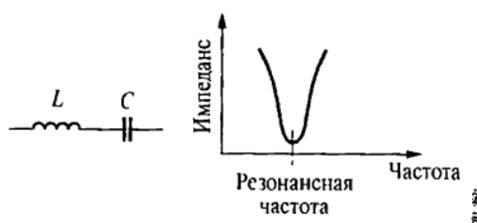


Рис. 2.52. Последовательная индуктивно-емкостная цепочка

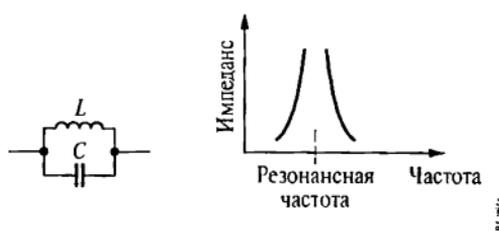


Рис. 2.53. Параллельная индуктивно-емкостная цепочка

При последовательном включении импеданс контура будет минимален при резонансе, так как индуктивное и емкостное сопротивления на резонансной частоте равны, но противоположны по фазе и в итоге вычитаются. Следовательно, при резонансе выполняется следующее условие:

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC},$$

откуда

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Последовательный резонансный контур иногда называют акцепторной схемой.

В генераторах чаще используется параллельная индуктивно-емкостная цепочка. Сопротивление такой цепочки при резонансе максимально, а резонансная частота также определяется формулой:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

На Рис. 2.54 показана простейшая схема LC-генератора. Резонансный контур подключен к коллектору, а обратная связь на базу транзистора обеспечивается посредством трансформатора  $T$  и конденсатора  $C_2$ . Рабочая точка транзистора  $TR_1$  задается резисторами  $R_{b1}$ ,  $R_{b2}$  и  $R_e$ .

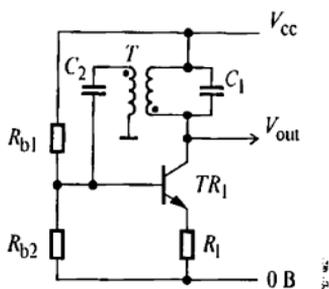


Рис. 2.54. Простой индуктивно-емкостный генератор

После того как начался колебательный процесс, амплитуда сигнала возрастает до тех пор, пока транзистор  $TR_1$  либо закроется на положительном полупериоде, либо войдет в насыщение на отрицательном полупериоде. При выполнении любого из этих двух условий коэффициент петлевого усиления (по всему периоду) будет равен единице. Следовательно, при максимальных значениях выходного сигнала возможны незначительные искажения. Обычно они не представляют проблемы.

Производство трансформаторов требует достаточно больших денежных затрат, к тому же довольно сложно обеспечить необходимую степень точности намотки трансформатора, требуемой для генераторов. Поэтому на практике, как правило, используются простые катушки индуктивности, и самыми распространенными генераторными схемами являются генераторы Колпитца и Хартли, описанные в следующих разделах.

## 2.24. ГЕНЕРАТОР КОЛПИТЦА

Основным компонентом генератора Колпитца (называемого также трехточечным генератором с емкостной связью) является резонансный контур, состоящий из катушки индуктивности и двух последовательно соединенных конденсаторов. Типовая схема такого генератора представлена на Рис. 2.55.

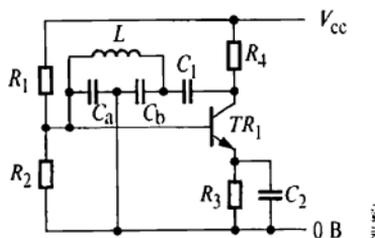


Рис. 2.55. Генератор Колпитца

Как видно из рисунка, резонансный контур состоит из катушки индуктивности  $L$  и конденсаторов  $C_a$  и  $C_b$ . Резонансная частота определяется формулой:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L \left( \frac{1}{C_a} + \frac{1}{C_b} \right)}}.$$

Конденсатор  $C_1$  — разделительный.

Обычно конденсатор  $C_a$  подбирается таким образом, чтобы его емкостное сопротивление было мало при резонансе, это означает, что входное сопротивление транзистора не будет нагрузкой для схемы. Значит, будет выполняться условие  $C_a \gg C_b$ , следовательно, в первом приближении:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_b}}.$$

## 2.25. ГЕНЕРАТОР ХАРТЛИ

В генераторе Хартли (называемом также трехточечным генератором с индуктивной связью) используется катушка индуктивности с отводом в средней точке. Типичная схема такого генератора представлена на Рис. 2.56.

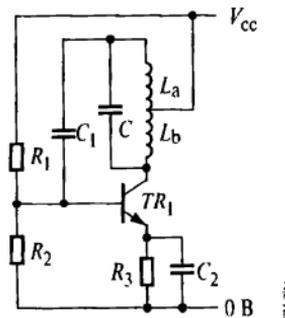


Рис. 2.56. Генератор Хартли

Резонансный контур состоит из конденсатора  $C$  и двух секций катушки индуктивности,  $L_a$  и  $L_b$ . Конденсатор  $C_1$  выполняет функцию разделительного конденсатора. Формула для резонансной частоты:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_a + L_b)C}}.$$

Если рабочая частота генератора должна быть ниже 50 кГц, то потребуются индуктивность и емкость недопустимо больших величин. Это ограничивает область применения индуктивно-емкостных генераторов высокочастотными радиоустройствами. Для работы в низкочастотном диапазоне подходят другие генераторы, называемые генераторами с фазовым сдвигом.

## 2.26. ГЕНЕРАТОРЫ С ФАЗОВЫМ СДВИГОМ

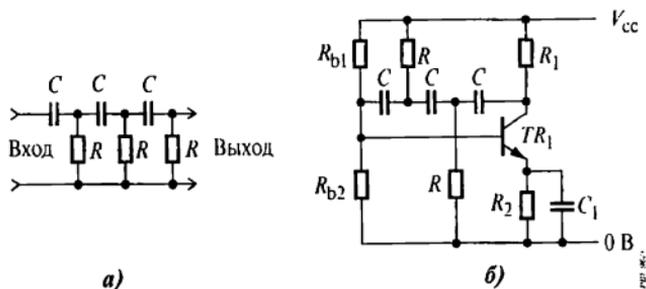
Генератор с фазовым сдвигом состоит из усилителя с обратной связью, благодаря которой появляется сдвиг фазы. На некоторой конкретной частоте полный фазовый сдвиг будет кратным  $360^\circ$ , и если коэффициент петлевого усиления превышает единицу, возникает генерация.

Обычно сдвиг фазы вносится  $RC$ -цепочкой, что позволяет создавать дешевые схемы. На частотах свыше 100 кГц большой проблемой становится паразитная емкость, поэтому для таких частот больше подходят индуктивно-емкостные генераторы, описанные ранее.

## 2.27. ГЕНЕРАТОР С ТРЕХКАСКАДНЫМ $RC$ -ФИЛЬТРОМ

Сдвиг фазы при передаче сигнала от базы к коллектору в простом транзисторном генераторе с общим эмиттером составляет  $180^\circ$  на любой частоте. Чтобы выполнялось условие возникновения колебаний, т.е. общий сдвиг составил бы  $360^\circ$ , нужно соединить коллектор с базой через цепочку, которая вносит дополнительный фазовый сдвиг, равный  $180^\circ$ .

Схема трехкаскадного фильтра, изображенного на **Рис. 2.57а**, построена таким образом, что каждый каскад сдвигает сигнал по фазе на  $60^\circ$ , следовательно, общий фазовый сдвиг составляет  $180^\circ$ .



**Рис. 2.57.** Генератор с фазовым сдвигом:  
*а* — трехкаскадный фильтр;  
*б* — реальная схема

Необходимый сдвиг в 60 градусов в каждом каскаде возникает на частоте:

$$f = \frac{1}{4\pi RC}.$$

Реактивное сопротивление последовательности каскадов будет иметь несколько другой вид, и для трех последовательно включенных каскадов сдвиг в 180° возникает на частоте:

$$f = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}}.$$

Схема реального генератора с фазовым сдвигом показана на Рис. 2.576. Резисторы  $R_{b1}$ ,  $R_{b2}$  вместе с входным сопротивлением транзистора  $R_{in}$  параллельны друг другу и составляют некое сопротивление. Поскольку входное сопротивление транзисторов, выпускаемых промышленностью, может варьироваться в достаточно широких пределах, реальная частота генератора зачастую отличается от расчетной.

Трехкаскадный фильтр ослабляет сигнал, поступающий с коллектора обратно на базу транзистора, но это ослабление компенсируется усилением по напряжению транзистора. Амплитуда выходного сигнала ограничивается теми пределами, при которых транзистор может войти в насыщение или перейти в режим отсечки. За счет этого имеют место некоторые искажения формы выходного сигнала.

## 2.28. ГЕНЕРАТОР НА ОСНОВЕ МОСТА ВИНА

Мост Вина — это вариант широко известного моста сопротивлений (моста Уитстона), рассчитанный на работу при переменном токе. На Рис. 2.58 показана основная схема такого моста.

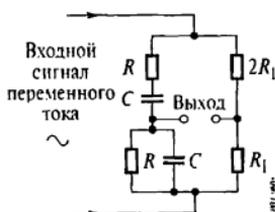


Рис. 2.58. Основная схема моста Вина

Уравновешивание моста происходит на частоте:

$$f = \frac{1}{2\pi RC},$$

а при равновесии выходное напряжение совпадает по фазе с входным напряжением (хотя его амплитуда составляет всего лишь треть от входной амплитуды).

Поскольку фазовый сдвиг при равновесии равен нулю, мост Вина следует использовать в совокупности с неинвертирующим усилителем для того, чтобы удовлетворить условию возникновения колебаний. Такую схему можно построить либо используя двухкаскадный транзисторный усилитель, как показано на Рис. 2.59а, либо на интегральной схеме операционного усилителя, показанной на Рис. 2.59б.

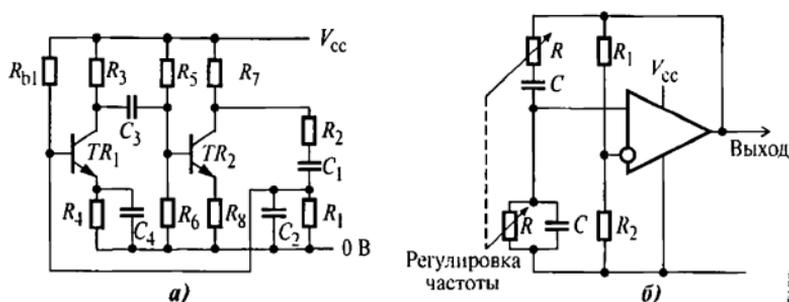


Рис. 2.59. Генератор по схеме моста Вина:

а — транзисторная схема;

б — схема на основе операционного усилителя

На условие возникновения равновесия могут влиять другие компоненты схемы: например, сопротивление резистора  $R_1$  на Рис. 2.59а должно выбираться с учетом величины сопротивления резистора  $R_{b1}$  и входного сопротивления  $R_{in}$  транзистора  $TR_1$ .

Одно из преимуществ генератора на мостовой схеме Вина — это простота настройки, которая достигается при использовании в схеме двухдорожечного (со двояной ручкой регулировки) потенциометра.

Амплитуда сигнала ограничивается факторами, аналогичными факторам, ограничивающим амплитуду в других генераторах. Однако, если в схеме, изображенной на Рис. 2.59б, заменить резистор  $R_1$  термистором (терморезистором), можно добиться приемлемого постоянства амплитуды. При возрастании амплитуды колебаний температура термистора будет увеличиваться, а его сопротивление — уменьшаться. Это вызовет возрастание глубины отрицательной обратной связи и уменьшение коэффициента усиления усилителя. Работа схемы ста-

нет устойчивой при коэффициенте усиления, который будет соответствовать простому поддержанию колебаний (т.е. при коэффициенте усиления при разомкнутой петле обратной связи, равном единице).

## 2.29. КВАРЦЕВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

У всех генераторов, описанных до сих пор, присутствует один серьезный недостаток; их частота зависит от характеристик схемы, которые разработчик не может предусмотреть заранее. Внешние изменения, такие, как колебания температуры и разброс напряжения питания, приводят к постоянным изменениям частоты колебаний.

Устойчивая работа многих устройств не зависит от точного значения частоты колебаний, но существуют случаи, когда точное значение частоты генератора поддерживать необходимо. Например, несущая частота передвижной радиостанции (или радиоприемника) УКВ-диапазона должна быть равна 460 МГц с допуском в несколько килогерц, несмотря на колебания температуры, изменение напряжения аккумуляторов питания и механические вибрации.

Для таких схем были разработаны генераторы, использующие свойства кристалла кварца. В таких кристаллах могут возникать механические колебания, частота которых достигает достаточно высоких значений, при этом между двумя противоположными гранями кристалла вследствие пьезоэлектрического эффекта появляется переменное напряжение. Таким образом, кристалл ведет себя как резонансный контур, обладающий очень высоким отношением  $L/C$  и очень высокой добротностью  $Q$ .

На Рис. 2.60а и Рис. 2.60б приведены типовые схемы кварцевых генераторов.

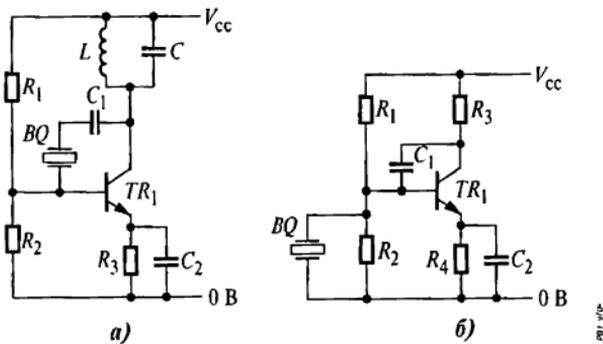


Рис. 2.60. Кварцевые генераторы:  
а — генератор Пирса; б — генератор Миллера  
(емкостный трехточечный кварцевый генератор)

Функции конденсатора  $C_1$  в схеме на Рис. 2.60б иногда выполняет емкость перехода коллектор—база.

Наивысшая собственная частота, которая легко может быть достигнута кварцевым генератором, составляет величину порядка 1 МГц. Чтобы достичь частот, превышающих это значение, как правило, кристалл возбуждают при частоте гармоника, выбор которой определяется некой внешней индуктивно-емкостной цепочкой, например, такой, как коллекторная нагрузка на Рис. 2.60а.

Для обеспечения возможности настройки частоты генератора (хотя и в довольно ограниченных пределах) кристалл шунтируют конденсатором очень малой емкости. Диапазон настройки, достигаемый при этом, составляет менее 0.01%. Таким образом, этот прием может использоваться только для точной подгонки частоты. После настройки схемы сохраняется прекрасная частотная стабильность: например легко достигается поддержание частоты с точностью до  $1/10^8$ . При внимательном подходе к построению схемы генератора и эксплуатации ее в постоянном температурном режиме стабильность частоты может поддерживаться с точностью, превышающей  $1/10^{10}$ .

### 2.30. КВАРЦЕВЫЙ ГЕНЕРАТОР, РАБОТАЮЩИЙ НА ОБЕРТОНАХ

Кварцевые генераторы могут генерировать колебания не только одной частоты. Механические колебания кварцевой пластины представляют собой *объемные акустические волны* и могут возникать на частотах, половина длины волны которых равна длине кристалла, умноженной на нечетное число, например  $1\lambda/2$ ,  $3\lambda/2$ ,  $5\lambda/2$ ,  $7\lambda/2$ ,  $9\lambda/2$ ..., где  $1\lambda/2$  — половина длины основной волны. Стоит заметить, что эти частоты не являются гармониками основной волны, а фактически представляют собой действительные частоты колебаний кварцевой пластины (обертон). Эти частоты близки, но не совпадают полностью с некоторыми гармониками основной частоты. На кварцевом генераторе указана частота высшей гармоники, или обертона, а не собственная частота (крайне редко встречаются кварцы с собственной частотой, превышающей 20 МГц или около того, поскольку их чрезвычайно малая толщина в этом случае повышает вероятность их разрушения даже при малых значениях рассеиваемой мощности).

Проблема, возникающая при работе с кварцевыми генераторами высших обертонов, состоит в поддержании правильной частоты при одновременном подавлении колебаний собственной частоты кристалла и других нежелательных гармо-

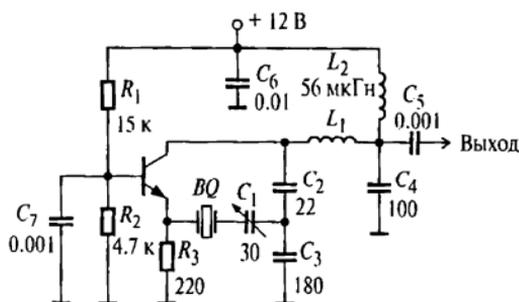


Рис. 2.61. Генератор третьего обертона

шк или обертонов. Производители кварцевых генераторов предлагают соответствующие методы решения этой проблемы, но ответственность за конечный результат приходится брать на себя разработчику схемы. На Рис. 2.61 показан генератор Батлера третьего обертона, работающий на частотах от 15 до 65 МГц.

Катушка индуктивности  $L_1$  резонирует на частоте, близкой к частоте кварца, и отчасти требуется для поддержания колебаний нужного обертона. Если для питания схемы используется источник постоянного напряжения небольшой величины, например от 9 до 12 В (как в большинстве случаев) коэффициент гармоник будет низким ( $-40$  дБ), а частотная стабильность, по меньшей мере, не хуже, чем у аналогичного генератора Батлера основной частоты.

## 2.31. ГЕНЕРАТОРЫ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Если провести анализ прямоугольного импульса разложением в ряд Фурье, можно обнаружить, что сигнал такой формы состоит из множества гармоник основной частоты. Из-за большого коэффициента гармоник сигнал прямоугольной формы чрезвычайно удобен для быстрого испытания и грубой оценки характеристик усилителей. На Рис. 2.62 показаны примеры возможных результатов такого испытания.

Самый простой способ получить генератор прямоугольных импульсов — создать генератор синусоидальных колебаний одним из ранее описанных методов, а затем подключить к его выходу какой-нибудь формирователь прямоугольных импульсов, например триггер Шмитта. Таким способом изготавливается большинство генераторов общего пользования.

В то же время существует ряд схем, непосредственно формирующих периодические прямоугольные импульсы.

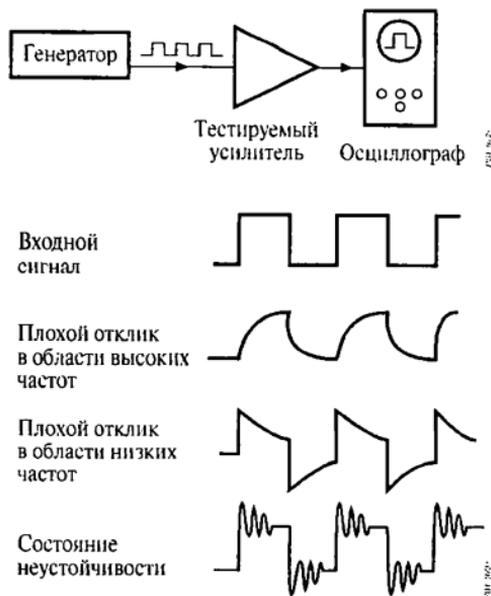


Рис. 2.62. Тестирование усилителя при помощи генератора прямоугольных импульсов

## 2.32. МУЛЬТИВИБРАТОР

Мультивибратор представляет собой релаксационный генератор, принцип работы которого состоит в разрядке конденсатора через резистор. Если на вход схемы, изображенной на Рис. 2.63а, поступает отрицательный фронт сигнала, транзистор  $TR_1$  запирается на время, необходимое для того, чтобы на базе снова установилось напряжение 0 В.

Если абсолютные значения перепада напряжения и напряжения питания совпадают, время, в течение которого транзистор  $TR_1$  будет заперт, можно определить по формуле:

$$T_1 = 0.7C_1R_1.$$

Соответственно в течение периода  $T_1$  на выходе схемы будет удерживаться положительный импульс.

Теперь соединим транзистор  $TR_1$  с другим транзистором через  $RC$ -цепочку  $R_2/C_2$ , как показано на Рис. 2.63б, и снова подадим отрицательный перепад на конденсатор  $C_1$ . Транзистор  $TR_1$  снова будет закрыт в течение периода  $T_1$ , но по окончании этого периода отрицательный фронт поступит на транзистор  $TR_2$ , который также закроется на период времени, равный

$$T_2 = 0.7C_2R_2.$$

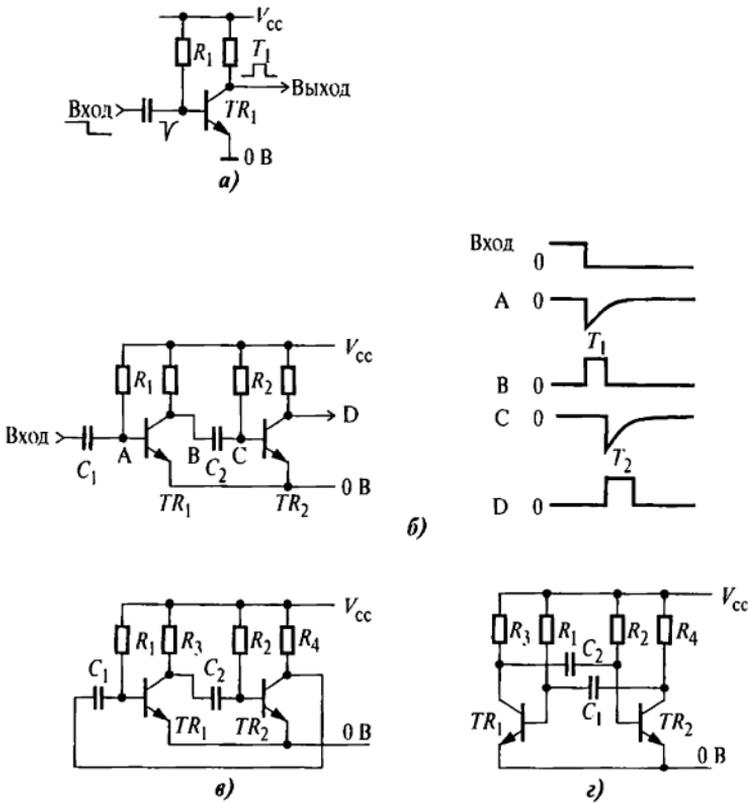


Рис. 2.63. Схема формирования выходных импульсов мультивибратора

Если теперь соединить выход транзистора  $TR_2$  с конденсатором  $C_1$ , как показано на Рис. 2.63в, то, когда транзистор  $TR_2$  открывается, отрицательный фронт снова закроет транзистор  $TR_1$ , таким образом, цикл будет повторяться. Схема будет генерировать симметричные колебания прямоугольной формы, формируемые двумя транзисторами. На практике эта схема обычно изображается так, как показано на Рис. 2.63г.

Одна из проблем, связанных с мультивибраторами, заключается в способе их запуска (здесь стоит сказать, что иногда мультивибраторы не запускаются). Обычно мультивибратор запускается благодаря различию коэффициентов усиления транзисторов в первый момент после включения схемы. В случае, когда мультивибратор не запускается, оба транзистора открыты, а ток базы течет через резисторы в цепи базы. Этого можно избежать, если специально установить асимметричную форму колебаний, задав различные значения периодов  $T_1$  и  $T_2$ .

Из-за простоты схемы мультивибратор имеет множество недостатков. Основная проблема такой схемы заключена в неудов-

летворительном положительном фронте. Для устранения этого недостатка к резисторам в цепи коллектора в качестве нагрузки подключают времязадающие конденсаторы, которые придают колебаниям ярко выраженную экспоненциальную форму.

Другая проблема состоит в том, что на базах транзисторов устанавливаются отрицательные напряжения, равные по величине напряжению питания. Максимальное обратное напряжение  $V_{be}$  для большинства транзисторов составляет приблизительно 5 В, следовательно, напряжение питания простой схемы может быть не более 5 В. В реальных схемах можно использовать и более высокие величины напряжений питания, но в этом случае переход эмиттер—база транзистора будет работать как стабилитрон, благодаря чему напряжение на базе будет ограничиваться значением около  $-6$  В. Это не причинит вреда транзистору, но приведет к тому, что значение рабочей частоты будет сильно отличаться от расчетного.

### 2.33. ЖДУЩИЙ МУЛЬТИВИБРАТОР (ОДНОВИБРАТОР)

На выходе *ждущего мультивибратора*, или одновибратора возможны два разрешенных состояния — высокий уровень и низкий уровень, но только одно из них устойчиво. Мультивибратор выдает один выходной импульс при поступлении на его вход сигнала запуска, т.е. при поступлении на вход отрицательного импульса запуска ( $V_1$ ) на выходе появляется положительный выходной импульс  $V_{out}$ . Выходной импульс обладает некоей длительностью  $T$ , когда на выходе сохраняется *квазистойчивое состояние*. Кроме названия «одновибратор», можно встретить и другие названия ждущего мультивибратора, например: *расширитель импульсов* и *импульсный генератор*. Название «расширитель импульсов» отражает тот факт, что длительность выходного импульса оказывается больше длительности запускающего импульса,  $T > T_1$ .

Ждущие мультивибраторы нашли широкое распространение в электронных схемах. Кроме вышеупомянутого расширителя импульсов, они применяются также для исключения нежелательных импульсов (импульсов помех). Схема реагирует только на первый импульс запуска, а следующие два импульса, которые появляются в течение времени работы схемы, т.е. длительности выходного импульса  $T$ , игнорируются. Такие мультивибраторы называются мультивибраторами без повторного запуска. Это свойство используется для борьбы с «дребезгом» контактов переключателей в клавиатурах. При замыкании у всех механических контактов в течение некоторого времени наблюдается дребезжание, которое приводит к появлению

кратковременных экспоненциально-затухающих импульсов. Если одновибратор запускается первым импульсом от переключателя, а затем остается в квазистойчивом состоянии на протяжении достаточно долгого времени, в течение которого импульсы, вызванные дребезгом, затухнут, то такой одновибратор будет эффективной «противодребезговой защитой» при замыкании переключателя. Основное требование для таких одновибраторов заключается в том, что длительность его выходного импульса должна превышать длительность последовательности импульсов дребезжания контакта переключателя (для большинства типов переключателей обычно считается достаточной длительность 5 мс).

Диапазон всех возможных применений одновибраторов слишком широк, чтобы рассматривать все особенности их использования. Ниже рассмотрено только одно устройство, возможные применения которого включают генерацию или расширение импульсов, «противодребезговую защиту» контактов, улучшение формы импульсов, переключение, а также синхронизацию функций схемы (в особенности цифровых).

На Рис. 2.64 представлена схема ждущего мультивибратора на операционном усилителе и ее временные диаграммы.

Эта схема (Рис. 2.64а) построена на компараторе напряжений. При отсутствии обратной связи действующий коэффициент усиления операционного усилителя — это его коэффициент усиления при разомкнутой петле ОС ( $A_{vol}$ ). Когда на обоих входах одинаковые потенциалы, дифференциальное входное напряжение  $V_{id}$  равно нулю, следовательно, выходное напряжение также равно нулю. Но, если напряжение на входе  $V_{-in}$  не совпадает с напряжением на входе  $V_{+in}$ , на выходе установится либо положительное, либо отрицательное значение напряжения насыщения благодаря высокому коэффициенту усиления усилителя. Если  $V_{-in} > V_{+in}$ , дифференциальный входной сигнал усилителя будет положительным, и на выходе установится отрицательное напряжение насыщения  $-V_{SAT}$ . И наоборот, если  $V_{-in} < V_{+in}$ , дифференциальный входной сигнал усилителя будет отрицательным и напряжение насыщения на выходе будет положительным,  $+V_{SAT}$ . Работа ждущего мультивибратора зависит от соотношения между напряжениями  $V_{-in}$  и  $V_{+in}$ .

Следует рассматривать четыре состояния ждущего мультивибратора: устойчивое, переходное, квазистойчивое и период релаксации.

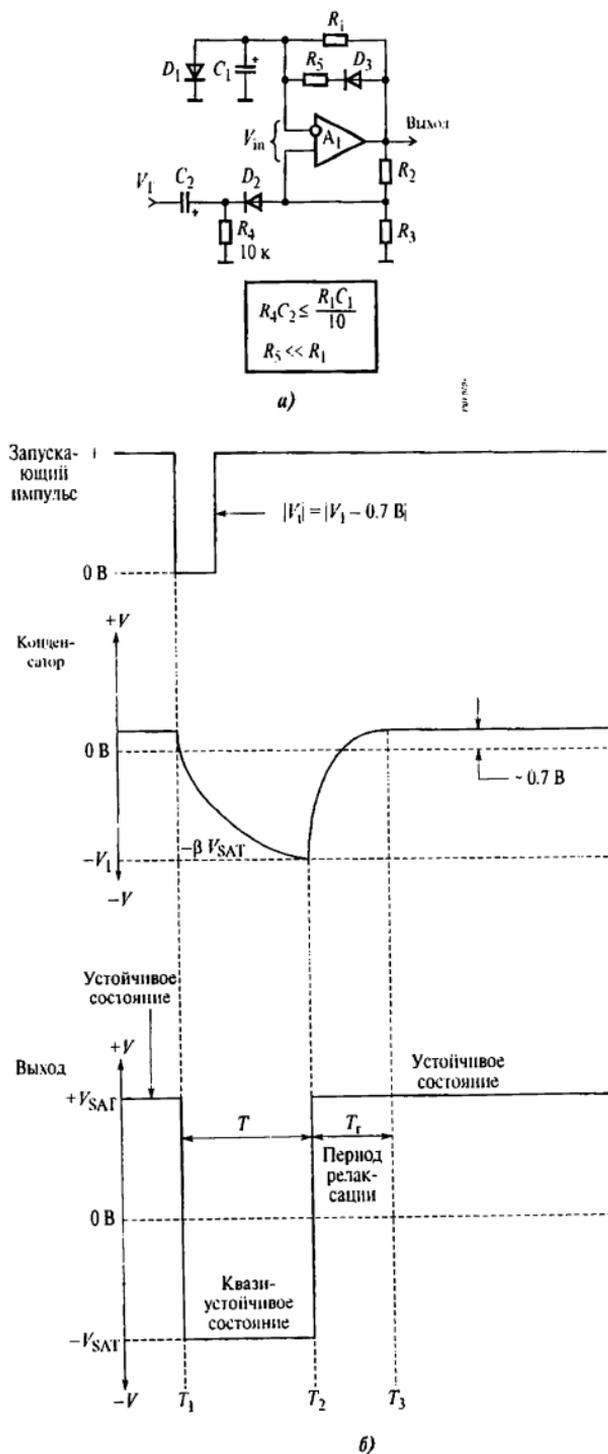


Рис. 2.64. Ждущий мультивибратор:  
 а — схема; б — временные диаграммы

## 2.33.1. Устойчивое состояние

Вначале выходное напряжение  $V_{\text{out}}$  составляет  $+V_{\text{SAT}}$ . Конденсатор  $C_1$  будет положительно заряжаться, поскольку напряжение  $+V_{\text{SAT}}$  будет поступать в  $RC$ -цепочку  $R_1/C_1$ . Но, из-за того, что конденсатор  $C_1$  шунтируется диодом  $D_1$ , напряжение на конденсаторе  $C_1$  зафиксируется на уровне  $+V_{D1}$ . Для кремниевых диодов (например для 1N914 или 1N4148) значение напряжения  $+V_{D1}$  составляет приблизительно  $+0.7$  В (DC). Таким образом, в устойчивом состоянии на инвертирующем входе  $-IN$  сохраняется уровень  $+0.7$  В. Неинвертирующий вход  $+IN$  смещается на уровень  $V_1$ , который равен:

$$V_1 = \frac{V_{\text{SAT}}R_3}{R_2 + R_3},$$

или, в особом случае, когда  $R_2 = R_3$ :

$$V_1 = \frac{+V_{\text{SAT}}}{2}.$$

Множитель  $R_3/(R_2 + R_3)$  часто обозначается греческой буквой  $\beta$ , т.е.:

$$\beta = \frac{R_3}{R_2 + R_3}.$$

И тогда:

$$V_1 = \beta (+V_{\text{SAT}}).$$

Дифференциальное входное напряжение  $V_{\text{id}}$  усилителя  $A_1$  равно  $V_1 - V_{D1}$ , или  $V_1 - 0.7$  В. Используя предыдущее уравнение, запишем:

$$V_{\text{id}} = \frac{R_3 V_{\text{SAT}}}{R_2 + R_3} - 0.70.$$

До тех пор, пока выполняется неравенство  $V_1 > V_{D1}$ , на инвертирующем входе усилителя будет отрицательное дифференциальное напряжение постоянного тока, следовательно, (при высоком коэффициенте усиления с разомкнутой петлей ОС) на выходе будет оставаться напряжение насыщения  $+V_{\text{SAT}}$  (Рис. 2.646). Рассматривая усилитель серии 741, работающий от постоянного напряжения  $\pm 12$  В, можно рассчитать, что типичное значение напряжения  $V_{\text{SAT}}$  равно  $\pm 10$  В.

### 2.33.2. Переходное состояние

Сигнал запуска  $V_1$  поступает на вход ждущего мультивибратора через  $RC$ -цепочку  $R_4/C_2$ . При расчете этой цепочки следует исходить из правила, что ее постоянная времени не должна превышать одну десятую постоянной времени времязадающей цепочки:

$$R_4 C_2 < \frac{R_1 C_1}{10}.$$

В момент времени  $T_1$  происходит резкое изменение уровня сигнала запуска от высокого к низкому, где пиковое значение составляет меньше, чем  $(V_1 - 0.7)$  В. При таких условиях полярность напряжения  $V_{id}$  меняется на обратную, и теперь на инвертирующем входе устанавливается положительное напряжение  $(V_1 + V_1 - 0.7)$  В, которое меньше напряжения  $V_{D1}$ . Выходное напряжение  $V_{out}$  резко изменяется на  $-V_{SAT}$  (Рис. 2.64б). Длительность спада выходного сигнала зависит от скорости нарастания выходного напряжения и коэффициента усиления при разомкнутой петле обратной связи операционного усилителя.

### 2.33.3. Квазистойчивое состояние

На выходе ждущего мультивибратора в интервале между  $T_1$  и  $T_2$  сохраняется квазистойчивое состояние. Оно называется квазистойчивым, потому что в течение времени  $T = T_2 - T_1$  выходной сигнал не изменяется, но как только время  $T$  заканчивается, время квазистойчивого состояния истекает, и мультивибратор переходит в устойчивое состояние, т.е. напряжение на выходе  $V_{out}$  изменяется на  $+V_{SAT}$ .

Во время квазистойчивого состояния диод  $D_1$  смещен в обратном направлении, а конденсатор  $C_1$  разряжается от напряжения  $+0.7$  В до нуля и затем перезаряжается в противоположной полярности до напряжения  $-V_{SAT}$ . Когда отрицательное напряжение на выходе  $-V_{out}$  достигнет значения  $-V_1$ , величина дифференциального входного напряжения  $V_{id}$  пересечет нулевую отметку, и это изменение снова приведет к резкому изменению напряжения на выходе,  $V_{out} = +V_{SAT}$  (Рис. 2.64б).

Можно вывести уравнение времязадающей цепочки для ждущего мультивибратора. Времязадающий конденсатор  $C_1$  должен зарядиться от начального напряжения  $V_{C1}$  до окончательного значения  $V_{C2}$  за время  $T$ . Возникает вопрос: «При каком значении произведения  $R_1 C_1$  произойдут требуемые изменения?». Рассмотрим случай, когда  $R_2 = R_3$  и, следовательно  $V_1 = 0.5V_{SAT}$ :

$$R_1 C_1 = \frac{-T}{\ln\left(\frac{V_{SAT} - V_{C2}}{V_{SAT} - V_{C1}}\right)}.$$

Для случая, когда  $V_{SAT} = 10$  В (DC), имеем:

$$\begin{aligned} R_1 C_1 &= \frac{-T}{\ln\left(\frac{V_{SAT} - 0.5(V_{SAT} + 0.7)}{10 - 0.7}\right)} = \\ &= \frac{-T}{\ln\left(\frac{(10 - 0.5(10 + 0.7))}{10 - 0.7}\right)} = \frac{-T}{-0.69}, \end{aligned}$$

откуда

$$T = 0.69 R_1 C_1.$$

Это уравнение справедливо для случая, когда  $\beta = 1/2$  (т.е.  $R_2 = R_3$ ). Как правило, для этого класса схем такое условие выполняется, но бывают случаи, когда эти сопротивления могут не совпадать. Тогда представленное уравнение в общем виде будет выглядеть так:

$$RC = \frac{-T}{\ln\left(\frac{1 + 0.7/V_{SAT}}{1 - \beta}\right)},$$

где

$$\beta = \frac{R_3}{R_2 + R_3}.$$

По истечении времени квазиустойчивого состояния схема переходит в устойчивое состояние, где и пребывает в ожидании следующего импульса запуска.

#### 2.33.4. Период релаксации

В момент времени  $T_2$  напряжение на выходе изменяется от  $-V_{SAT}$  до  $+V_{SAT}$ . Несмотря на то что время квазиустойчивого состояния истекло, схема еще не готова к приему следующего импульса запуска. Переходное состояние в интервале между  $T_1$  и  $T_2$  характеризуется тем, что на выходе уже установилось устойчивое состояние, но вход еще не может принимать новый импульс. Длительность такого состояния  $T_r$  определяется разрядкой конденсатора  $C_1$  до значения, при котором будет выполняться условие  $V_1 < (V_1 - 0.7)$  В.

### 2.34. ГЕНЕРАТОР ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ОПЕРАЦИОННОМ УСИЛИТЕЛЕ

На Рис. 2.65 показан генератор, удобный для использования в случаях, когда требуется большой размах напряжения.

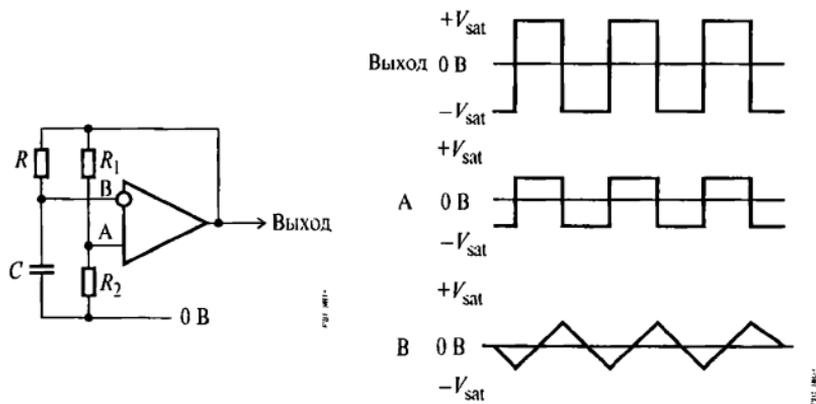


Рис. 2.65. Генератор прямоугольных импульсов на основе операционного усилителя

Из временной диаграммы видно, что в момент времени  $t = 0$  усилитель находится в отрицательном насыщении, и:

$$V_A = K \times V_{-SAT},$$

где

$$K = \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

Конденсатор заряжается через времязадающий резистор  $R$ , таким образом, напряжение в точке В стремится к отрицательному напряжению питания.

Когда потенциалы в точках А и В уравниваются, усилитель переключается в состояние положительного насыщения. Теперь:

$$V_A = K \times V_{+SAT},$$

и напряжение в точке В стремится к положительному напряжению питания. Когда напряжения в точках В и А снова станут одинаковыми, усилитель опять переходит в состояние отрицательного насыщения, и цикл повторяется.

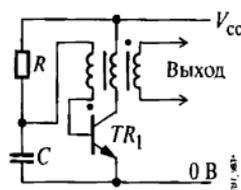
Таким образом, выходное напряжение колеблется между максимальными значениями  $V_{+SAT}$  и  $V_{-SAT}$ , а в точке А — между значениями  $KV_{+SAT}$  и  $KV_{-SAT}$ ; в точке В напряжение спадает и возрастает по экспоненциальному закону между теми же максимальными значениями, что и в точке А.

Вычисления периода колебаний довольно длинны, поэтому представим здесь конечный результат:

$$T = 2CR \ln\left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right).$$

### 2.35. БЛОКИНГ-ГЕНЕРАТОР

На первый взгляд, блокинг-генератор может быть ошибочно принят за индуктивно-емкостный генератор, описанный ранее. Однако их принципы действия сильно различаются. Типичная схема блокинг-генератора приведена на **Рис. 2.66**.



**Рис. 2.66.** Электрическая схема блокинг-генератора

Процесс колебаний запускается, когда времязадающий конденсатор  $C$  заряжен отрицательно и транзистор  $TR_1$  закрыт. Затем конденсатор  $C$  заряжается через времязадающий резистор  $R$ , и напряжение на базе начинает возрастать до значения  $V_{cc}$ . При достижении значения приблизительно 0.5 В транзистор  $TR_1$  открывается, и ток начинает течь через первичную обмотку трансформатора. Он соединен с базой транзистора, что приводит к возрастанию тока. Возникает регенеративный процесс, и через конденсатор  $C$  протекает возросший ток базы, напряжение в точке соединения резистора, конденсатора и первичной обмотки быстро становится отрицательным, и транзистор запирается. После чего цикл повторяется снова.

Выходной сигнал состоит из коротких отрицательных импульсов, длительность которых определяется транзистором и трансформатором. Импульсы повторяются через одинаковые интервалы времени, продолжительность которых определяется  $RC$ -цепочкой.

### 2.36. ГЕНЕРАТОРЫ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ЦИФРОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ

Часто для управляющих схем на ТТЛ- и КМОП-логических элементах необходимы схемы генераторов, которые должны выполнять функцию тактового генератора системы. Такие ге-

нераторы легко могут быть реализованы на основе специально разработанных интегральных схем. Типичным примером такой микросхемы служит ИС таймера серии 555, изображенная на Рис. 2.67а.

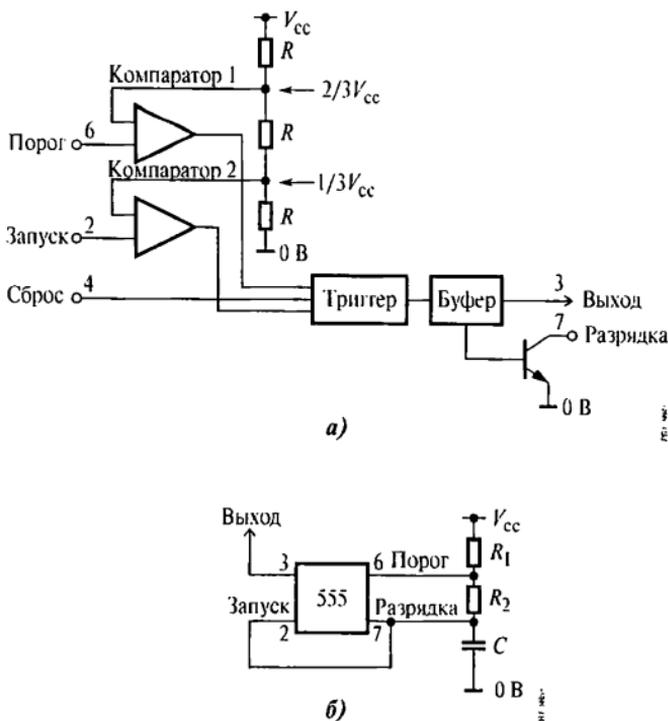


Рис. 2.67. Таймер 555: а — структура интегральной схемы; б — генератор на основе ИС серии 555

Эта схема состоит из запоминающего триггера и двух компараторов, установленных на две трети и одну треть напряжения  $V_{cc}$ .

Чтобы собрать генератор на основе этой микросхемы, нужно добавить два резистора и конденсатор, как показано на Рис. 2.67б. Допустим, на триггере установился высокий уровень, и напряжение на конденсаторе составляет приблизительно  $1/2V_{cc}$ . Конденсатор заряжается через резисторы  $R_1$  и  $R_2$ .

Когда напряжение достигает уровня  $2/3V_{cc}$ , компаратор 1 устанавливает начальное состояние на триггере. Теперь конденсатор разряжается на вывод 7 через резистор  $R_2$ . При достижении уровня  $1/3V_{cc}$  компаратор 2 установит высокий уровень на триггере, и цикл повторится.

Чтобы не столкнуться с проблемами, вызванными шумом, импульсы от генераторов, предназначенных для цифровых схем,

должны иметь резкие задний и передний фронты импульсов. В частности, при затянутых фронтах может происходить удвоение сигналов счета в схемах счетчиков. Схему генератора с очень резкими фронтами можно построить на логических элементах с триггерами Шмитта. На Рис. 2.68 показана схема генератора, основой которого являются КМОП ИС.

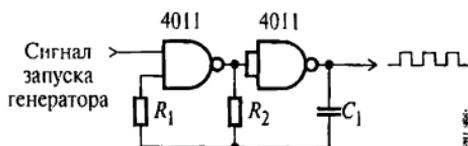


Рис. 2.68. Генератор на основе КМОП интегральных схем

## 2.37. ЦИФРОВЫЕ СХЕМЫ

Многие управляющие алгоритмы зависят от функции, которая может быть осуществлена только одним из двух состояний. Например, контакт может быть замкнут или разомкнут, или газовая горелка может либо гореть, либо не гореть.

В электронике такой алгоритм известен под названием «цифровая схема», и в таких схемах возможны сигналы, заданные только одним из двух возможных напряжений. Обычно эти два значения напряжения называются **ВЫСОКИМ** и **НИЗКИМ** уровнями, или уровнями «1» и «0». Например в интегральных цифровых ТТЛ-схемах уровню единицы соответствует напряжение 3.5 В, а уровню нуля — напряжение 0 В.

Цифровые схемы можно разделить на две основные группы. К первой группе можно отнести схемы, осуществляющие управление объектами. Вторая группа схем связана с обработкой числовой информации, здесь цифровые схемы используются для выполнения арифметических операций и счета.

## 2.38. ОСНОВНЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Многие основные логические элементы удобно сравнивать со схемами, использующими реле.

### 2.38.1. Логический элемент И

Первым рассмотрим элемент И. На Рис. 2.69а,б показано символическое обозначение этого элемента и эквивалентная ему схема с реле.

На выходе С устанавливается **ВЫСОКИЙ** уровень в том, и только в том случае, если на обоих входах, А и В, также **ВЫ-**

СОКИЕ уровни. Во всех других случаях на выходе НИЗКИЙ уровень. На Рис. 2.69в представлена так называемая таблица истинности, в которой перечислены все возможные комбинации состояний на входах и соответствующие им состояния на выходе.

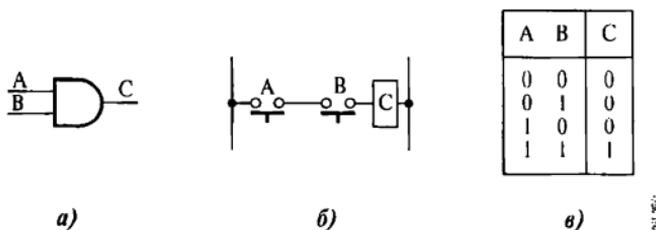


Рис. 2.69. Логический элемент И: а — символическое обозначение; б — эквивалентная схема; в — таблица истинности

### 2.38.2. Логический элемент ИЛИ

Рассмотрим логический элемент ИЛИ, показанный на Рис. 2.70а.

ВЫСОКИЙ уровень на выходе С устанавливается в случае, когда хотя бы на одном из входов элемента ВЫСОКИЙ уровень, что видно из таблицы истинности — Рис. 2.70в. Эта операция похожа на операцию, выполняемую схемой реле, изображенной на Рис. 2.70б. На представленных рисунках изображены элементы И и ИЛИ только с двумя входами, однако количество входов у этих элементов может быть любым. Например, на выходе логического элемента И с восемью входами устанавливается ВЫСОКИЙ уровень в том, и только в том случае, если на всех восьми его входах также устанавливаются ВЫСОКИЕ уровни.

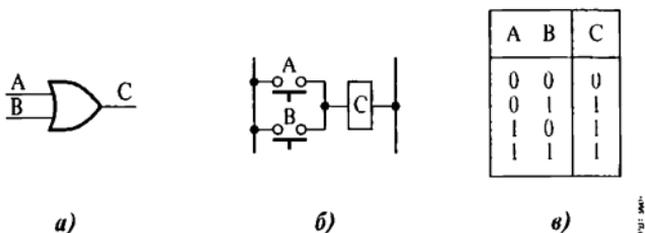
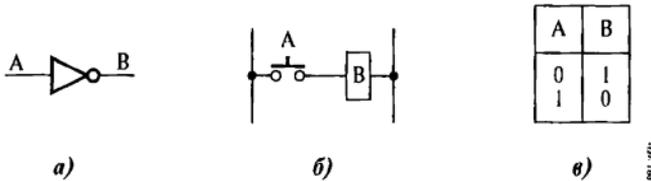


Рис. 2.70. Логический элемент ИЛИ: а — символическое обозначение; б — эквивалентная схема; в — таблица истинности

### 2.38.3. Логический элемент НЕ (инвертор)

У инвертора один вход и один выход, как видно из **Рис. 2.71а**.

Состояние на выходе инвертора противоположно состоянию на его входе; при **ВЫСОКОМ** уровне на входе инвертора на выходе устанавливается **НИЗКИЙ** уровень, и наоборот. Эта функция эквивалентна функции, выполняемой нормально замкнутым контактом реле (**Рис. 2.71б**).

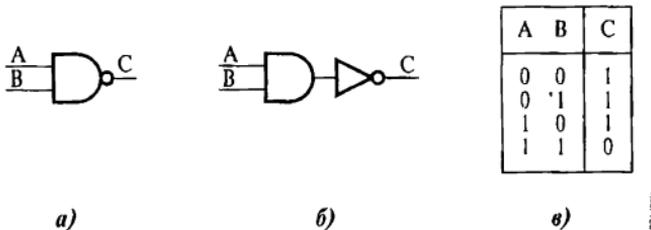


**Рис. 2.71.** Инвертор: а — символическое обозначение; б — эквивалентная схема; в — таблица истинности

### 2.38.4. Логические элементы И-НЕ и ИЛИ-НЕ

Разработчики стараются строить логические схемы на основе двух логических элементов И-НЕ и ИЛИ-НЕ. Эти два элемента, вероятно, являются наиболее часто используемыми.

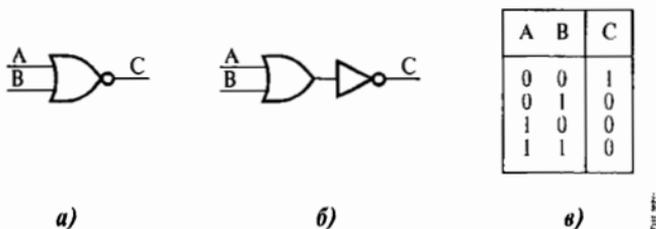
Логический элемент И-НЕ, изображенный на **Рис. 2.72а**, представляет собой обычный логический элемент И, за которым следует инвертор (**Рис. 2.72б**), т. е. на его выходе устанавливается **НИЗКИЙ** уровень, когда на всех входах будут **ВЫСОКИЕ** уровни, что отражено в таблице истинности на **Рис. 2.72в**.



**Рис. 2.72.** Логический элемент И-НЕ: а — символическое обозначение; б — эквивалентная логическая схема; в — таблица истинности

Логический элемент ИЛИ-НЕ, изображенный на **Рис. 2.73а**, представляет собой обычный логический элемент ИЛИ, за которым следует инвертор (**Рис. 2.73б**).

На выходе этого элемента устанавливается **НИЗКИЙ** уро-



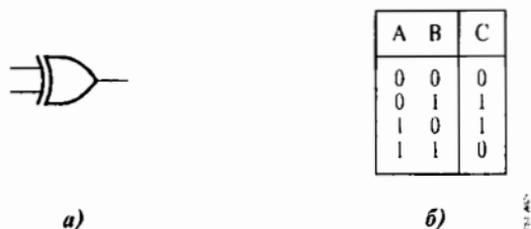
**Рис. 2.73.** Логический элемент ИЛИ-НЕ: *а* — символическое обозначение; *б* — эквивалентная логическая схема; *в* — таблица истинности

вень, если хотя бы на одном из входов установится ВЫСОКИЙ уровень, что отражает таблица истинности на **Рис. 2.73в**.

### 2.38.5. Логический элемент Исключающее ИЛИ

Логический элемент Исключающее ИЛИ встречается не так часто. У него может быть всего два входа, и НИЗКИЙ уровень на выходе устанавливается, если состояния на обоих входах совпадают, в противном случае устанавливается ВЫСОКИЙ уровень.

На **Рис. 2.74** показано символическое обозначение этого элемента и его таблица истинности.



**Рис. 2.74.** Логический элемент Исключающее ИЛИ: *а* — символическое обозначение; *б* — таблица истинности

Для элемента Исключающее ИЛИ не существует эквивалента в виде простой схемы с использованием реле.

## 2.39. ПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ И ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ ЛОГИКА

Логика называется положительной, если напряжение, соответствующее уровню логической единицы, больше, чем напряжение, соответствующее уровню логического нуля. Рассмотрим схему на **Рис. 2.75а**.

Если вам понятны принципы работы логических элементов, вы скажете, что на выходе схемы будет логическая единица, если единицы будут либо на обоих входах А и В, либо на



Рис. 2.75. Положительная и отрицательная логика:  
 а — исходная логическая схема;  
 б — эквивалентная логическая схема

обоих входах С и D. Следовательно, эта схема работает аналогично схеме, изображенной на Рис. 2.75б, но правый элемент И-НЕ каким-то образом ведет себя как элемент ИЛИ. Из таблицы истинности элемента И-НЕ, приведенной ранее, видно, что на выходе этого элемента будет единица, если на любом из входов будет ноль. Таким образом, логический элемент И-НЕ положительной логики — это также и логический элемент ИЛИ-НЕ отрицательной логики.

Подобная взаимозаменяемость существует между логическими элементами всех типов, и она обобщена на Рис. 2.76.

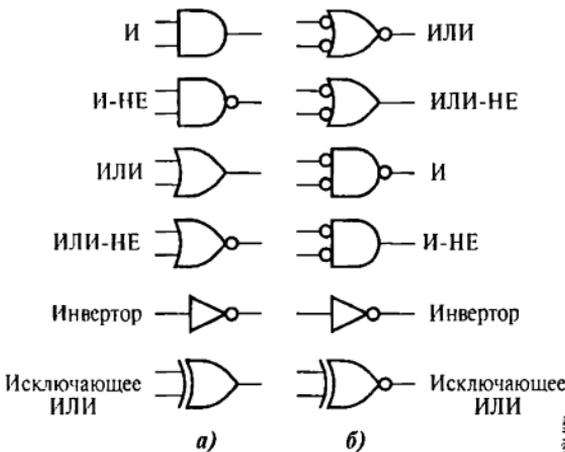


Рис 2.76. Взаимозаменяемость положительной и отрицательной логики:  
 а — логические элементы положительной логики;  
 б — логические элементы отрицательной логики

## 2.40. КОМБИНАЦИОННАЯ ЛОГИКА

Схемы, построенные исключительно на логических элементах, называются комбинационными логическими схемами. В них нет элементов памяти, счетчиков или таймеров. Пример такой схемы приведен на Рис. 2.77а.

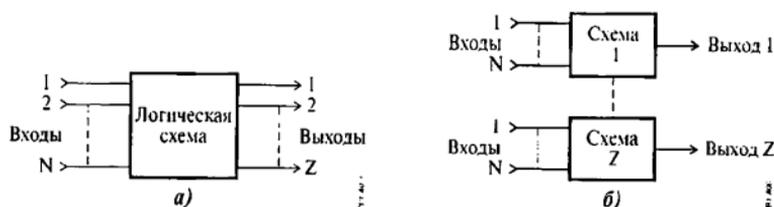


Рис. 2.77. Комбинационные логические схемы:  
 а — обобщенное представление;  
 б — представление в виде отдельных Z схем

У этой схемы  $N$  входов, обозначенных от 1 до  $N$ , и  $Z$  выходов, обозначенных от 1 до  $Z$ . Систему с таким множеством выходов удобнее рассматривать как систему, содержащую в себе  $Z$  отдельных (и различных) схем, каждая из которых может быть представлена, как показано на Рис. 2.77б. Разработка комбинационных логических схем состоит, во-первых, из определения зависимости между входами и выходами, а во-вторых, из преобразования этой зависимости в соответствующую схему, построенную на логических элементах.

Один из удобных способов достижения этого — составление таблицы истинности, в которой всем возможным комбинациям состояния входов будут соответствовать состояния на выходах.

Предположим, что необходимо создать мажоритарную схему, в которой выход  $Z$  принимает мажоритарное (преобладающее) для трех входов  $A$ ,  $B$  и  $C$  состояние. Составим таблицу истинности:

A	B	C	Z
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1*
1	0	0	0
1	0	1	1*
1	1	0	1*
1	1	1	1*

Как видно из таблицы, единица на выходе получается в четырех случаях, обозначенных звездочкой, а именно:

- (Не  $A$ ) &  $B$  &  $C$
- $A$  & (Не  $B$ ) &  $C$
- $A$  &  $B$  & (Не  $C$ )
- $A$  &  $B$  &  $C$ ,

что позволяет нам построить схему из нескольких элементов И, выходы которых подключены к элементу ИЛИ, как показано на Рис. 2.78.

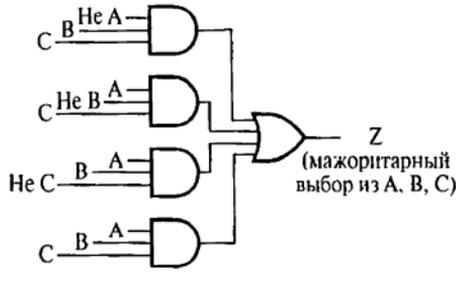


Рис. 2.78. Схема мажоритарного выбора суммы произведений

Построение схемы при помощи таблицы истинности всегда дает решение, которое реализуется на элементах И/ИЛИ (называемое схемой суммы произведений). Однако неизвестно, минимально ли количество используемых элементов, предложенное данным решением. Для того, чтобы получить схему, состоящую из минимально возможного количества элементов, следует использовать другие методы. К тому же при наличии более четырех входов (с шестнадцатью возможными входными комбинациями) таблица истинности становится чрезвычайно громоздкой.

## 2.41. БУЛЕВА АЛГЕБРА

В девятнадцатом веке кембриджским математиком и священником Джорджем Булем была разработана система алгебраических обозначений для выражения и обработки логических уравнений. Эта система, получившая название Булевой алгебры, или алгебры логики, используется для разработки комбинационных логических схем.

Функция И представляется точкой «·» (или даже отсутствием символа, как при обычной записи математической формулы), функция ИЛИ — символом «+», а функция отрицания представляется в виде черты над сигналом (оператором). Например функция схемы, представленной на Рис. 2.79, в системе обозначений Булевой алгебры выглядит так:

$$Z = (\bar{A} \cdot B \cdot C) + (A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C}) + D.$$

Булева алгебра позволяет записывать сложные выражения в простой и краткой форме, а также содержит правила для обработки и нахождения минимальной формы таких выражений.

Существует ряд таких правил. Первые одиннадцать из них кажутся очевидными:

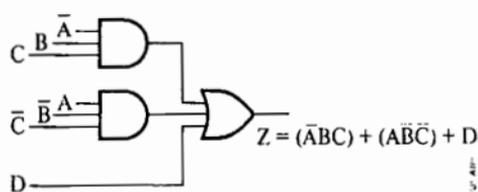


Рис. 2.79. Логическая схема, представленная символами булевой алгебры

1.  $A \cdot A = A$
2.  $A + A = A$
3.  $A \cdot 1 = A$
4.  $A \cdot 0 = 0$
5.  $A + 1 = 1$
6.  $A + 0 = A$
7.  $\overline{(\bar{A})} = A$
8.  $A \cdot \bar{A} = 0$
9.  $A + \bar{A} = 1$
10.  $A + B = B + A$
11.  $A \cdot B = B \cdot A$

Следующие два правила относятся к операциям со скобками:

12.  $(A + B) + C = A + (B + C) = A + B + C$
13.  $(A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C) = A \cdot B \cdot C$

Следующие два правила называют «законами поглощения»:

14.  $A + A \cdot B = A$
15.  $A \cdot (A + B) = A$

Элемент  $B$  в обоих случаях не влияет на конечный результат.

Следующие два правила, называемые «законами распределения», позволяют разложить логические выражения на множители:

16.  $A + B \cdot C = (A + B) \cdot (A + C)$
17.  $A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$

Мы уже сталкивались с представлением логической схемы в виде суммы произведений. Возможно также образовать схему произведения сумм, состоящую из ряда элементов ИЛИ, выходы которых подключены к элементу И, как показано на Рис. 2.80.

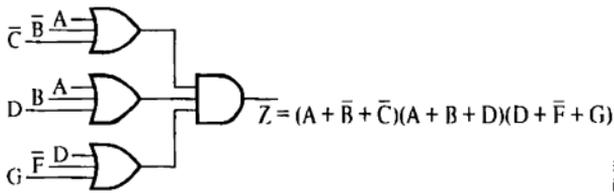


Рис. 2.80. Логическая схема произведения сумм

Последние два правила, известные как теорема Моргана, предлагают способы преобразования суммы произведений в произведение сумм, а также способ образования уравнения, обратного любому заданному уравнению:

$$18. \quad \overline{A \cdot B \cdot C \cdot \dots \cdot N} = \overline{A} + \overline{B} + \overline{C} + \dots + \overline{N}$$

$$19. \quad \overline{\overline{A} + \overline{B} + \overline{C} + \dots + \overline{N}} = A \cdot B \cdot C \cdot \dots \cdot N.$$

Записанная в таком виде теорема Моргана выглядит малоприменимой. Возможно, более легкому восприятию этой теоремы будет способствовать ее словесное выражение:

«Чтобы образовать выражение, обратное данному, нужно совершить два действия:

1. Заменить каждый знак «+» на знак «·», а каждый знак «·» на «+».
2. Сделать обратным каждый член в исходном выражении».

Например, чтобы преобразовать в обратное выражение:

$$\overline{A + B \cdot C},$$

выполним первый шаг:

$$\overline{A \cdot (B + C)},$$

а после второго шага получим выражение, обратное исходному, что можно проверить по таблицам истинности:

$$A \cdot (\overline{B} + \overline{C}).$$

Булеву алгебру применяют также для минимизации выражений, но эта процедура не является логической, а скорее зависит от интуиции. Минимизацию выражения при помощи Булевой алгебры рассмотрим на примере:

$$Z = A \cdot B \cdot C + A \cdot \overline{B} \cdot (\overline{A} \cdot \overline{C}).$$

После применения теоремы Моргана к выражению в скобках получим:

$$Z = A \cdot B \cdot C + A \cdot \overline{B} \cdot (\overline{A + C}).$$

Но  $\overline{\overline{A}} = A$  и  $\overline{\overline{C}} = C$ , следовательно:

$$\begin{aligned} Z &= A \cdot B \cdot C + A \cdot \overline{B} \cdot (A + C) = A \cdot B \cdot C + A \cdot A \cdot \overline{B} + A \cdot \overline{B} \cdot C = \\ &= A \cdot B \cdot C + A \cdot \overline{B} + A \cdot \overline{B} \cdot C. \end{aligned}$$

Но, поскольку  $A \cdot B \cdot C + A \cdot \overline{B} \cdot C = A \cdot C \cdot (B + \overline{B}) = A \cdot C$ , то в итоге получаем минимизированную формулу:

$$Z = A \cdot C + A \cdot \overline{B}.$$

## 2.42. КАРТЫ КАРНО

Карты Карно — это альтернативный способ представления таблицы истинности в виде двухмерной сетки. На Рис. 2.81 показаны карты Карно для функций с двумя, тремя и четырьмя переменными.

	A	0	1
B	/		
0			X
1			

а)

	BA	00	01	11	10
C	/				
0					
1		Y			

б)

	BA	00	01	11	10
DC	/				
00					
01					Z
11					
10					

в)

Рис. 2.81. Карты Карно: а — с двумя переменными;

б — с тремя переменными;

в — с четырьмя переменными

Каждая ячейка в карте Карно соответствует одной строке таблицы истинности. Например:

Ячейка X соответствует  $A = 1, B = 0$ , или  $A \cdot \overline{B}$

Ячейка Y соответствует  $A = 0, B = 0, C = 1$ , или  $\overline{A} \cdot \overline{B} \cdot C$

Ячейка Z соответствует  $A = 0, B = 1, C = 1, D = 0$ , или  $\overline{A} \cdot B \cdot C \cdot \overline{D}$ .

Оси карты Карно размечены таким образом, что при передвижении между соседними квадратами в горизонтальном или вертикальном направлении изменяется только одна перемен-

BA DC	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	0	1	1	0
11	0	1	1	0
10	0	0	0	0

Рис. 2.82. Упрощение функции с помощью карты Карно

ная. Например, в карте на Рис. 2.82 единицы находятся только в четырех ячейках, соответствующих следующим строкам таблицы истинности:

$$A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D}, A \cdot B \cdot C \cdot \bar{D}, A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D, A \cdot B \cdot C \cdot D.$$

В логической форме это можно выразить так:

$$Z = A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D} + A \cdot B \cdot C \cdot \bar{D} + A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D + A \cdot B \cdot C \cdot D.$$

Однако из карты видно, что изменение переменных B и D не оказывает на результат никакого влияния, следовательно, отмеченные ячейки карты фактически отражают функцию A·C, и логическое выражение упрощается до:

$$Z = A \cdot C.$$

Правила минимизации логических выражений с помощью карт Карно просты:

1. Постройте карту Карно, исходя либо из логического выражения, либо из таблицы истинности.
2. Образуйте новые группы, состоящие из единиц. Образовывать группы можно только по вертикали и горизонтали (не по диагонали!), и стремитесь к тому, чтобы этих групп было как можно больше. Группы могут частично перекрываться (совпадать) и распространяться вверх и в стороны.
3. Теперь считайте с карты новые группы и запишите их в виде суммы произведений.

Рассмотрим этот способ на примере схемы мажоритарного выбора, описанной ранее. На Рис. 2.83а представлена ее карта Карно.

С помощью правил, приведенных выше, образуем новые группы единиц (Рис. 2.83б) и упростим выражение:

$$Z = A \cdot B + A \cdot C + B \cdot C.$$

Минимизированная схема мажоритарного выбора представлена на Рис. 2.83в. Минимизация комбинационных схем с помощью карт Карно — это самый простой способ минимизации, поскольку наибольшие возможные группы единиц легко заметны.

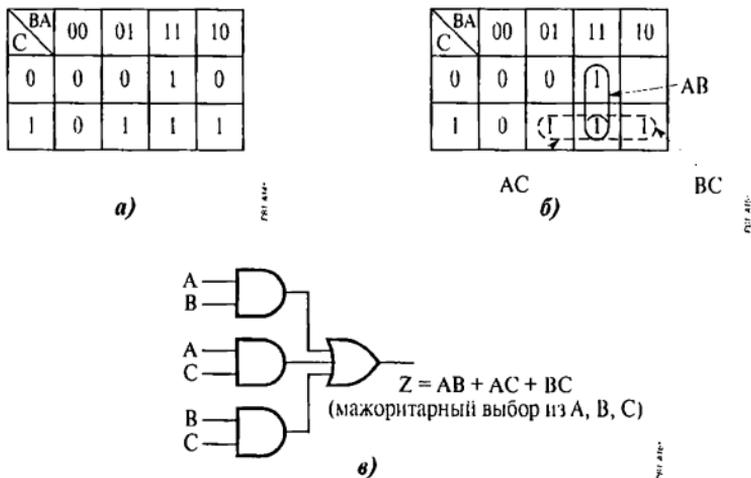


Рис. 2.83. Упрощение схемы мажоритарного выбора:

а — исходная карта Карно;

б — создание новых групп;

в — упрощенная схема

## 2.43. ТРИГГЕРЫ

### 2.43.1. RS-триггер

Часто для управляющей схемы возникает необходимость запомнить некое произошедшее событие. В схемах с реле эта функция выполняется при помощи схемы с фиксацией состояния (реле с блокировкой), показанной на Рис. 2.84а. Эквивалентная логическая запоминающая схема показана на Рис. 2.84б.

Предположим, что на обоих входах нули, а на выходе X — единица. Сигнал с выхода X поступает на второй логический элемент ИЛИ-НЕ, таким образом, на выходе Y ноль. Значит, на обоих входах первого элемента ИЛИ-НЕ нули, следовательно, на выходе X — единица, как и было изначально установлено.

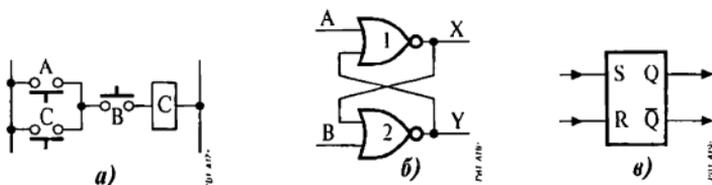


Рис. 2.84. Запоминание:

а — реле с фиксацией; б — память на RS-триггере;

в — символ памяти на RS-триггере

Если теперь на вход А поступит единица, на выходе X установится НИЗКИЙ уровень. Это, в свою очередь, приведет к тому, что на выходе Y установится ВЫСОКИЙ уровень. Выходные состояния поменяются. Если теперь на выходе А снова установится НИЗКИЙ уровень, на выходе X будет оставаться НИЗКИЙ уровень до тех пор, пока на входе В не установится единица, и тогда выходные состояния снова поменяются.

Таким образом, эта схема запоминает, какой вход последним перешел в высокое логическое состояние. Если это был вход А, то на выходе X должен быть ноль, а на выходе Y — единица. Если это был вход В, то на выходе X должна быть единица, а на выходе Y — ноль. Очевидно, что состояние, когда на оба входа поступают единицы, является запрещенным.

Схема, изображенная на Рис. 2.84б, — это наиболее простой элемент памяти, который называется RS-элемент памяти, или RS-триггер. Выходы X и Y обычно обозначаются Q и  $\bar{Q}$  (произносится «Q с чертой»). Символьное обозначение такого элемента представлено на Рис. 2.84в.

Схемы, выполняющие элементарное действие переключения между выходными состояниями, обычно называют бистабильными схемами, или триггерами, и используют для запоминания информации.

### 2.43.2. D-триггер

Следующий тип элементов памяти — это D-триггер. У такого элемента два входа, обозначаемые D и СК (для тактового сигнала); выходы обозначены, как и прежде, — Q и  $\bar{Q}$  (Рис. 2.85а).

При поступлении тактового импульса на вход СК выход Q принимает состояние входа D. На выходе  $\bar{Q}$  устанавливается противоположное состояние. Работа схемы иллюстрируется временной диаграммой, приведенной на Рис. 2.85б.

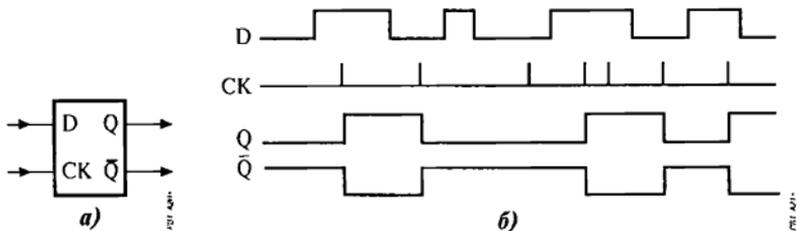


Рис. 2.85. D-триггер: а — символ; б — временная диаграмма

### 2.43.3. JK-триггер

Обычно у JK-триггера два выхода и три входа: J, K и СК (тактовый). На Рис. 2.86 показано символическое обозначение такого элемента.

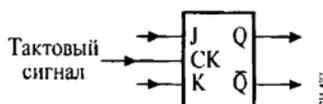


Рис. 2.86. JK-триггер

Хотя JK-триггер больше похож на RS-триггер, он, подобно D-триггеру, управляется тактовыми сигналами. При состояниях  $J = 1, K = 0$  или  $J = 0, K = 1$  или  $J = 0, K = 0$  работа этой схемы соответствует работе RS-триггера, за исключением изменений, происходящих при поступлении тактового импульса.

Тем не менее существует одно важное отличие: если при входных состояниях  $J = 1$  и  $K = 1$  поступает тактовый импульс, выходные состояния меняются, в то время как для RS-триггера состояние  $R = S = 1$  является запрещенным.

## 2.44. ТАЙМЕРЫ И СХЕМЫ С ОДНИМ УСТОЙЧИВЫМ СОСТОЯНИЕМ

Часто управляющие схемы нуждаются во временной задержке (например в клапане газовой горелки для проверки воспламенения газа на пять секунд включается воспламенитель). Обычно задержка реализуется посредством схем, называемых схемами с одним устойчивым состоянием. На Рис. 2.87 показано самое простое устройство с одним устойчивым состоянием.

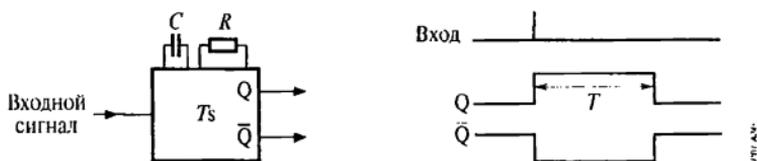


Рис. 2.87. Схема с одним устойчивым состоянием

У него один вход и уже известные нам выходы Q и Q̄. Вместе с этим в этой схеме присутствуют два элемента, определяющие период временной задержки. Обычно период задержки приблизительно равен  $0.7RC$ .

Каждый раз, когда состояние на входе изменяется с нуля на единицу, состояние на выходе Q изменяется с нуля на единицу

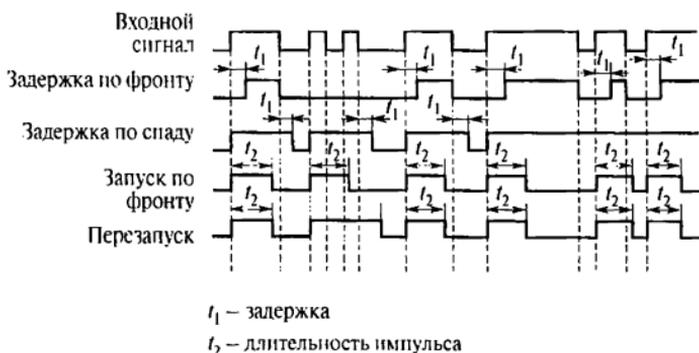


Рис. 2.88. Временные диаграммы схем с одним устойчивым состоянием (одновибраторы)

на период времени  $T$ , а затем возвращается обратно. На выходе  $Q$  происходят противоположные изменения.

Существует много различных вариантов конструкции схем с одним устойчивым состоянием. На временных диаграммах, показанных на Рис. 2.88, представлены временные диаграммы работы наиболее часто встречающихся схем.

Работа схемы задержки по переднему фронту сигнала (delay on) и схемы задержки по спаду сигнала (delay off) не вызывает вопросов. На следующей временной диаграмме представлена работа схемы, которая вырабатывает импульс фиксированной длительности по нарастающему фронту входного сигнала (edge triggered). Схема не реагирует на импульс входного сигнала, если он приходит во время прохождения выходного импульса. В отличие от этой схемы на последней временной диаграмме показана работа схемы, вырабатывающей импульс при каждом изменении на входе из НИЗКОГО состояния в ВЫСОКОЕ (retriggerable).

Период задержки схемы с одним устойчивым состоянием составляет время порядка  $RC$ , где  $R$  и  $C$  — параметры времязадающих компонентов. Следовательно, для создания задержки, превышающей 30 с, требуются высокие значения  $R$  и  $C$ . Однако существует реальное ограничение на увеличение сопротивления резистора (составляющее величину порядка 1 МОм), при превышении которого возникают проблемы, связанные с утечками. Стремление же к увеличению емкости конденсатора влечет за собой применение электролитических конденсаторов, которые занимают много места, имеют большие токи утечки и малую точность.

На Рис. 2.89 показана схема, обеспечивающая большие временные задержки (до нескольких лет!), построенная при этом на элементах с приемлемыми номиналами.

Генератор создается на основе обычной микросхемы таймера и работает на относительно высокой частоте. Он формирует

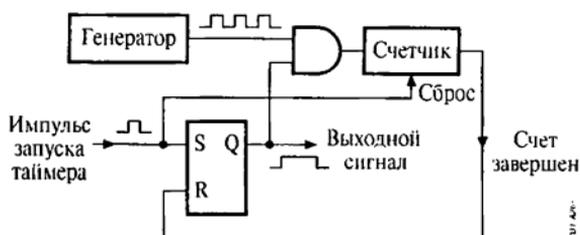


Рис. 2.89. Таймер с продолжительным временем задержки

непрерывную последовательность импульсов, которые блокируются логическим элементом И.

Для запуска таймера на вход схемы подается импульс, который устанавливает ВЫСОКИЙ уровень на выходе RS-триггера и приводит в исходное состояние счетчик. Теперь импульсы с генератора начинают поступать на счетчик, и когда его показания достигают какого-либо предварительно установленного значения, RS-триггер переключается, блокируя дальнейшее поступление импульсов на счетчик.

ВЫСОКИЙ уровень на выходе триггера сохраняется в течение времени:

$$T = NP [c],$$

где  $N$  — предварительно установленное показание счетчика, а  $P$  — период колебаний генератора (время, в точности равное одному циклу колебаний сигнала генератора).

Такая схема выпускается в виде ИС, типичный пример — ИС Ferranti ZN 1034, содержащая RC-генератор и счетчик пересчета на 4096.

## 2.45. ЛОГИКА, УПРАВЛЯЕМАЯ ПРЕДШЕСТВУЮЩИМИ СОБЫТИЯМИ

Большинство логических схем — это не комбинационные схемы в чистом виде, а схемы, наряду с логическими элементами содержащие элементы хранения и таймеры. Хотя такие системы и могут выглядеть подобно схеме, рассмотренной в предыдущем разделе, их выходные состояния определяются не только входными условиями, но также и неким событием, произошедшим ранее. Например, у простой схемы запуска/остановки двигателя, изображенной на Рис. 2.90а, два входных сигнала — от кнопок «пуск» и «стоп», и один выходной — от реле работы двигателя.

При отсутствии входных сигналов работает двигатель или нет зависит от того, какой был последний поступивший в схему



**Рис. 2.90.** Простая система, управляемая событием:  
 а — пускатель (стартер) двигателя на RS-триггере;  
 б — диаграмма состояний

входной сигнал. Системы, содержащие запоминающие элементы, часто называют схемами, управляемыми событиями, или схемами задания последовательности. Схемы, управляемые событиями, разрабатывают на основе *диаграммы состояний*. Эта диаграмма показывает все возможные условия, которые могут существовать для данной системы, определяет условия, при которых происходят изменения, и дает подробное описание выходов в каждом состоянии. Из простейшей диаграммы состояний для пускателя двигателя, показанной на **Рис. 2.90б**, видно, что схема имеет одно из двух состояний, и его изменение определяется исключительно положением кнопок. Стоит заметить, что если ни одна кнопка не нажата, система будет пребывать в каком-либо одном из двух состояний, как объяснялось ранее.

На **Рис. 2.91** показана более сложная система для управления лифтом.

У нее восемь входов: две кнопки вызова лифта на этажах, две кнопки указания этажа в кабине лифта, два ограничительных (концевых) выключателя, сигнализирующих о том, что лифт находится на этаже, концевой выключатель закрытия двери и фотоэлемент обнаружения препятствий закрытию дверей лифта; и четыре выхода: движение вверх/вниз и закрытие/открывание дверей (**Рис. 2.91а** и б). Таким образом, существует восемь возможных состояний, в которых может находиться система, например состояния 3 и 7 говорят об условии, когда имеется запрос на движение лифта, но что-то препятствует закрытию его дверей.

Самый простой способ перейти от диаграммы состояний к схеме — присписать триггер каждому состоянию. Каждый из этих триггеров должен устанавливаться, если его входные условия соответствуют данному состоянию, и сбрасываться при всех остальных состояниях. Например, на **Рис. 2.91в** показан триггер для состояния 1. Выходы триггеров присоединяются к элементам ИЛИ. Например, выходной сигнал открывания двери требуется в состояниях 1, 3, 5, 7, соответствующая схема представлена на **Рис. 2.91г**.



Диаграммы состояний часто содержат таймеры. В обоих состояниях (3 и 7) запускается таймер, который инициирует повторную попытку закрытия дверей через пять секунд. Стоит заметить, что выходной сигнал данного состояния подается в схемы, реализующие более чем одно из последующих состояний.

Обычно системы, управляемые событиями, гораздо сложнее представленной здесь, к тому же в этой схеме не учтено множество требований по безопасности, но, тем не менее, большинство таких систем могут быть преобразованы в электрические схемы при помощи диаграммы состояний. Этот метод удобен также для разработки управляемых событиями компьютеров и схем, основанных на программируемых контроллерах.

## 2.46. АРИФМЕТИЧЕСКИЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ

Люди ведут расчеты в десятичной системе счисления. Это означает, что каждый разряд в десятичном числе умножается на десять в соответствующей степени. Рассмотрим число 74057:

$7 \times 10^0 = 7 \times 1$	7
$+ 5 \times 10^1$	50
$+ 0 \times 10^2$	0
$+ 4 \times 10^3$	4000
$+ 7 \times 10^4$	70000
Итого:	74057

Несомненно, десятичная система возникла когда-то из-за того, что у нас десять пальцев. Системы счисления могут строиться на любой основе, никакой магии в числе десять нет. С большой вероятностью можно утверждать, что было бы у людей двенадцать пальцев, они производили бы расчеты в системе счисления на основе двенадцати цифр.

Для электроники и вычислительной техники особое значение имеет двоичная система счисления, т.е. система счисления на основе двух цифр. Каждый разряд двоичного числа умножается на двойку в соответствующей степени, т.е. 1, 2, 4, 8, 16, 32 и т.д. Разряд двоичного числа называется *битом*. Используя такой же подход, какой был применен к десятичному числу в начале раздела, рассмотрим двоичное число 11010:

$0 \times 2^0 = 0 \times 1$	0
$+ 1 \times 2^1$	2
$+ 0 \times 2^2$	0
$+ 1 \times 2^3$	8
$+ 1 \times 2^4$	16
Итого:	26

Таким образом, двоичное число 11010 эквивалентно десятичному числу 26.

Рассмотрим более сложный пример, 11011101:

$1 \times 2^0 = 1 \times 1$	1
$+ 0 \times 2^1$	0
$+ 1 \times 2^2$	4
$+ 1 \times 2^3$	8
$+ 1 \times 2^4$	16
$+ 0 \times 2^5$	0
$+ 1 \times 2^6$	64
$+ 1 \times 2^7$	128
Итого:	221

Таким образом, двоичное число 11011101 эквивалентно десятичному числу 221.

Любое десятичное число может быть представлено в виде двоичного эквивалента, но воспринять двоичное число человеку гораздо труднее, чем десятичное. Для цифровых схем, наоборот, двоичные числа идеальны, так как могут быть представлены в виде комбинации двух состояний, **ВЫСОКОГО** и **НИЗКОГО**.

Самый простой способ преобразовать десятичное число в двоичное — делить его на два, записывать остаток (который может быть либо 0, либо 1), целую часть частного вновь делить на два и так далее. Например, преобразуем десятичное число 23 в двоичное:

Деление	Остаток
$23/2 = 11$ (младший разряд)	1
$11/2 = 5$	1
$5/2 = 2$	1
$2/2 = 1$	0
$1/2 = 0$ (старший разряд)	1

Таким образом, десятичное число 23 эквивалентно двоичному числу 10111. Этим способом можно пользоваться для преобразования любых чисел десятичной системы.

В вычислительной технике часто приходится иметь дело с большим количеством двоичных чисел, и интерпретация каждого из них довольно затруднительна. Компромиссом между двоичной и десятичной системами счисления являются системы счисления, основанные на 16 (шестнадцатеричная) и на 8 (восьмеричная). В шестнадцатеричной системе для обозначения десятичных чисел от 10 до 15 используются буквы А, В, С, D, E, F (например, число 13 обозначается буквой D). В восьмеричной системе отсутствуют цифры 8 и 9 десятичной.

Таким образом, счетная последовательность выглядит так:

Десятичная	Шестнадцатеричная	Восьмеричная
0	0	0
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	4
5	5	5
6	6	6
7	7	7
8	8	10
9	9	11
10	A	12
11	B	13
12	C	14
13	D	15
14	E	16
15	F	17
16	10	20

и т.д.

Удобство шестнадцатеричной и восьмеричной систем заключается в простом переводе чисел из этих систем в двоичную и обратно, так как каждый разряд шестнадцатеричного числа представляется четырьмя двоичными битами, а восьмеричного — тремя. Например, число 10110101 в шестнадцатеричной системе будет выглядеть так:

$$\begin{array}{cc} 1011 & 0101 \\ \text{В} & 5 \end{array} ,$$

а в восьмеричной:

$$\begin{array}{ccc} 10 & 110 & 101 \\ 2 & 6 & 5 \end{array} .$$

Гораздо легче получить шестнадцатеричное представление (B5) и восьмеричное (265) числа 10110101, чем преобразовывать его в десятичную систему (181). Шестнадцатеричное представление широко используется в вычислительной технике.

## 2.47. ШИФРАТОРЫ И ДЕШИФРАТОРЫ

Эти приборы осуществляют преобразование чисел между десятичной и двоичной системами счисления для сопряжения систем, использующих двоичный код, с приборами, использующими десятичный код, такими, как барабанный (дисковый) переключатель и декадный (десятичный) дисплей. Шифратор преобразует десятичный входной сигнал от десяти входных линий в 4-разрядный двоичный, а дешифратор преобразует 4-разрядный двоичный входной сигнал в десятичный выходной, т.е. в десять выходных линий.

Конструкция шифраторов и дешифраторов основана на комбинационной логике. На Рис. 2.92а изображено символическое обозначение шифратора/дешифратора, а на Рис. 2.92б и в показано преобразование десятичного числа 2 в двоичную форму и числа 7 из двоичной формы в десятичную, соответственно.

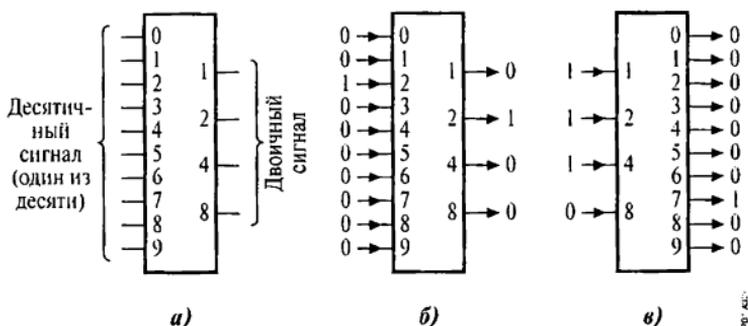


Рис. 2.92. Преобразование из десятичного кода в двоичный и обратно:  
 а — символическое обозначение шифратора/дешифратора;  
 б — преобразование числа 2 из десятичной формы в двоичную;  
 в — преобразование числа 7 из двоичной формы в десятичную

## 2.48. СЧЕТЧИКИ

Двоичный счетчик подсчитывает импульсы, поступающие на его вход. Следовательно, выходные состояния четырехразрядного счетчика будут такими:

	D	C	B	A
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

и т.д.

Очевидно, что, начиная со второго разряда, бит изменяется с нуля на единицу или с единицы на ноль каждый раз, когда предшествующий ему бит изменяется с единицы на ноль.

Если соединить D-триггеры, запускаемые отрицательным перепадом сигнала (задним фронтом), как показано на Рис. 2.93а, то такая схема будет вести себя как счетчик.

Счетчики могут быть также сконструированы на JK-триггерах, при  $J = K = 1$ .

На Рис. 2.93а показан прямой счетчик, но если связь между каскадами организовать через выходы  $\bar{Q}$ , как показано на Рис. 2.93б, а выходной сигнал по-прежнему будет сниматься с выходов Q, то счет будет производиться в обратном направлении. Такой счетчик называют обратным. Таким образом, выбрав определенный способ межкаскадной связи, можно создать реверсивный счетчик.

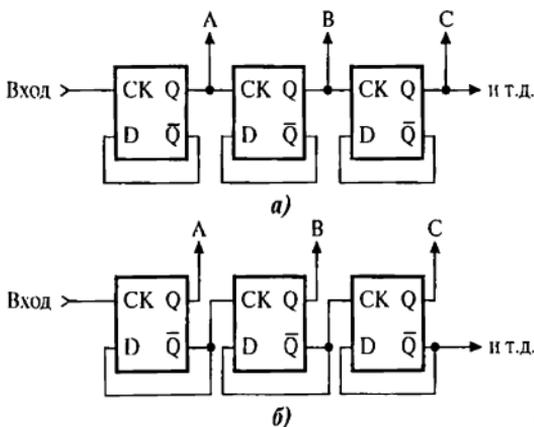


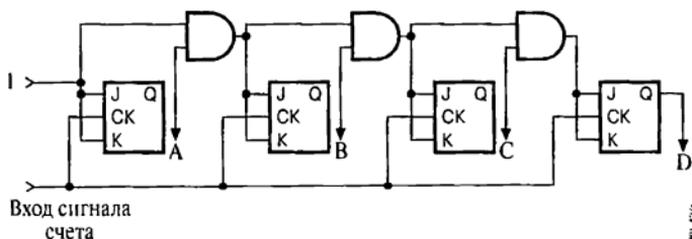
Рис. 2.93. Двоичные счетчики на D-триггерах:

а — прямой счетчик; б — обратный счетчик

## 2.49. СИНХРОННЫЕ СЧЕТЧИКИ

Счетчики, описанные в предыдущем разделе, называются *счетчиками со сквозным переносом* или *асинхронными счетчиками*, поскольку изменение состояния счетчика происходит путем сквозного переноса из самого младшего разряда, и выходные состояния счетчика изменяются не одновременно. В устройствах малого быстродействия это не имеет большого значения, но при высоком быстродействии время, затраченное на перенос, скажем, из 0111111 в 1111111, будет существенным. Кроме того, если выходные сигналы счетчика будут подвергаться дешифрации, могут возникнуть проблемы, связанные с появлением ложных состояний (выбросов, сбоев) на выходе дешифратора во время сквозного переноса в счетчике.

Схема *синхронного* счетчика, вариант которой на JK-триггерах можно видеть на **Рис. 2.94**, позволяет преодолеть эти недостатки.



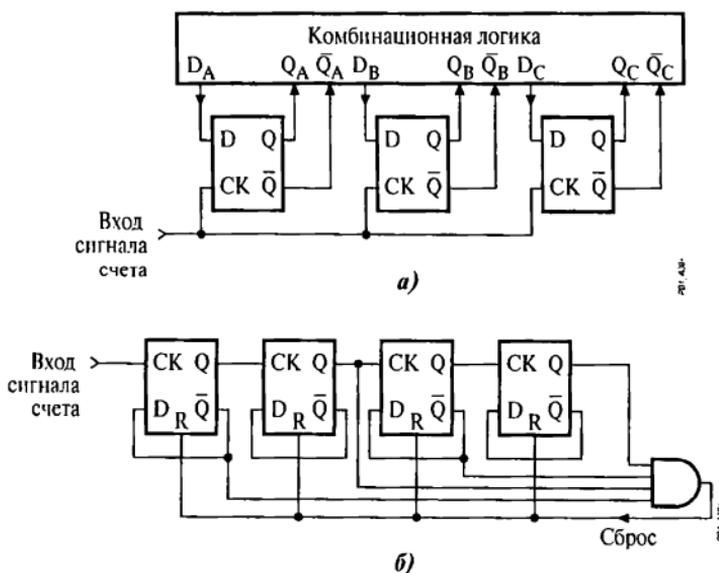
**Рис. 2.94.** Четырехразрядный синхронный счетчик

Для связи с предшествующими каскадами в ней используется комбинационная логика, а в случае, если требуется переключение из одного состояния в другое, на входах JK устанавливается 1. При такой схеме включения состояния на всех выходах счетчика изменяются одновременно, и при дешифрации сигнала счетчика не возникает проблем.

## 2.50. СЧЕТЧИКИ ДЛЯ НЕДВОИЧНЫХ СИГНАЛОВ

Часто возникает необходимость в счетчиках, производящих счет не на двоичной основе. Например двоично-десятичный счетчик не воспринимает сигналы счета для 10, 11, 12, 13, 14, 15. Такие счетчики могут быть спроектированы на основе диаграммы состояний. Логическая схема такого счетчика показана на **Рис. 2.95а**.

Сигналы с выходов Q и  $\bar{Q}$  триггеров счетчика поступают на комбинационную логическую схему, которая устанавливает соответствующие уровни на входах D-триггеров для следующего



**Рис. 2.95.** Двоичные счетчики: а — синхронный счетчик для любой счетной последовательности; б — двоично-десятичный счетчик со сквозным переносом и входами сброса

состояния счетчика. При использовании такого способа обязательно получается синхронный счетчик.

Такой способ создания счетчиков пригоден для любой, но нечетной, последовательности счета, а основой схемы послужат D- и JK-триггеры.

С другой стороны, если необходим счетчик для прерываемой последовательности двоичного счета, проще использовать принудительный сброс или установку требуемых значений для отдельных битов. На Рис. 2.95б показан двоично-десятичный счетчик, где один логический элемент определяет, когда счетчик доходит до десяти (1010), и затем принудительно сбрасывает показания счетчика.

## 2.51. АРИФМЕТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

Одним из наиболее распространенных арифметических устройств является сумматор, структура которого схематично показана на Рис. 2.96.

Сумматор построен из множества идентичных блоков, каждый из которых прибавляет один бит. Такой блок называется одноразрядным сумматором, у него три входа: два числовых входа А и В и вход сигналов переноса с предыдущего каскада, и два вы-

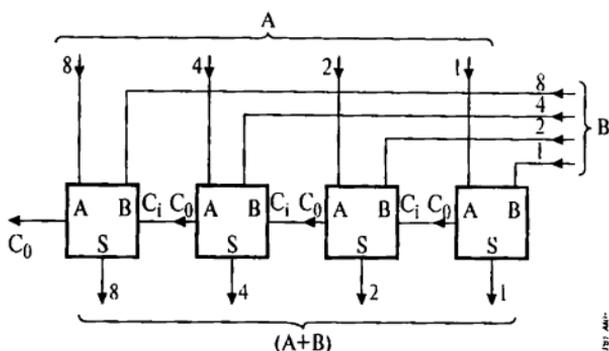


Рис. 2.96. Двоичный сумматор

хода: выход сигнала суммы битов и выход сигнала переноса для следующего каскада.

Одноразрядный сумматор легко сконструировать на основе логических элементов, а его таблица истинности выглядит следующим образом:

A	B	Вход переноса	Сумма	Выход переноса
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

Операция вычитания реализуется при помощи специализированной формы сложения. Предположим, нам нужно сложить два десятичных числа, но представлены могут быть только числа до 999. Складываем:

$$\begin{array}{r} 47 \\ 994 \\ \hline \text{Потерянная цифра} \rightarrow 041 \end{array}$$

Единица из высшего разряда, представляющего 1000, теряется, и остается число 41. Таким образом, число 994 как бы представляет собой число  $-6$  и называется дополнением 6.

Для вычитания двоичных чисел используется похожий способ, в котором вычитаемое представляется в дополнительном коде.

Образование дополнительного кода достигается инвертированием каждого бита и прибавлением 1. Чтобы образовать дополнительный код 5, например, длиной в пять разрядов, произведем следующие действия:

00101	5 в двоичной системе
11010	Инверсия
11011	Добавление 1 дает дополнительный код 5

Теперь этот дополнительный код 5 можно использовать для выполнения операции вычитания, например,  $14 - 5 = 9$ :

	0	1	1	1	0	14
	1	1	0	1	1	дополнение 5
1*	0**	1	0	0	1	9

1\* — потерянный разряд, 0\*\* — знаковый разряд.

Знак числа обычно определяется самым старшим битом; 1 обозначает, что число отрицательное, 0 — положительное.

Логично было бы предположить, что далее будут рассмотрены блоки, выполняющие операции умножения и деления. На самом деле логические блоки умножения и деления практически неизвестны, так как эти функции легче выполнять на основе компьютера. Сдвиговый регистр, рассмотренный далее, выполняет умножение в ограниченных пределах и деление на два.

## 2.52. СДВИГОВЫЙ РЕГИСТР

Сдвиговый регистр производит сдвиг двоичного числа на один разряд при каждом поступающем на вход импульсе. Существуют регистры со сдвигом влево и сдвигом вправо. При сдвиге влево (сдвиге в сторону старших разрядов) выполняется умножение на два, а при сдвиге вправо (сдвиге в сторону младших разрядов) — деление на два:

	Сдвиг влево	Сдвиг вправо
Запуск	10111011	10111011
1	01110110	01011101
2	11101100	00101110
3	11011000	00010111

Сдвиг называется логическим в случае, если битовая комбинация (двоичный код) просто сдвигается, или арифметическим, если при сдвиге сохраняется знак числа. Схема сдвигового регистра приведена на Рис. 2.97.

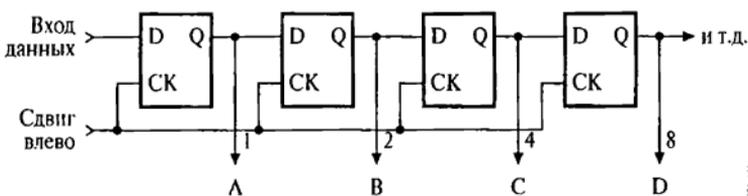


Рис. 2.97. Сдвиговый регистр на D-триггерах

## 2.53. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

При разработке логических систем необходимы внимание и аккуратность. Практические вопросы, которые нельзя упускать из виду, — это быстродействие, помехи и потребляемая мощность.

Быстродействие логических элементов определяется задержкой при распространении сигнала, т.е. временем, необходимым для того, чтобы сигнал, поступивший на вход логического устройства, оказался на его выходе. Соответствующая временная диаграмма представлена на Рис. 2.98а.

В то же время существует еще один параметр, называемый длительностью фронта (временем нарастания) и определяемый как интервал времени, за который амплитуда сигнала изменяется от 10 до 90 процентов своей максимальной величины в области фронта импульса (Рис. 2.98б).

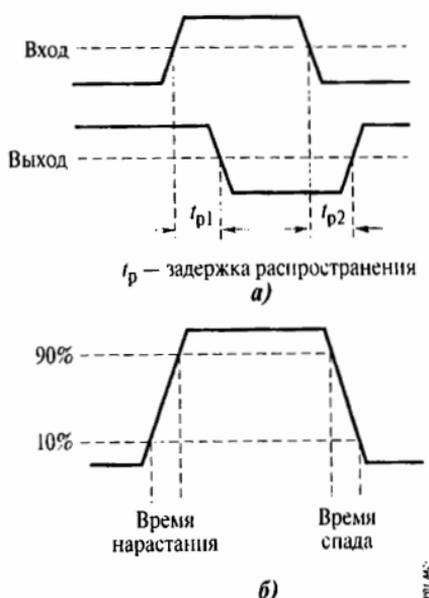


Рис. 2.98. Временные параметры логических элементов:  
 а — задержка при распространении;  
 б — время нарастания и спада импульса

Эти два параметра и определяют максимальное быстродействие, с которым может работать система. Обычные логические схемы общего пользования работают на частотах, не превышающих 5 МГц, частота логических схем с высоким быстродействием может достигать до 50 МГц.

Часто основной проблемой, особенно в промышленной электронике, являются помехи. Помехи могут привести к ложной

записи в элементы памяти, ошибочному запуску одновибраторов и ложным импульсам счёта в счётчиках. Вообще существуют четыре типа помех:

1. Помехи, воспринимаемые как входные сигналы.
2. Помехи по цепи питания, возникшие вне схемы.
3. Помехи по цепи питания, возникшие внутри схемы.
4. Перекрестные помехи и отражения.

Наводок на сигнальных входах можно избежать, если на всех входах и выходах устанавливать оптопары. Кабели должны быть экранированными, а экран кабеля, во избежание возникновения наводок, вызываемых разностью потенциалов у его концов, следует заземлять только с одного конца.

Внешние помехи, связанные с питанием, возникают из-за подключения больших нагрузок. Чтобы избавиться от таких помех, следует использовать фильтр сети питания и стабилизаторы напряжения. В крайнем случае логическая схема может питаться от аккумулятора, заряжаемого от сети.

Чаше встречаются внутренние помехи, связанные с питанием. При переключении логических элементов токи в их нагрузках меняются очень быстро, и изменение  $di/dt$  в сочетании с индуктивностью выводов питания приводит к появлению всплесков напряжения. Особенно ярко этот эффект проявляется в ТТЛ-схемах, рассматриваемых в следующем разделе. Эту проблему решают посредством разумного расположения источника питания и полной развязкой источника питания от всех остальных интегральных схем подключением конденсатора емкостью 0.01 мкФ.

Перекрестные помехи и отражения возникают по общей причине — это резкие фронты логических сигналов и линии длиной свыше нескольких сот сантиметров, которые следует рассматривать как длинные линии. В линиях длиной свыше нескольких метров для передачи сигналов следует использовать специальные линейные формирователи и приемники. Перекрестных помех можно избежать, если избавиться от длинных параллельных дорожек.

В спецификациях различных семейств логических микросхем указывается их помехоустойчивость. Попросту говоря, это такое напряжение помехи, которое может быть добавлено к напряжению логического состояния, чтобы при этом сигнал не воспринимался как сигнал противоположного состояния при наихудших условиях питания и нагрузки.

Быстродействие цифровых систем должно быть достаточно высоким, и чтобы добиться этого, в некоторых семействах логических микросхем используются малые значения внутренних сопротивлений, чтобы свести к минимуму эффекты, возникающие из-за паразитных емкостей. Это приводит к то-

му, что возникают слишком большие токи потребления. В больших логических системах огнюдь не редкость, когда при напряжении 5 В протекают токи в несколько десятков ампер. Очевидно, что при таких токах следует тщательно выбирать место расположения источника питания во избежание возникновения перепадов напряжения и применять соответствующую защиту для электропроводки, чтобы повреждения не привели к перегреву кабелей.

Не может быть соединено вместе бесконечное количество входов или выходов логических элементов; количество нагрузок для каждого выхода должно быть ограничено. Каждый элемент характеризуется *коэффициентом разветвления по выходу*, указывающим количество стандартных логических элементов, которые могут быть подключены в качестве нагрузки (обычно 10 для ТТЛ и 50 для КМОП).

Кроме того, логический элемент характеризуется *коэффициентом объединения по входу* (нагрузочной способностью по входу), который указывает, сколько входов эквивалентных логических элементов может быть соединено вместе. Большинство простых элементов имеет коэффициент объединения по входу, равный единице, но у некоторых сложных схем, например у интегральных схем микропроцессоров, коэффициент объединения по входу может составлять два или три (т.е. внутри интегральной схемы подключены два или три элемента). Чтобы схема работала правильно, сумма коэффициентов объединения по входу всех элементов, подсоединенных к выходу данного логического элемента, должна быть меньше или равна его коэффициенту разветвления по выходу.

## 2.54. ТРАНЗИСТОРНО-ТРАНЗИСТОРНАЯ ЛОГИКА (ТТЛ)

Для работы ТТЛ-схем достаточно одного источника питания напряжением 5 В.

На **Рис. 2.99а** показана схема ТТЛ-элемента, выполняющая функцию И-НЕ. Для большей наглядности заменим двухэмиттерный транзистор двумя параллельно соединенными транзисторами, как показано на **Рис. 2.99б**.

Выходной каскад из двух транзисторов называется *топемным выходным каскадом*, и его использование увеличивает быстродействие элемента. Транзистор  $TR_4$  обеспечивает низкое выходное сопротивление схемы, тогда как транзистор  $TR_3$  работает как эмиттерный повторитель. Логическим состояниям соответствуют четко определенные значения напряжений: 3.5 В для ВЫСОКОГО уровня и 0 В для НИЗКОГО уровня, а благодаря низкому выходному сопротивлению в обоих состояниях обеспе-

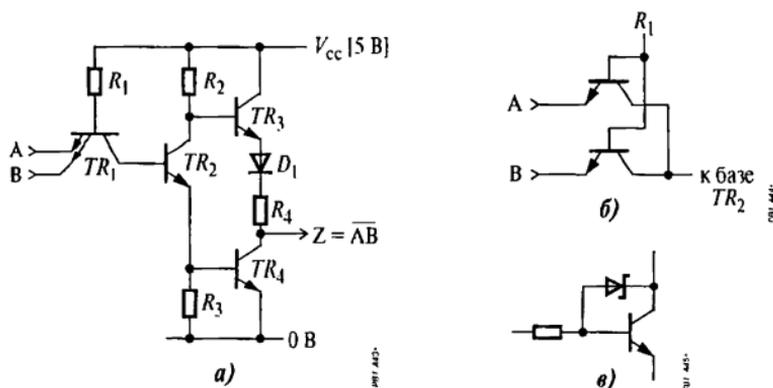


Рис. 2.99. Транзисторно-транзисторная логика:  
 а — схема элемента ТТЛ;  
 б — транзисторная схема, аналогичная двухэмиттерному транзистору;  
 в — добавление диода Шоттки для предотвращения насыщения

чивается относительная независимость скорости нарастания и спада импульса от нагрузки.

Однако выходной двухтранзисторный каскад создает ряд проблем. При изменении состояния на выходе на короткое время открываются оба транзистора. Это вызывает короткий сильный импульс тока от источника питания. Величина импульса может доходить до 100 мА, что может служить источником помех. Поэтому часто прибегают к развязке схемы от шины питания при помощи конденсатора емкостью 0.01 мкФ.

В ТТЛ-схемах транзисторы работают в режиме насыщения, из-за чего возникает проблема, связанная с явлением, которое называют *накоплением заряда*. Оно приводит к тому, что задержка при переключении транзистора, находящегося в режиме насыщения, составляет несколько наносекунд. Эффект накопления заряда можно преодолеть введением в схему диода Шоттки, как показано на Рис. 2.99в, который препятствует насыщению транзистора.

По быстродействию и потребляемой мощности различают три типа ТТЛ-схем, и при проектировании всегда нужно стремиться к компромиссу между параметрами этих схем (Табл. 2.2).

Таблица 2.2. Типы ТТЛ-схем

Типы ТТЛ-схем	Суффикс	Задержка [нс]	Мощность [мВт]
Стандартные	—	10	10
С диодом Шоттки	S	3	19
Маломощные, с диодом Шоттки	LS	9.5	2

Другие, реже встречающиеся, разновидности ТТЛ-схем — это *ТТЛ с высоким быстродействием* (сейчас практически не встречаются, поскольку их быстродействие ниже, чем у ТТЛ с диодом Шоттки), *маломощные и с дополнительными диодами Шоттки*.

Практически повсеместно используется классификация ТТЛ-схем, введенная фирмой «Texas Instruments» для серии 74, где микросхема обозначается следующим образом: «74суффиксNNN», где NNN описывает функцию ИС, например, 74LS123.

Ранее ТТЛ были наиболее распространенным классом логических схем, но для них требуются достаточно дорогие и сильноточные источники питания напряжением 5 В, и со временем более популярными стали логические КМОП-схемы.

## 2.55. ЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ НА КМОП-ТРАНЗИСТОРАХ

КМОП-схемы (интегральные схемы на комплементарных МОП-транзисторах) — это семейство логических схем с почти идеальными характеристиками. Для них не требуются специальные источники питания, они могут работать от одной шины питания в диапазоне напряжений от 3 до 15 В. При низком быстродействии они потребляют малую мощность (типичное значение: 0.01 мВт на один логический элемент), но для большинства случаев применения их быстродействие достаточно, хотя и не столь велико, как быстродействие ТТЛ-элементов серии S. Логические КМОП-элементы обладают высоким входным сопротивлением, и это обеспечивает очень высокий коэффициент разветвления по выходу, типичное значение которого равно 50 (для сравнения, этот параметр у ТТЛ равен 10).

Основными элементами КМОП-схем являются описанные ранее *n*- и *p*-канальные МОП-транзисторы. Они могут рассматриваться как идеальный переключатель, последовательно соединенный с резистором (Рис. 2.100а), и конструирование логических элементов на такой основе не представляет затруднений.

Схемы инвертора, элементов И-НЕ и ИЛИ-НЕ представлены на Рис. 2.100б, в и г. Вход КМОП-элемента — это просто затвор полевого транзистора, и поэтому элемент имеет очень высокое входное сопротивление, что в ранних конструкциях приводило к повреждению микросхемы из-за большого статического заряда, накапливавшегося на затворе. Современные КМОП-устройства лучше защищены и могут обрабатываться почти как любой другой компонент. Тем не менее обычно с КМОП-схемами работают на заземленной поверхности и используют заземленные браслеты для снятия электростатического заряда при установке или удалении КМОП-микросхем.

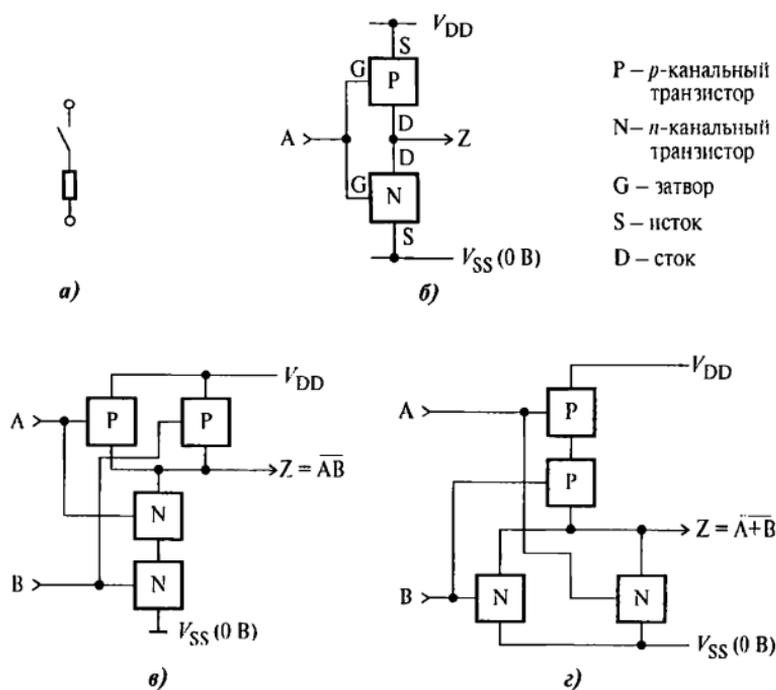


Рис. 2.100. Логические схемы на КМОП-транзисторах:  
 а — эквивалентная схема комплементарной пары;  
 б — КМОП-инвертор; в — КМОП-элемент И-НЕ;  
 з — КМОП-элемент ИЛИ-НЕ

Несмотря на то что потребляемая мощность КМОП-элементов достаточно мала, она возрастает при увеличении быстродействия за счет перезарядки паразитной емкости. При частоте переключения около 1 МГц потребляемая мощность КМОП-элементов и ТТЛ-элементов семейства LS приблизительно одинакова. Однако какова бы ни была система, все элементы в ней не могут переключаться с одинаковым быстродействием, и быстродействие КМОП-схем составляет примерно от одной десятой до одной четвертой быстродействия ТТЛ-схем.

Основной серией КМОП ИС является серия 4000, сочетающая лучшие интегральные схемы из серий RCA COSMOS (комплементарные симметричные МОП ИС фирмы RCA) и Motorola CMOS. Микросхемы этой серии обозначаются так: 4NNNсуффикс (например, 4002В), где суффикс обозначает схему с буферными (В) или без буферных (А) элементов. Для современных разработок лучше использовать микросхемы с буферными элементами. Также существует серия 74С, которая совместима по выводам (но не по электрическим характеристикам) с 74-й серией ТТЛ.

КМОП-элементы хорошо подходят для конструирования сложных интегральных схем с высокой плотностью компоновки. Большинство микропроцессоров и их вспомогательных схем, таких, как память, созданы на основе КМОП-технологии.

## 2.56. ЭМИТТЕРНО-СВЯЗАННАЯ ЛОГИКА (ЭСЛ)

Достоинство эмиттерно-связанной логики в том, что это наиболее быстродействующее семейство логических схем из всех существующих, задержка на распространение сигнала составляет менее 1 нс, а рабочая частота может достигать 500 МГц. Двумя основными факторами, ограничивающими быстродействие всех цифровых схем, являются накопление заряда и паразитная емкость. Первая проблема для ЭСЛ-схем решается посредством использования транзисторов в ненасыщенном режиме, а вторая — благодаря малым сопротивлениям. Платой за такое решение является высокая потребляемая мощность, обычно свыше 30 мВт на элемент.

На Рис. 2.101а приведена ЭСЛ-схема логического элемента ИЛИ/ИЛИ-НЕ.

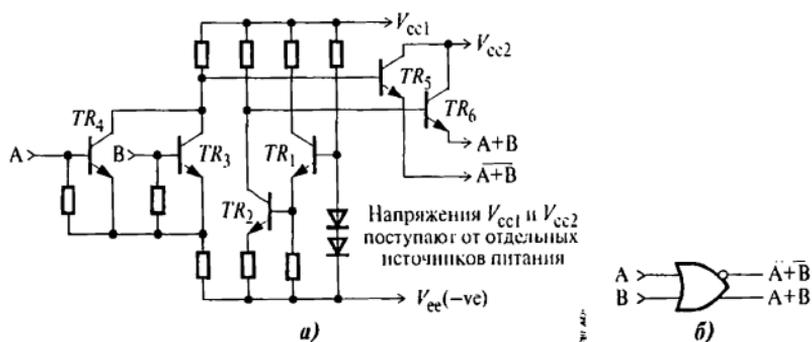


Рис. 2.101. Эмиттерно-связанная логика: а — принципиальная схема; б — символьное обозначение логического элемента

Символ этого логического элемента представлен на Рис. 2.101б. Схема напоминает дифференциальный усилитель постоянного тока, где напряжения на входах А и В сравниваются с опорным напряжением на базе транзистора  $TR_2$ . Для обеспечения высокой нагрузочной способности схемы в качестве выходного каскада используется эмиттерный повторитель.

Эмиттерно-связанная логика непроста в применении. Перепад логических уровней в такой схеме невелик и не ярко выражен:  $-0.8$  В и  $-1.6$  В, поэтому ее помехоустойчивость

весьма низкая. Для питания такой схемы необходимы три стабилизированных сильноточных источника или шины питания. Однако наибольшая трудность заключается как раз в быстрой работе. Из-за слишком резких фронтов сигнала соединительные линии необходимо рассматривать как длинные линии, что требует особого внимания при проектировании разводки и расположении элементов схемы. К тому же ЭСЛ-схемы нельзя располагать рядом, а в случае такой необходимости следует использовать многослойные печатные платы.

## 2.57. ЦИФРО-АНАЛОГОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ (ЦАП)

Восьмиразрядное двоичное число можно представить десятичным числом в интервале значений от 0 до 255. Также его можно представить напряжением в диапазоне от 0 до 2.55 В, если представлять каждый бит, скажем, напряжением 10 мВ. Разумеется, может быть принят любой другой масштаб преобразования.

Прибор, преобразующий цифровые данные в аналоговое напряжение, называется цифро-аналоговым преобразователем. На Рис. 2.102 показаны два основных типа цифро-аналоговых преобразователей.

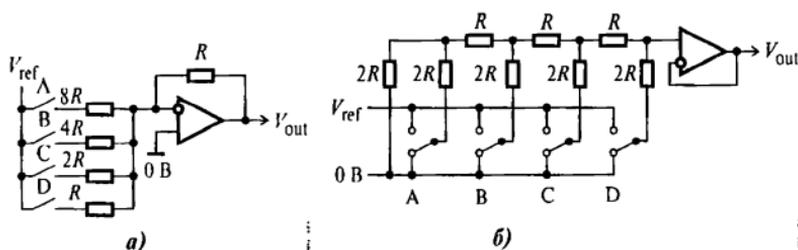


Рис. 2.102. Цифро-аналоговые преобразователи:

а — суммирующий операционный усилитель;

б — многозвенная цепочка (резистивная матрица)  $R-2R$

Цифро-аналоговый преобразователь первого типа (Рис. 2.102а) преобразует цифровой сигнал, включая резисторы с различными сопротивлениями между входом операционного усилителя и источником фиксированного опорного напряжения. Например, если замкнуты переключатели D и B, то выходное напряжение будет составлять  $1.25V_{ref}$ , где  $V_{ref}$  — опорное напряжение.

Цифро-аналоговый преобразователь второго типа (Рис. 2.102б) более пригоден для создания в виде интегральной схемы, поскольку в нем используются резисторы только двух номиналов, независимо от количества разрядов (числа). По очевидным причинам, эта схема называется резистивной матрицей  $R-2R$ .

В качестве переключателей в обеих схемах используются передаточные логические КМОП-элементы. Цифро-аналоговые преобразователи широко представлены в виде ИС; типичные ИС ЦАП имеют разрядность 12 бит (с точностью до  $1/4096$ ).

## 2.58. АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ (АЦП)

Аналого-цифровой преобразователь выполняет преобразование аналогового напряжения в эквивалентную ему цифровую форму, пригодную для использования компьютером или логической системой. Существует множество различных типов АЦП, но большинство из них работает по принципу сравнения напряжения входного сигнала с выходным сигналом цифро-аналогового преобразователя, подключенного в нагрузку к логической схеме.

Схема, представленная на Рис. 2.103, называется интегрирующим аналого-цифровым преобразователем и представляет собой одну из самых медленных, но в то же время и самых простых схем АЦП.

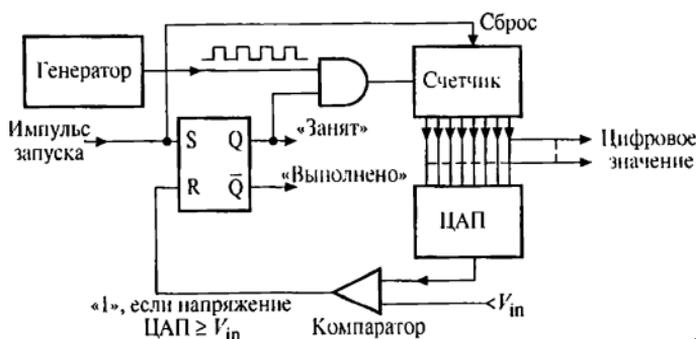


Рис. 2.103. Интегрирующий аналого-цифровой преобразователь

К цифро-аналоговому преобразователю подключается двоичный счетчик. Как только счетчик начинает отсчет от нуля, на выходе цифро-аналогового преобразователя возникает пилообразный сигнал (с последовательным заполнением всех разрядов единицами). Напряжение этого сигнала сравнивается с входным напряжением, и при достижении их равенства счет

останавливается. Таким образом, показание счетчика является цифровым представлением входного напряжения. **ВЫСОКИЙ** уровень на выходе Q триггера указывает, что «аналогово-цифровой преобразователь занят», а на выходе  $\bar{Q}$  — что «счет завершен».

Очевидно, что аналого-цифровые преобразователи чаще всего изготавливают в виде интегральных схем. Типичные АЦП имеют разрядность 12 бит (с точностью до 1/4096).

В более совершенных схемах время преобразования составляет несколько микросекунд. Для преобразования телевизионного изображения в цифровую форму, воспринимаемую устройствами перевода из одних телевизионных стандартов в другие и устройствами создания специальных видеоэффектов, используются самые быстродействующие аналого-цифровые преобразователи, называемые параллельными АЦП.

## 2.59. ОПТОЭЛЕКТРОНИКА

Свет — это явление электромагнитной природы, обнаруживающее многие свойства высокочастотных колебаний. Видимый свет занимает часть спектра электромагнитного излучения и охватывает диапазон длин волн от 0.4 мкм (фиолетовый) до 0.8 мкм (красный), или 400...800 нм. Оптоэлектронные приборы охватывают диапазон длин волн гораздо шире этого, от ультрафиолетового до инфракрасного излучения. Соответствующие части спектра электромагнитного излучения представлены на **Рис. 2.104**.



**Рис. 2.104.** Спектр электромагнитного излучения

Из-за близкого сходства между оптикой и электроникой неудивительно, что в последнее время все сильнее развивается такая комплексная область, как оптоэлектроника. Оптоэлектронные приборы делятся на три категории:

- 1) Приборы, которые реагируют на свет (датчики, сенсоры).
- 2) Приборы, излучающие свет (излучатели).
- 3) Приборы, принцип действия которых основан на использовании света.

## 2.60. ДАТЧИКИ (СЕНСОРЫ)

### 2.60.1. Фоторезистивный элемент (фоторезистор)

Самым простым светочувствительным элементом является фоторезистор, типичный пример — ОРР12. Поглощенный свет вызывает генерацию электронно-дырочной пары в материале фоторезистора, вследствие чего его сопротивление уменьшается.

Сопротивление типичного фоторезистора составляет около 2 МОм в темноте (темновое сопротивление) и 100 Ом в освещенной комнате. Как видно, сопротивление изменяется приблизительно в 10000 раз, что позволяет использовать очень простые схемы. На Рис. 2.105 представлена схема управляемого светом реле.

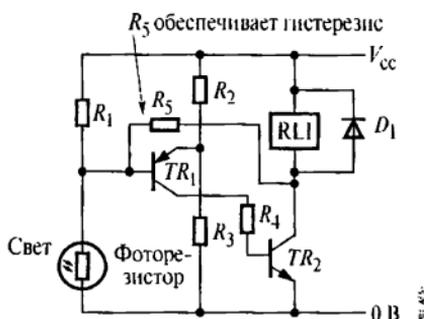


Рис. 2.105. Управляемое светом реле на фоторезисторе

Максимальный отклик у фоторезистора наблюдается при облучении его светом с длиной волны около 600 нм, т.е. возле красной границы спектра. Длина волны максимального отклика обусловлена выбором полупроводника.

Быстродействие фоторезисторов достаточно мало. Реакция фоторезистора на ступенчатое изменение интенсивности света наступает только через несколько миллисекунд. Кроме того, характеристики фоторезисторов нелинейны и зависят от температуры. Следовательно, более всего фоторезисторы подходят для светочувствительных схем включения/выключения (релейных схем).

### 2.60.2. Фотогальванический элемент

Фотогальванический элемент представляет собой  $p-n$ -переход особого типа, на выводах которого возникает напряжение при его облучении ярким светом. Мощность, вырабатываемая одним фотоэлементом, невысока: при облучении солнечным светом фотоэлемент генерирует ток от 20 до 100 мА при напряжении 0,4 В.

В режиме холостого хода между напряжением и интенсивностью падающего света существует логарифмическая связь, что удобно для применения элемента в качестве фотометра. При коротком замыкании ток линейно зависит от интенсивности падающего света, этот режим также используется в некоторых моделях фотометров.

Фотогальванические элементы достаточно дороги, поэтому их применение ограничивается специальными областями. За исключением полностью автономных схем, для которых требуется безаккумуляторное питание, на практике используются более рентабельные фотодиоды или фототранзисторы.

### 2.60.3. Фотодиод

Работа фотодиода основана на свойствах обратносмещенного  $p-n$ -перехода. В темноте в подключенном приборе проткает исключительно темновой ток, обусловленный неосновными носителями. При освещении в  $p-n$ -переходе начинается генерация электронно-дырочных пар, и ток возрастает.

Изменения характеристики у фотодиода не столь заметны, как у фоторезистора. Ток фотодиода изменяется от 10 мкА (темновой ток) до 100 мкА при ярком свете. Фотодиод — это слаботочный прибор с высоким сопротивлением, и для него требуется более сложная схема усиления, чем для фоторезистора. На Рис. 2.106 представлена типовая схема на фотодиоде, где в качестве буферного усилителя используется операционный усилитель.

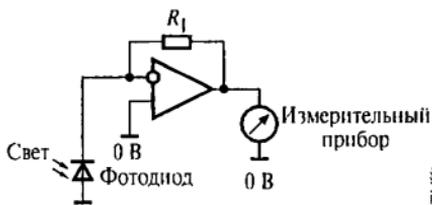


Рис. 2.106. Фотодиод и усилитель

Характеристика фотодиода относительно линейна, что даст возможность использовать его в качестве фотометра. Однако основное преимущество фотодиода в его быстродействии. Инерционность фотодиода составляет около 200 нс, следовательно, его возможно включать в схемы с высоким быстродействием. Фотодиоды широко используются в быстродействующих устройствах считывания с ленты и в оптронах.

### 2.60.4. Фототранзистор

Фототранзистор можно рассматривать как сочетание транзистора и фотодиода (Рис. 2.107).

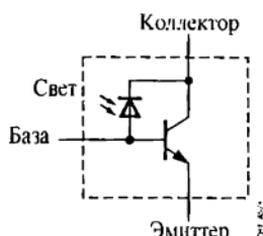


Рис. 2.107. Фототранзистор

Фотодиод заменяет обычный резистор смещения в цепи базы, и на базу транзистора поступает начальный ток, который зависит от освещенности. Этот ток усиливается в рабочем режиме транзистора. К сожалению, темновой ток диода также усиливается, следовательно, темновой ток фототранзистора сравнительно велик.

Типичное значение темнового тока фототранзистора составляет несколько микроампер. При освещении прибора ток возрастает до нескольких миллиампер. Быстродействие фототранзисторов выше, чем у фоторезисторов, но оно не так велико, как у фотодиодов, поэтому использовать фототранзисторы можно только на частотах до 100 кГц. Некоторая нелинейность характеристики ограничивает применение фототранзисторов в светочувствительных схемах включения/выключения.

### 2.60.5. Другие приборы

Теоретически любой полупроводниковый прибор может быть превращен в светочувствительный датчик, и на самом деле, существуют полевые фототранзисторы, фотопара Дарлингтона, фототиристоры и пр., но применяют их крайне редко.

Представляет интерес современная конструкция, состоящая из фотодиода и интегрального усилителя, заключенных в небольшой корпус. Для такой схемы требуются только два внешних компонента  $R_1$  и  $C_1$ , определяющие чувствительность устройства (Рис. 2.108).

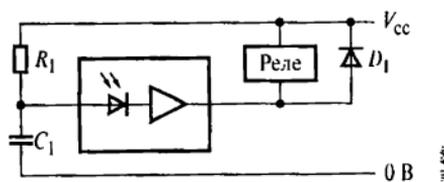


Рис. 2.108. Интегральный фотозлемент

Такая схема с большим успехом может применяться в светочувствительных устройствах включения/выключения, она обладает высоким быстродействием и недорого стоит.

### 2.60.6. Сравнительные характеристики светочувствительных приборов

Таблица 2.3. Сравнение характеристик четырех типов светочувствительных датчиков

Тип	Преимущества	Недостатки
Фоторезистор	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Дешевый</li> <li>2. Значительные изменения проводимости</li> <li>3. Простые схемы</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Чувствительный к температуре</li> <li>2. Крупногабаритный</li> <li>3. Очень низкое быстродействие</li> <li>4. Нелинейность</li> </ol>
Фотогальванический элемент	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Линейная или логарифмическая характеристика в зависимости от режима</li> <li>2. Не требуется внешний источник питания</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Дорогой</li> <li>2. Низкое быстродействие</li> </ol>
Фотодиод	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Линейная характеристика</li> <li>2. Очень высокое быстродействие</li> <li>3. Малый размер, может быть использован в мультисенсорных устройствах (например устройствах считывания с ленты)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Малое изменение проводимости</li> <li>2. Низкий уровень выходного сигнала</li> </ol>
Фототранзистор	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Может быть подключен непосредственно к небольшой нагрузке</li> <li>2. Высокое быстродействие</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Нелинейная характеристика</li> <li>2. Чувствительный к температуре</li> </ol>

## 2.61. СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИЕ ДИОДЫ (СВЕТОДИОДЫ)

По сути светодиод — это  $p-n$ -переход, излучающий свет при прямом смещении. Природа излучения света светодиодом сравнительно сложна для объяснения. В принципе, это образование квантов света при рекомбинации электронно-дырочных пар в  $p-n$ -переходе. К счастью, для того чтобы пользоваться светодиодами, не обязательно детально знать принцип их действия.

По своим электрическим характеристикам светодиод похож на обычный полупроводниковый диод, сопротивление которого мало в прямом направлении и велико в обратном. Единственным и главным различием является высокое напряжение отпирания, около 2 В, и низкое значение максимального обратного напряжения, около 5 В.

Светодиод — это прибор, управляемый током, следовательно, последовательно с ним всегда следует включать резистор или же подключать его к стабилизированному источнику тока. Для большинства применений требуемый ток лежит в пределах от 5 до 30 мА. Поскольку чувствительность человеческого глаза к свету имеет логарифмический характер, свет, генерируемый светодиодом, воспринимается нами почти как постоянный при изменении тока после того, как интенсивность излучения светодиода достигнет приемлемого уровня. Сопротивление последовательного резистора  $R$  в схеме, приведенной на Рис. 2.109а, определяется формулой:

$$R = \frac{V - V_f}{I},$$

где  $V_f$  — напряжение отпирания светодиода, а  $I$  — требуемый ток.

Значения этих параметров могут быть получены из спецификации на прибор.



Рис. 2.109. Подключение светодиодов: а — к источнику постоянного тока; б — к источнику переменного тока

Низкое значение максимального входного напряжения создает ряд проблем при конструировании схем. Если светодиод должен быть подключен к источнику питания переменного тока, его следует защитить, включив в схему обратносмещенный диод, как показано на Рис. 2.109б. Поскольку светодиод будет работать лишь в течение полупериода, потребуется больший ток.

Светодиоды являются практически идеальными индикаторными лампами. Они очень практичны и не нагреваются. В отличие от обычных ламп накаливания, они невосприимчивы к ударам и вибрациям, имеют длительный период эксплуатации и при включении не создают бросок тока. Светодиоды могут излучать свет самых различных цветов, но легче всего изготовить красные, желтые и зеленые, чем с успехом и пользуются, например, при конструировании моделей железных дорог. Для использования в оптопарах существуют специальные светодиоды, работающие в инфракрасной части спектра.

## 2.62. ИНЖЕКЦИОННЫЙ ЛАЗЕР

Твердотельный лазерный диод на основе  $p$ - $n$ -перехода, или *инжекционный лазер* (оптический инжекционный квантовый генератор), сильно напоминает обычный диод на  $p$ - $n$ -переходе и светодиод, за исключением того, что материал гетероперехода, образующий  $p$ - $n$ -переход, заключен между слоями AlGaAs, которые служат в качестве внутренних резонаторных отражателей (Рис. 2.110).

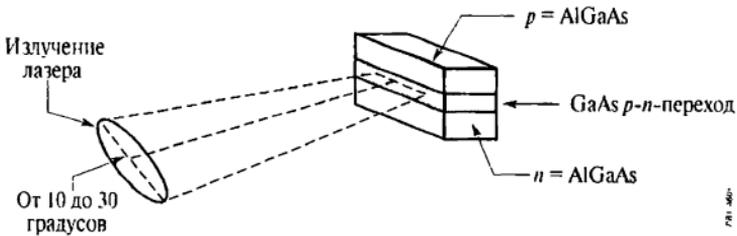


Рис. 2.110. Лазерный диод

Инверсия заселенности энергетических уровней, необходимая для работы лазера, возникает, когда дырки из  $p$ -области и электроны из  $n$ -области начинают проникать под воздействием приложенного электрического поля в область перехода (см. раздел 2.66). Таким образом, зона проводимости становится верхним энергетическим уровнем лазера, а валентная зона становится нижним энергетическим уровнем.

Наиболее распространенные недорогие лазерные диоды состоят из арсенида галлия, GaAs, заключенного между слоями AlGaAs; длина волны вырабатываемого ими лазерного излучения лежит в пределах от 760 до 905 нм, в зависимости от размеров областей диода и того, используется двойная или одинарная гетероструктура. В лазерных диодах могут использоваться и другие материалы, например InGaAsP; такие диоды излучают свет с длиной волны в диапазоне от 1200 до 1550 нм.

Оба типа инжекционных лазеров могут генерировать лазерное излучение при комнатной температуре, но это излучение будет маломощным и низкоэффективным (с низким КПД). Например, один лазерный диод на AlGaAs при комнатной температуре генерирует непрерывное лазерное излучение мощностью 0.02 Вт (20 мВт) и имеет КПД 7%. При охлаждении можно добиться гигантского увеличения и мощности, и КПД (световой эффективности) лазерного излучения. Например, КПД GaAs-лазерного диода, охлажденного до  $-253^{\circ}\text{C}$ , составляет не менее 50%. В импульсном режиме самый распространенный из доступных лазерных диодов может генерировать лазерное излуче-

ние мощностью от 3 до 10 Вт, потребляя при этом ток около 10 А от источника питания постоянного тока. Неохлаждаемые GaAs-лазеры генерируют излучение от 3 до 5 мВт в одних конфигурациях, и до 500 мВт — в других.

При малых токах лазерные диоды работают подобно всем остальным диодам, а при повышении тока они начинают излучать некогерентное излучение в широком спектре длин волн, подобно обычным светодиодам. Если превышен некий пороговый ток  $I_{th}$ , лазерный диод начинает генерировать лазерное излучение, т.е. испускать когерентный свет. Из-за очень малой площади кристалла лазерного диода (обычно несколько квадратных миллиметров) возможные значения плотности порогового тока составляют 1000 или более ампер на квадратный сантиметр ( $1000 \text{ А/см}^2$ ), даже при умеренных значениях среднего прямого тока.

### 2.63. ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ

Обычные лампы накаливания почти повсеместно вытеснены с индикаторных панелей светодиодами. Но несмотря на это, если требуется свет высокой интенсивности, разработчику придется воспользоваться лампой накаливания, так как интенсивность света, излучаемого лампами накаливания, намного выше, чем интенсивность излучения светодиодов.

Срок службы лампы накаливания ограничивается несколькими тысячами часов, но он может быть увеличен несколькими способами. Первый и очевидный способ — работа лампы не на полную мощность. Срок службы лампы, работающей с мощностью на 10—20% ниже номинальной, увеличивается вдвое.

Сопротивление холодной нити лампы накаливания существенно ниже сопротивления горячей нити. Из-за этого при включении имеет место значительный бросок тока, который может привести к обрыву нити и вызвать помехи в остальной части схемы. Этот бросок тока может быть уменьшен, если постоянно поддерживать небольшой «предупредительный ток», который будет протекать через нить накаливания в выключенном состоянии, чтобы лампа не выключалась совсем, а слабо мерцала. От-

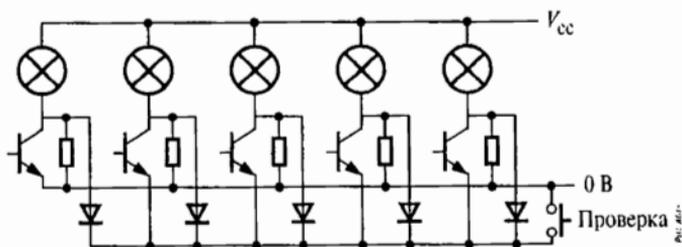


Рис. 2.111. Схема индикатора на лампах накаливания

существование броска тока значительно увеличивает срок службы лампы. На Рис. 2.111 представлена типичная схема индикаторной панели с резисторами для поддержания «предупредительного тока» и переключателем проверки ламп.

## 2.64. НЕОНОВЫЕ ЛАМПЫ

Неоновая лампа — это газоразрядный прибор, подходящий для использования в схемах с относительно высоким напряжением. Некогда используемые повсеместно, теперь неоновые лампы применяются в основном для индикации включения питания от сети. Это прибор, управляемый током, и подобно светодиоду, последовательно с неоновой лампой нужно включать резистор. Сопротивление этого резистора можно вычислить с помощью уравнения, приведенного ранее для светодиодов. Типичные значения напряжения  $V_f$  находятся в пределах 100 В.

## 2.65. ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ДИСПЛЕИ

Жидкокристаллические дисплеи — это приборы, уникальные в том смысле, что для их работы требуется минимальная мощность, благодаря чему они очень часто используются в приборах с аккумуляторным питанием, таких как калькуляторы и часы с цифровой индикацией.

Само существование жидкокристаллических индикаторов (ЖКИ) возможно благодаря материалам, у которых структура, подобная кристаллической, сохраняется даже в жидкой фазе. Как правило, такие материалы прозрачны, но под воздействием электрического поля между молекулами и свободными ионами внутри этого материала возникают сложные взаимодействия, которые приводят к появлению турбулентности в кристалле. Материал при этом становится мутного молочного цвета.

Самая простая ячейка жидкокристаллического индикатора состоит из двух стеклянных пластин с нанесенной металлической пленкой, разделенных изоляционными прокладками. Промежуток между пластинами заполнен жидкокристаллическим веществом, как показано на Рис. 2.112.



Рис. 2.112. Ячейка жидкокристаллического индикатора

При возникновении разности потенциалов между пластинами ячейка становится темной (непрозрачной). На Рис. 2.113а и б показаны два режима работы ячейки дисплея.

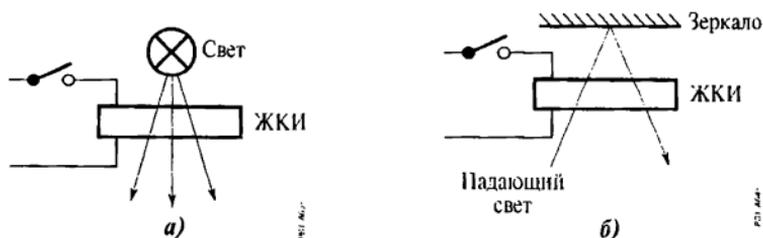


Рис. 2.113. Режимы работы жидкокристаллического дисплея:  
 а — ЖКИ, работающий на пропускание;  
 б — ЖКИ, работающий на отражение

Для жидкокристаллического индикатора, работающего на пропускание, требуется встроенный источник света, а для ЖКИ, работающего на отражение, — внешнее освещение (падающий свет).

Очевидно, что отражательный режим ЖКИ может использоваться только при хорошем внешнем освещении, но, тем не менее, из-за чрезвычайно малых потребляемых токов (обычно около 1 мкА) ЖКИ, работающие в отражательном режиме, практически не имеют альтернативы для применения в схемах с аккумуляторным питанием. Напряжение питания ЖКИ лежит в пределах нескольких вольт, поэтому целесообразность их применения вместе с маломощными КМОП-элементами не вызывает сомнений. ЖКИ питаются от источников постоянного тока, и срок их службы уменьшается из-за поляризационных эффектов. Эту проблему можно преодолеть, если подключить сегменты ячейки и объединительную плату к генератору прямоугольных импульсов. Самая распространенная схема такого включения ЖКИ представлена на Рис. 2.114.

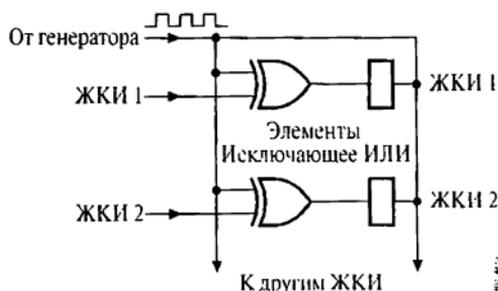
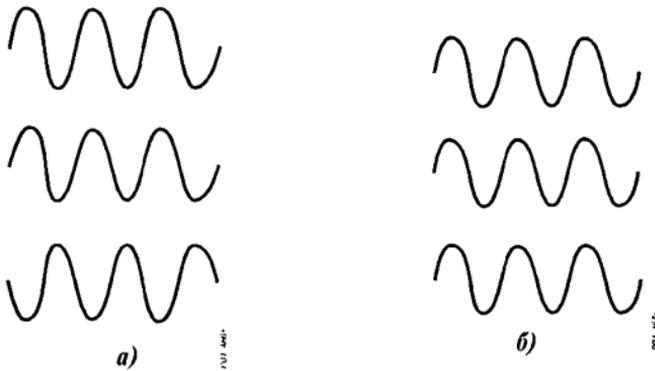


Рис. 2.114. ЖКИ, работающий от источника питания переменного тока.

## 2.66. ЛАЗЕРЫ

Излучение лазеров отличается от обычного света по двум основным принципам. Во-первых, излучение лазера абсолютно монохроматично, т.е. состоит из света только одной частоты. Во-вторых, оно когерентно. Этот термин требует некоторого пояснения.

Свет имеет волновую природу, поскольку является формой электромагнитного излучения. Фазы волн, образующих световое излучение от обычных источников, беспорядочны, и, таким образом, даже если этот свет монохроматический, имеет место некая взаимная компенсация (Рис. 2.115а).



**Рис. 2.115.** Когерентный и некогерентный свет:

*а — некогерентный свет одной частоты.*

*Различные составляющие не совпадают по фазе, что приводит к частичному взаимному подавлению;*

*б — когерентный свет. Фазы всех составляющих совпадают, усиливая друг друга*

Фазы всех составляющих светового излучения лазера в точности совпадают (Рис. 2.115б), следовательно, вместо подавления происходит усиление. Если атом поглощает энергию, скажем, в результате нагревания вещества, электроны переходят на орбиты большего радиуса. Следовательно, атом переходит в возбужденное состояние. Со временем электроны возвращаются на меньшие орбиты, высвобождая энергию в виде пакета светового излучения, называемого фотоном. Поскольку орбиты электронов фиксированы, потери и приращения энергии могут иметь только определенную величину.

На Рис. 2.116 показаны возможные энергетические уровни для атома водорода; для того, чтобы подняться на первый энергетический уровень, потребуется энергия 10 эВ.

Частота испускаемого света зависит от изменения энергии и выражается формулой:

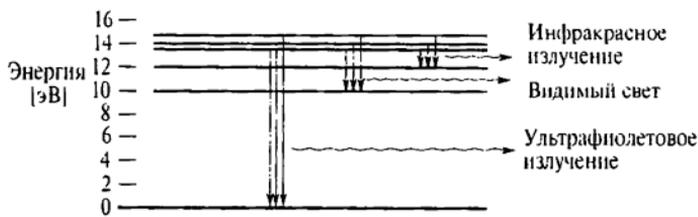


Рис. 2.116. Энергетические уровни атома водорода

$$E_2 - E_1 = hf,$$

где  $E_1$  и  $E_2$  — энергетические уровни,  $f$  — частота,  $h$  — постоянная Планка.

При нагревании вещества атомы непрерывно возбуждаются, их электроны переходят на более высокие энергетические уровни и опускаются обратно. При каждом переходе из состояния с более высокой энергией в состояние с меньшей энергией и из состояния с высокой энергией в основное состояние испускается свет с различной длиной волны. Мы воспринимаем сочетание всех этих изменений как свечение объекта.

Однако лазерное излучение возникает только при переходе электронов из одного конкретного состояния в другое конкретное состояние, следовательно, оно монохроматическое по своей природе. На Рис. 2.117а изображен типичный лазер, состоящий из рубинового стержня, окруженного импульсной лампой.

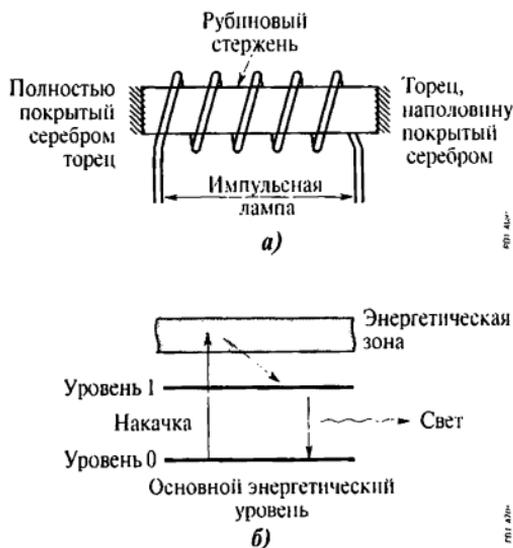


Рис. 2.117. Рубиновый лазер с накачкой: а — конструкция; б — энергетические уровни рубина

Торцы стержня обработаны таким образом, чтобы их плоскости были параллельны. Одна из этих поверхностей зеркально отполирована и покрыта серебром, а другая покрыта серебром наполовину. Чтобы запустить лазер, необходимо, чтобы количество атомов, пребывающих в возбужденном состоянии, превышало количество атомов, электроны которых остаются на основном энергетическом уровне. Это состояние, называемое *инверсией заселенности энергетических уровней*, достигается зажиганием лампы-вспышки (этот процесс называется *накачкой*). Энергетические уровни для рубина показаны на **Рис. 2.1176**. Над основным уровнем находятся первый энергетический уровень с энергией 1.8 эВ и несколько сотен близко расположенных друг к другу уровней, образующих энергетическую зону чуть выше первого уровня. При накачке большинство электронов переходит в энергетическую зону, с которой они спонтанно опускаются на первый энергетический уровень, где они временно пребывают в устойчивом состоянии.

Со временем (по прошествии нескольких микросекунд) электрон возвращается на основной энергетический уровень, испуская при этом фотон. Этот фотон сталкивается с другими возбужденными атомами, инициируя возвращение их электронов на основной энергетический уровень. Они также испускают фотоны, фаза которых точно совпадает с фазой фотона-инициатора. Происходит цепное распространение этого эффекта, импульс света быстро усиливается, отражаясь туда и обратно в стержне, фазы всех фотонов совпадают. В итоге из торца, наполовину покрытого серебром, испускается короткий интенсивный импульс света продолжительностью около миллисекунды.

Разность энергий первого и основного энергетических уровней равна 1.8 эВ; воспользовавшись приведенной выше формулой, можно вычислить длину волны испускаемого лазером света — она составляет 6943 Å, что соответствует красной области спектра.

Представленный рубиновый лазер (по понятным причинам) относится к классу *импульсных лазеров*. Он не может работать непрерывно, так как нельзя достигнуть постоянной инверсии заселенности энергетических уровней. Для получения лазеров, генерирующих в непрерывном режиме, реализуется четырехуровневая схема генерации, показанная на **Рис. 2.118**.

Атомы возбуждаются, и их электроны переходят в высокую энергетическую зону, из которой спонтанно опускаются на второй энергетический уровень (2). Генерация лазерного излучения происходит при переходе электронов с уровня 2 на уровень 1, откуда они спонтанно возвращаются на основной энергетический уровень. Генерация лазерного излучения происходит, если между уровнями 2 и 1 имеет место инверсия заселенности энер-

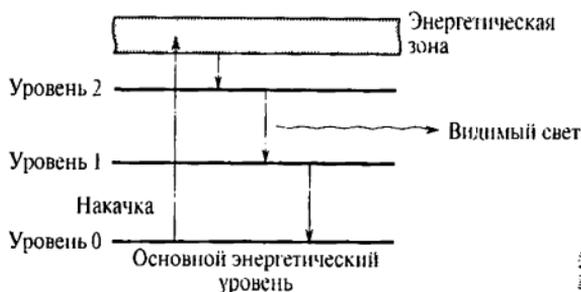


Рис. 2.118. Энергетические уровни непрерывных лазеров

гетических уровней, которая достигается при относительно низкой энергии накачки. Мощность лазеров непрерывного действия меньше, чем мощность импульсных лазеров.

Лазерное излучение обладает такими свойствами, как монохроматичность лазерного луча и узконаправленность луча — его расходимость составляет менее 0.01 радпана. Кроме того, благодаря очень узкому сечению достигается высокая концентрация энергии на небольшой площади. Типичные области применения лазеров — установка нивелиров в строительной инженерии, прецизионная резка и подгонка (благодаря отсутствию пламени исключается загрязнение объекта, подвергаемого резке). С помощью лазерной интерферометрии, возможной благодаря монохроматической природе излучения лазера, можно выполнять точное измерение расстояний в пределах от нескольких миллиметров до тысяч километров с большой степенью точности.

## 2.67. КЛАССИФИКАЦИЯ ЛАЗЕРОВ

Существует несколько различных способов классификации лазеров. Самая простая система классификации — по форме и материалу лазера: газовый, твердотельный, на *p-n*-переходе и др. Другой метод классификации лазеров, в соответствии с категориями безопасности, был разработан Национальным институтом стандартизации США (ANSI) и Американским институтом лазеров (Laser Institute of America), и имеет номер Z136.1-1986 в списке стандартов ANSI.

В соответствии с этим стандартом лазеры делятся на четыре класса: I, II, III и IV. Лазер класса I не способен причинить биологические повреждения глазам или коже человека при соответствующем использовании, даже при воздействии прямого или отраженного излучения от него. Эти лазеры могут излучать свет с длинами волн от 400 до 1400 нм. Лазеры класса II излучают свет в видимом диапазоне длин волн: от 400 до 700 нм. Предполагается, что неприятные ощущения и нормальная реакция на них

(например, закрыть глаза или отвернуться), вызываемые у человека лазерами этого класса, будут достаточными для того, чтобы защитить человека от биологических повреждений прямым или отраженным светом этого лазера. Для лазеров класса II, работающих в режиме непрерывного излучения (CW), значение энергии точечного источника излучения, используемое при расчетах облучения, составляет  $2.5 \text{ мВт/см}^2$ . Лазеры класса III, в соответствии со стандартом ANSI, «...могут представлять опасность при попадании в глаза прямого и отраженного от зеркала света, но диффузное (рассеянное) отражение, как правило, не представляет опасности». Обычно лазеры класса III не являются источниками пожароопасности. Лазер класса IV — это мощный и опасный прибор, который может быть и пожароопасным, и представлять угрозу биологического повреждения для глаз и кожи не только при попадании прямого и зеркально отраженного луча, но даже при попадании диффузного (рассеянного) отраженного луча.

Классы лазеров в соответствии с критериями ANSI определяются уполномоченными сотрудниками по технике безопасности лазеров. Правила по технике безопасности лазеров ANSI постоянно обновляются в соответствии с новыми разработками.

## 2.68. ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ

Фотоэлемент — это прибор, способный определять присутствие (или отсутствие) объекта (предмета) при воздействии на него луча света. Типичные области применения фотоэлементов включают в себя: подсчет объектов на конвейерной ленте, охранную сигнализацию, определение последовательности операций при автоматическом управлении и др.

По принципу действия фотоэлементы делятся на три основных типа:

1. Источник—приемник.
2. Улавливающие отраженный свет.
3. Улавливающие падающий свет.

В фотоэлементах, работающих по принципу источник—приемник, используются отдельный источник света и фотоэлемент, как показано на **Рис. 2.119а**.

Объект, попадающий между источником и приемником, прерывает луч. В самых совершенных конструкциях расстояние между источником и приемником может составлять до 1000 м, но выравнивание — расположение их на одной линии напротив друг друга — вызывает трудности.

На **Рис. 2.119б** изображена система, работающая на отражение. Она состоит из интегрального излучателя/сенсора, и луч,

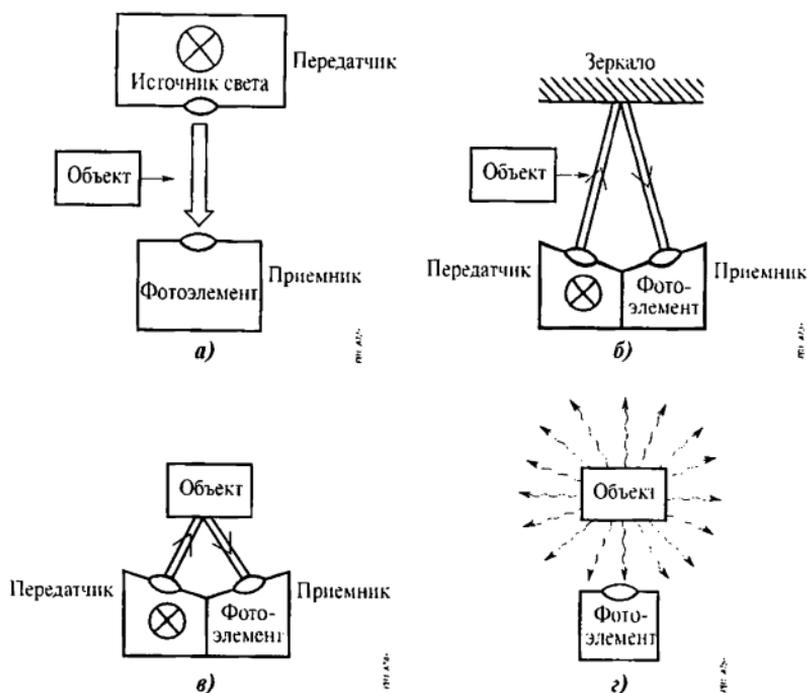


Рис. 2.119. Типы фотоэлементов: а — система источник—приемник; б — улавливающие отраженный свет 1; в — улавливающие отраженный свет 2; г — улавливающие падающий свет

испускаемый излучателем, отражаясь от внешнего зеркала, попадает на сенсор. Такая конструкция проста при размещении. Обычно используют зеркало призматического типа, подобное задним отражателям на автомобилях, что упрощает выравнивание зеркала и фотоэлемента. Отражательная система второго типа приведена на Рис. 2.119в. В такой системе сенсор улавливает свет, отраженный от поверхности объекта. Очевидно, что эта система может применяться, если известно, что поверхность объекта обладает отражательной способностью и расстояние до него ограничивается несколькими сантиметрами.

Последний тип фотоэлемента, который улавливает свет от самого объекта, показан на Рис. 2.119г. Обычно фотоэлементы такого типа применяются в прокатных станах и улавливают свет от раскаленных докрасна металлических заготовок.

Большинство сенсорных устройств чувствительно к температуре, что создает сложности при конструировании устойчивой системы с фотоэлементом. Вдобавок зачастую требуется, чтобы фотоэлементы работали при высоком уровне освещенности, который к тому же может сильно изменяться. Поэтому в таких ус-

ловнях простая схема на усилителе и триггере, которые связаны по постоянному току, не будет обеспечивать необходимую надежность.

В большинстве систем с фотоэлементами используется источник модулированного пучка света с частотой в несколько килогерц. Такой источник можно получить посредством быстрого включения и выключения света с постоянной частотой. Типичная схема такой системы представлена на Рис. 2.120.

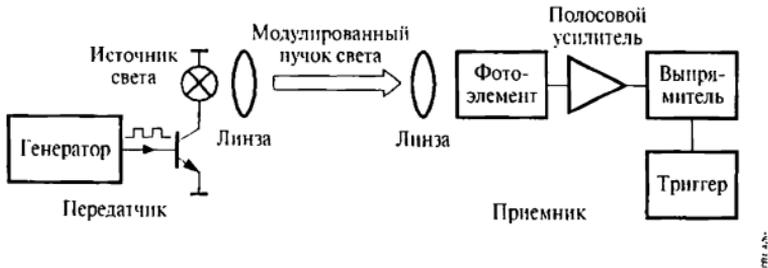


Рис. 2.120. Система с фотоэлементом и источником модулированного света

Приемник включает в себя полосовой усилитель со связью по переменному току, настроенный на модулирующую частоту, за которым следуют выпрямитель и триггер, запускаемый напряжением постоянного тока. Такая схема реагирует только на свет, модулированный определенной частотой, а изменения температуры не оказывают на нее влияния, так как сигнал поступает с усилителя переменного тока.

## 2.69. ОПТИЧЕСКАЯ ИЗОЛЯЦИЯ

Если требуется разработать логическую схему, которая должна быть сопряжена с устройством, достаточно удаленным от этой схемы, перед разработчиком могут возникнуть проблемы, связанные с шумами. Кроме того, всегда имеет место вероятность того, что из-за каких-либо внешних коротких замыканий напряжение сети питания начнет поступать на логическую схему. При использовании оптоизолятора (которым обычно служит оптрон) всех этих проблем можно избежать.

Оптон состоит из светодиода и фототранзистора, расположенных в одном корпусе, как показано на Рис. 2.121.

В общих чертах принцип действия такой схемы достаточно очевиден, как и то, что она обеспечивает полную электрическую развязку, т.е. прекрасную защиту от синфазных помех.

Обычно оптроны используются для развязки входов и выходов цифровой схемы, например при подключении к ней клавиш

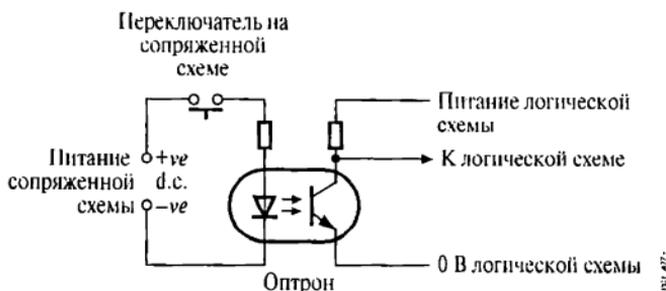


Рис. 2.121. Гальваническая развязка с помощью оптрона

(нажимных кнопок), концевых переключателей и пр., но возможно их использование и для развязки линейных сигналов при помощи кодирования аналогового сигнала в некую цифровую форму, например путем широтно-импульсной или импульсно-кодовой модуляции.

Оптрон характеризуется своим напряжением развязки (обычно 1...2 кВ) и коэффициентом передачи тока, определяемым как отношение тока фототранзистора к току светодиода. Обычно этот параметр составляет около 20%, хотя при использовании фототранзисторной пары Дарлингтона он может быть увеличен.

Оптронам присуще высокое быстродействие, что позволяет осуществлять передачу данных с частотами свыше 100 кГц.

## 2.70. ЦИФРОВЫЕ ИНДИКАТОРЫ

Если расположить семь излучателей света, как показано на Рис. 2.122, то получится индикатор, на котором возможно отображать любую цифру от 0 до 9 и любую букву латинского алфавита от А до F.

Такая конструкция получила название семисегментного индикатора. Существенный рост продажи калькуляторов и подобных приборов вызвал толчок в производстве семисегмент-



Рис. 2.122. Семисегментный индикатор

ных индикаторов, и в настоящее время существует огромное разнообразие семисегментных индикаторов на светодиодах и жидких кристаллах.

Для дешифрации данных непосредственно из двоичного в семисегментный код существуют специальные дешифраторы, не требующие задающего каскада. Для работы многоразрядных индикаторов на светодиодах необходим достаточно большой ток. Чтобы его уменьшить, обычно производят мультиплексирование дисплея, т.е. разряды зажигаются поочередно. На Рис. 2.123 представлена схема такого дисплея с мультиплексированием.

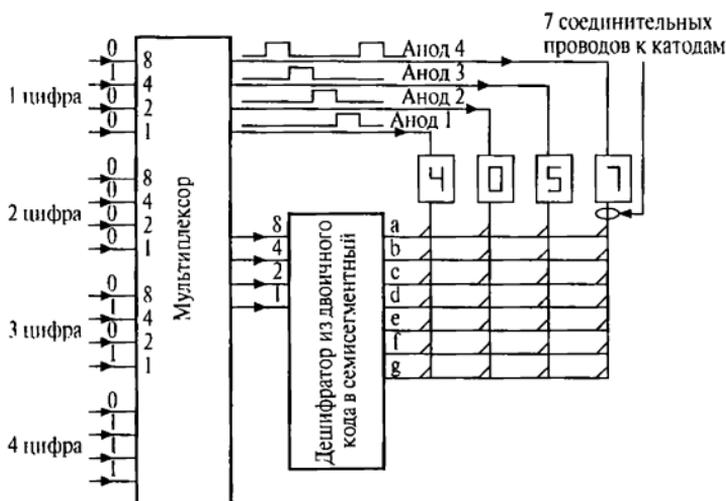


Рис. 2.123. Система с мультиплексированием для четырех индикаторов

Мультиплексирование используется также и в устройствах на жидкокристаллических индикаторах для уменьшения количества соединительных проводов.

Принцип работы схемы состоит в следующем: четыре двоичных числа параллельно поступают на мультиплексор. Он выбирает каждый разряд дисплея (т.е. один семисегментный индикатор — не путать с разрядом двоичного числа!) по очереди и отправляет информацию, которую требуется отобразить на этом разряде, на дешифратор из двоичного кода в семисегментный. Катоды всех сегментов каждого разряда индикатора, отображающего десятичную цифру, подключены к общему формирователю (т.е. к двоично-семисегментному дешифратору), а непосредственно с мультиплексора поступает только напряжение на общий анод разряда, на котором должны быть отображены данные, поступающие с мультиплексора (на двоично-семисегментный дешифратор).

Каждый разряд индикатора зажигается поочередно, хотя для глаза это незаметно из-за высокой тактовой частоты (обычно 15 кГц). Потребление тока значительно уменьшается за счет всего лишь небольшого уменьшения яркости.

Недостаток семисегментного индикатора в том, что он способен, помимо цифр, отображать только несколько букв латинского алфавита (A...F). Полный алфавитно-цифровой индикатор состоит из шестнадцати сегментов (Рис. 2.124а) или представляет собой точно-матричный индикатор (Рис. 2.124б и в).

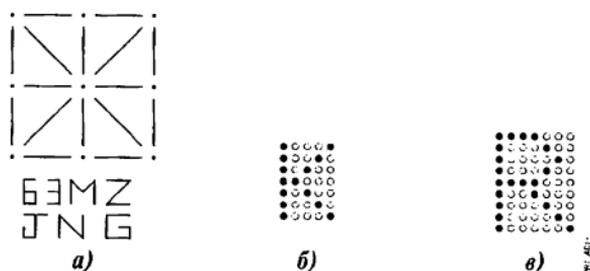


Рис. 2.124. Алфавитно-цифровые индикаторы:

- а — 16-сегментный дисплей;
- б — точечный индикатор  $5 \times 7$ ;
- в — точечный индикатор  $7 \times 9$

## 2.71. ПУЛЬТЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Большинство современных телевизоров, видеоманитофонов и другой бытовой аппаратуры оборудовано пультами дистанционного управления, которые позволяют управлять некоторыми функциями устройства на небольшом расстоянии, например переключать каналы телевизора, регулировать громкость и т.п. Принцип работы таких пультов продемонстрирован на Рис. 2.125а.

Входной сигнал от клавиатуры пульта поступает на шифратор, преобразующий его в пятиразрядный двоичный код (что обеспечивает выполнение 32 различных функций), который затем передается на управляемое устройство при помощи особого светодиода, работающего в инфракрасном диапазоне.

Модулированный ИК-сигнал принимается фотоэлементом в управляемом устройстве, после чего дешифрируется и поступает на схему, выполняющую требуемую функцию. Выходные сигналы интегральной схемы приемника могут быть цифровыми (для функций переключения каналов или отключения звука) и аналоговыми, линейное нарастание и убывание которых регулируется дистанционно (для функций регулировки громкости и тому подобных точных регулировок).

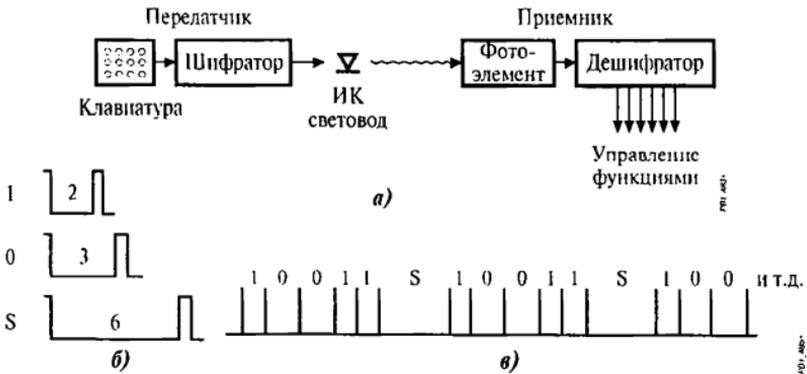


Рис. 2.125. ИК-пульт дистанционного управления:

- а* — структурная схема;  
*б* — соотношение между интервалами сигналов 1, 0 и S;  
*в* — битовая комбинация для сигнала 10011, посылаемая в течение нажатия соответствующей клавиши

Пятиразрядный код представляет собой форму фазоимпульсной модуляции. В этом коде существуют три различных сигнала: 1, 0 и S, где S — сигнал, означающий, что все пять разрядов были отправлены, и служащий в качестве разделителя. Соотношение между интервалами этих трех сигналов фиксировано и составляет 2:3:6 (обычно 18, 27 и 54 мс) для сигналов 1, 0 и S соответственно (Рис. 2.125б). Закодированный сигнал посылается непрерывно все то время, пока нажата клавиша на пульте. В приемнике для отсчета временных интервалов между следующими друг за другом импульсами используется счетчик, работающий с фиксированной высокой частотой, посредством которого производится идентификация сигналов 1, 0 и S. При поступлении сигнала S приемник определяет, что получен полный пятиразрядный код. Во избежание ошибки этот код сравнивается с предыдущим (перед сигналом S) кодом, и если оба этих кода совпадают, выполняется требуемая функция. Таким образом, обеспечивается высокая степень защиты от множественных отражений луча и ложных сигналов.

Несмотря на то, что такой способ управления был разработан для бытовой аппаратуры, он достаточно надежен для дистанционного управления с небольшого расстояния во многих других областях применения.

## 2.72. ОПТОВОЛОКОННАЯ СВЯЗЬ

При прохождении луча света из более плотной среды (например стекло) в менее плотную среду (например воздух) он отклоняется от перпендикуляра (нормали) к плоскости раздела сред, как показано на Рис. 2.126а.

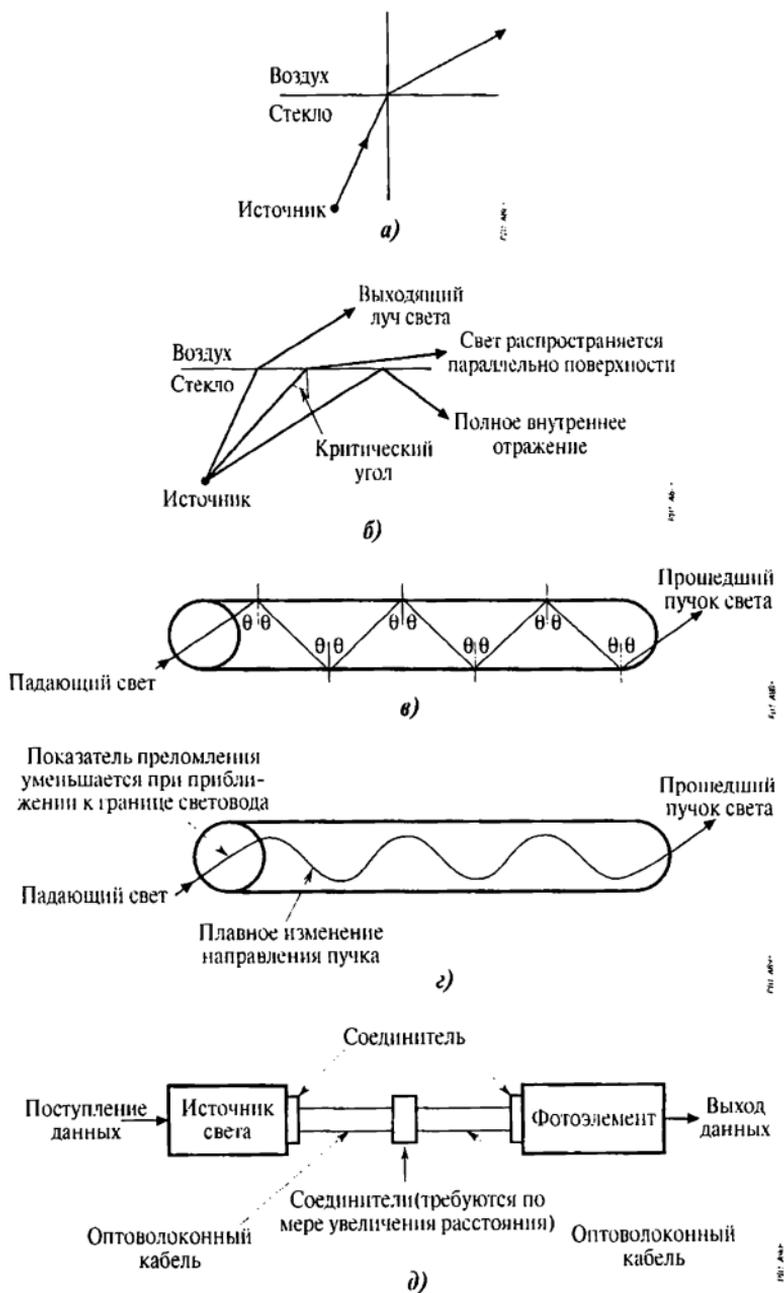


Рис. 2.126. Опволоконная связь: а — преломление света; б — критический угол и полное внутреннее отражение; в — опволоконный стержень (ступенчатый профиль показателя преломления); г — опволоконный кабель с плавным профилем показателя преломления; д — элементы опволоконного канала передачи данных

Такой эффект называется преломлением. Свет, проходящий из менее плотной среды в более плотную среду, также отклоняется, но теперь в сторону нормали. Рассмотрим **Рис. 2.126б**, где луч света проходит из стекла в воздух. С увеличением угла больше некой величины наступает полное отражение луча. Этот угол называют критическим. Для перехода стекло—воздух критический угол составляет около  $40^\circ$ .

На **Рис. 2.126в** рассмотрен случай, когда свет вводится в стеклянный стержень. Луч проходит по стержню, достигает его внутренней поверхности, но поскольку угол падения превышает критический угол, происходит внутреннее отражение, и пучок света передается почти без потерь (имеет место некое ослабление, вызванное рассеянием на дефектах, неизбежно присутствующих в стекле). Описанная схема лежит в основе передачи данных посредством световых сигналов. Все, что требуется теперь, — это источник модулированного света, прозрачный проводник, расположенный таким образом, чтобы обеспечивать внутреннее отражение и светочувствительный приемник.

На практике вместо стеклянных стержней используются очень тонкие оптоволоконные световоды из стекла или полимерного материала. Из такого материала создается гибкий «кабель», что, помимо прочего, уменьшает потери по сравнению с простой конструкцией на **Рис. 2.126в**. Такой способ называется оптоволоконной передачей данных. Самое широкое распространение получили два типа световодов: со ступенчатым профилем показателя преломления, принцип работы которого сходен с изображенным на **Рис. 2.126в**, где имеет место отражение от границ, и с плавным профилем показателя преломления, у которых плотность волокна изменяется равномерно по диаметру световода (показатель преломления уменьшается при приближении к границе световода), что обеспечивает более плавное отражение, (**Рис. 2.126г**). У световодов с плавным профилем показателя преломления меньше потери при передаче данных, но их производство требует больших затрат.

Обычно в качестве передатчиков используют светодиоды, хотя для длинных оптоволоконных линий могут использоваться маломощные лазеры. Приемником являются лавинные фотодиоды. При передаче сигналы подвергаются цифровому кодированию. Элементы типичной оптоволоконной системы передачи информации показаны на **Рис. 2.126д**.

Применение оптоволоконной передачи данных обеспечивает ряд преимуществ. Теоретически доступна очень широкая полоса частот, практически в 10000 раз большая, чем самая высокая из доступных радиочастот. Физические размеры оптоволо-

конных кабелей намного меньше, чем размеры стандартных коаксиальных кабелей с малыми потерями.

Оптоволоконные кабели не создают электромагнитных помех, а сигнал не подвергается воздействию внешних помех. Ко всему прочему, если оптоволоконный кабель будет поврежден или разрушен, это не может привести к пожару или искрению, что немаловажно при передаче данных через опасные участки, например на нефтеперерабатывающих и других производствах.

Потери в оптоволоконных кабелях могут возникать из-за рассеяния на дефектах и изгибах волновода, где угол падения может уменьшаться. Поэтому минимальные радиусы изгиба световода определяются не его физической прочностью, а возникающими потерями. Потери в кабеле связаны также с его длиной и составляют 4 дБ/км. Кроме того, имеют место потери на стыках (соединителях) кабеля, типовое значение этих потерь составляет 2 дБ на соединение. В системах передачи на большие расстояния часто используются промежуточные усилители линии передачи.

## 2.73. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ВЕЛИЧИН В ДЕЦИБЕЛАХ

### 2.73.1. Сравнение одноименных параметров

Представление величин в децибелах — это способ представления соотношения двух одноименных параметров, например напряжений или мощностей, в виде логарифма их отношения. Децибел — это одна десятая от единицы, называемой белом (по имени Александра Грехема Белла — изобретателя телефона), которая оказалась слишком большой для выражения часто используемых величин. Выражение величины  $X$  в децибелах производится следующим образом:

1. Для мощностей  $P_1$  и  $P_2$ :

$$X \text{ [дБ]} = 10 \lg \left( \frac{P_1}{P_2} \right).$$

2. Для напряжений  $V_1$  и  $V_2$ :

$$X \text{ [дБ]} = 20 \lg \left( \frac{V_1}{V_2} \right).$$

3. Для токов  $I_1$  и  $I_2$ :

$$X \text{ [дБ]} = 20 \lg \left( \frac{I_1}{I_2} \right).$$

Преимущество представления в децибелах в том, что коэффициенты усиления и ослабления системы можно складывать и вычитать, а не умножать и делить.

### 2.73.2. Специальные системы представления в децибелах

Обычно в децибелах выражают отношения, но если одна из величин является стандартной постоянной величиной, с помощью децибелов можно представлять абсолютные значения. Далее будет рассмотрено несколько специальных систем представления в децибелах.

1. Представление с помощью дБм. Это логарифмическая единица измерения мощности сигнала по отношению к одному милливатту, рассеянному на резистивном сопротивлении 50 Ом (этот уровень принят за опорный, 0 дБм), вычисляемая таким образом:

$$[\text{дБм}] = 10 \lg \left( \frac{P [\text{Вт}]}{0.001} \right).$$

или

$$[\text{дБм}] = 10 \lg (P [\text{мВт}]).$$

2. Представление с помощью дБмВ. Эта единица используется для телевизионных систем, в которых сопротивление составляет 75 Ом, а не 50 Ом, как в высокочастотных (радио) системах. Она определяет напряжение сигнала, измеренное в децибелах, по отношению к уровню сигнала в один милливольт (1 мВ) на сопротивлении 75 Ом (0 дБмВ). Во многих спецификациях на ТВ-системы уровень 1 мВ указывается как пороговый уровень сигнала (воспринимаемый на фоне шума), при котором в изображении на экране отсутствует «снег», т.е. помехи.
3. Представление с помощью дБмкВ. Это единица измерения напряжения сигнала, измеренного в децибелах, по отношению к уровню сигнала в один микровольт (1 мкВ) на резистивном сопротивлении 50 Ом (0 дБмкВ). Чтобы преобразовать [дБм] в [дБмкВ], нужно прибавить 107 к значению, выраженному в [дБм], например,  $-20 \text{ дБм} = -20 + 107 = 87 \text{ дБмкВ}$ .

## 2.74. ФИЛЬТРЫ

### 2.74.1. Узкополосный режекторный фильтр (фильтр-пробка)

Переменная составляющая с частотой 50 Гц (в США и некоторых других странах — 60 Гц) от сети переменного тока часто

проникает в медицинские и научные приборы, создавая проблемы. Для регистрации истинной формы сигнала электрокардиограммы (ЭКГ), максимальная амплитуда которого составляет порядка 1 мВ, требуется полоса пропускания от 0,05 до 100 Гц. Поэтому присутствие составляющей с частотой 50 Гц от сети переменного тока прямо в середине полосы пропускания, мягко говоря, нежелательно.

Как правило, для устранения нежелательных в полосе пропускания частотных составляющих используют *узкополосный режекторный фильтр (фильтр-пробку)*. На Рис. 2.127 приведена частотная характеристика типичного фильтра-пробки.

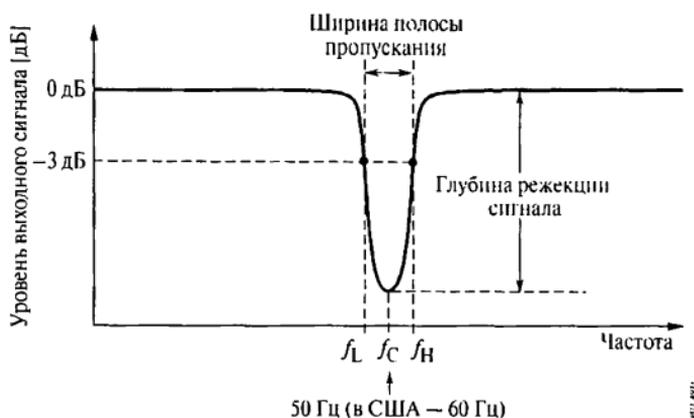


Рис. 2.127. Частотная характеристика фильтра-пробки

Такие фильтры схожи с другими фильтрами — режекторными, но полоса заграждения фильтра-пробки очень узка и расположена в пределах центральной частоты фильтра ( $f_C$ ). Ширина полосы таких фильтров — это разность между частотами в двух точках на уровне  $-3$  дБ, если внеполосная частотная характеристика снимается на исходном уровне  $0$  дБ. Если частоты в этих точках обозначить как  $f_L$  и  $f_H$ , то ширина полосы равна  $(f_H - f_L)$ .

«Резкость» фильтра-пробки — это мера узости (ограниченности) его полосы пропускания, и устанавливается она добротностью  $Q$  фильтра. Добротность определяется как отношение центральной частоты  $f_C$  к ширине полосы пропускания:

$$Q = \frac{f_C}{BW},$$

Например, добротность фильтра-пробки, центральная частота которого составляет  $50$  Гц, а частоты в точках на уровне  $-3$  дБ равны  $48$  и  $52$  Гц (ширина полосы составляет  $4$  Гц), равна  $50/4$ , или  $12.5$ .

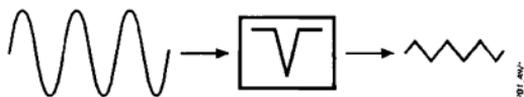


Рис. 2.128. Сигнал помехи до и после фильтра-пробки

Фильтр-пробка не удаляет ненужный сигнал полностью, но значительно его подавляет (Рис. 2.128).

Глубина режекции сигнала устанавливает степень подавления и определяется отношением коэффициента усиления схемы на частоте вне полосы режекции к коэффициенту усиления на частоте режекции. Обычно значения глубины режекции составляют от  $-30$  до  $-50$  дБ, но и более глубокая режекция, например  $-60$  дБ, достигается относительно легко. Предположим, что на вход поступают два сигнала одинакового уровня (это нужно проверять, поскольку выходные уровни сигналов большинства функциональных генераторов различаются на разных частотах!), частота одного из которых совпадает с центральной частотой ( $f_C$ ), а второго — лежит вне полосы режекции ( $f_{об}$ ). Тогда глубина режекции может быть вычислена на основе отношения выходных напряжений фильтра на этих частотах:

$$\text{Глубина режекции} = 20 \lg \left( \frac{V_{f_C}}{V_{об}} \right).$$

Глубину режекции можно также вычислить, если подставить в это уравнение входной и выходной уровни сигналов фильтра на частоте режекции.

### 2.74.2. Двойные Т-образные схемы узкополосных режекторных фильтров (фильтров-пробок)

Одна из наиболее распространенных форм узкополосного режекторного фильтра — это двойная Т-образная схема, представленная на Рис. 2.129.

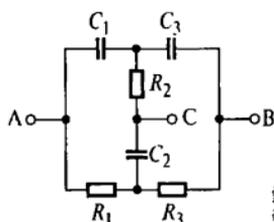


Рис. 2.129. Двойная Т-образная схема фильтра-пробки

Она состоит из двух Т-образных схем:  $C_1/C_3/R_2$  и  $R_1/R_3/C_2$ . При правильной конструкции схемы и надлежащем подборе компонентов при помощи такой схемы легко достигаются значения глубины режекции от  $-30$  до  $-50$  дБ, а при очень хорошем согласовании и подборе компонентов возможно достигнуть подавления нежелательной переменной составляющей до уровня  $-60$  дБ. В общем случае центральная частота фильтра-пробки выражается уравнением:

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_1 + C_3}{C_1 C_2 C_3 R_1 R_3}}.$$

Можно упростить это уравнение, если допустить, что оно удовлетворяет следующим условиям:

$$\begin{aligned} C_1 &= C_3 = C, \\ R_1 &= R_3 = R, \\ C_2 &= 2C, \\ R_2 &= R/2. \end{aligned}$$

При выполнении этих условий уравнение примет вид:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}.$$

В этом уравнении частота выражается в герцах, сопротивление — в омах, а емкость — в фарадах. При расчетах величин параметров компонентов сначала нужно выбрать приемлемое значение емкости, а затем рассчитывать величину сопротивления. Такого правила следует придерживаться по двум причинам: во-первых, стандартных номиналов резисторов гораздо больше, чем стандартных номиналов конденсаторов, а во-вторых, гораздо легче подстроить требуемое значение сопротивления с помощью подстроечного резистора, нежели подстраивать требуемое значение емкости при помощи подстроечного конденсатора.

Одна из проблем узкополосных фильтров состоит в том, что глубина режекции зависит от двух факторов, связанных с составляющими компонентами. Во-первых, номиналы компонентов должны быть очень близки к рассчитанным значениям, и, во-вторых, все они должны быть очень хорошо согласованы между собой. Конденсаторы можно выбрать случайным образом из большого количества обычных конденсаторов, и, измеряя их емкость цифровым измерителем емкости, а затем соединяя параллельно или последовательно два или несколько конденсаторов, подогнать емкость под требуемое значение. Резисторы можно выбирать из металлопленочных резисторов с допуском 5% или из прецизионных резисторов с допуском 1%.

При выборе компонентов следует соблюдать такую очередность: вначале определить, насколько близко величины этих компонентов подогаданы относительно друг друга, а уже потом, как близки они к рассчитанным значениям. Ошибки в среднем значении емкости выбранной группы конденсаторов могут быть скомпенсированы, если вместо резисторов в схеме использовать потенциометры.

При выборе источника сигналов требуемой частоты нужно либо использовать точно откалиброванный источник сигналов, либо измерять частоту сигнала частотомером. Стоит помнить о том, что сдвиг частоты всего на 2 Гц может привести к различию в глубине режекции на 38 дБ!

Другой вариант — использовать в качестве источника сигналов вторичную обмотку трансформатора напряжением 6.3 или 12.6 В переменного тока.

*Предупреждение:* напряжение на первичных обмотках таких трансформаторов равно напряжению сети переменного тока, которое может нести смертельную опасность при неправильном обращении!

Казалось бы, что на основе двойной Т-образной схемы может быть сконструирован фильтр-пробка для разных частот с регулируемыми компонентами, но ни одно из обычных решений не может быть реализовано практически. Для одной реализации требуются три согласованных потенциометра с групповым управлением (одной ручкой) или три переменных конденсатора с групповым управлением. К сожалению, в любом случае значение, по меньшей мере, одного из трех переменных компонентов должно отличаться от двух других, что приводит к разбалансу (переменных резисторов) по температурному коэффициенту сопротивления, из-за чего происходит растягивание полосы (частот) режекции. В некоторых случаях можно не учитывать эту проблему, но в узкополосных режекторных фильтрах с высокой добротностью эта ситуация может полностью нарушить работу фильтра.

### 2.74.3. Активный двойной Т-образный фильтр-пробка

Для создания активных частотно-избирательных фильтров применяются активные приборы, такие как операционные усилители. В схемах активных фильтров, приведенных в этом разделе, двойные Т-образные схемы заменены блоками ради упрощения всей схемы (выводам А, В и С такого блока соответствуют одноименные выводы схемы с Рис. 2.129).

Наиболее простой двойной Т-образный фильтр-пробка, в схему которого не входят активные компоненты, показан на Рис. 2.129. Гораздо лучшими характеристиками обладает такой

фильтр в сочетании с одним или более операционными усилителями (ОУ). На Рис. 2.130 приведена одна из таких схем, где двойной Т-образный фильтр включен каскадно с входным буферным усилителем (необязателен) и выходным буферным усилителем (необходим).



Рис. 2.130. Активный двойной Т-образный фильтр-пробка

Эти усилители представляют собой неинвертирующие повторители на ОУ. Цель присутствия этих буферных усилителей — развязка фильтра с внешними схемами. В низкочастотных схемах можно использовать операционные усилители серии 741, 1458 и подобные им. Для высокочастотных применений, т.е. для таких фильтров, верхняя частота среза которых превышает 3 кГц, стоит использовать ОУ без частотной коррекции, такие как СА-3130 или СА-3140.

В схеме на Рис. 2.130 вывод С (общая точка) двойной Т-образной схемы соединен с выходом выходного буферного усилителя. Цепь обратной связи состоит из двух резисторов  $R_A$  и конденсатора  $C_A$ . Значения сопротивления резистора  $R$  и емкости конденсатора  $C$  в двойной Т-образной схеме вычисляются по формуле, приведенной в предыдущем разделе, а значения  $R_A$  и  $C_A$  можно найти из выражений:

$$R_A = 2RQ$$

и

$$C_A = \frac{C}{Q}.$$

Можно построить фильтр-пробку с изменяемой добротностью (Рис. 2.131).

В этой схеме вместо резисторов  $R_A$  и конденсатора  $C_A$  в петлю обратной связи включен неинвертирующий повторитель  $A_3$ . Добротность такого фильтра устанавливается потенциометром  $R_2$  (10 кОм), и ее значения могут изменяться от 1 до 50.

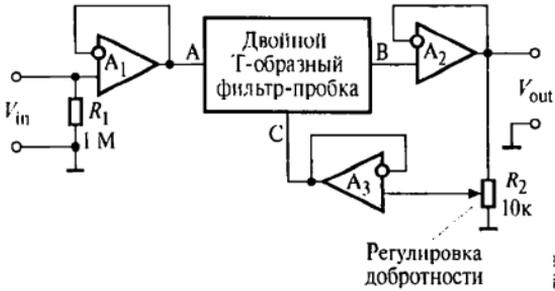


Рис. 2.131. Фильтр-пробка с регулировкой добротности

#### 2.74.4. Схемы регулируемых мостовых Т-образных фильтров

На Рис. 2.132 представлен один из вариантов мостового Т-образного фильтра-пробки.

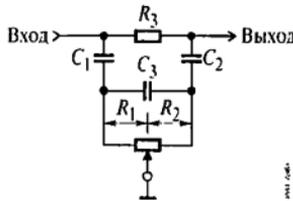


Рис. 2.132. Мостовой Т-образный фильтр-пробка

Обычно эта схема используется в случаях, когда частота режекции либо подстраивается с большой степенью точности, либо изначально неизвестна и устанавливается. Такой фильтр широко применяется в радиоприемниках для устранения нежелательных составляющих звуковой частоты выходного сигнала. Частота режекции выражается следующим образом:

$$f = \frac{1}{2\pi C \sqrt{3R_1 R_2}},$$

где предполагается, что  $C_1 = C_2 = C_3 = C$ , а  $R_1$  и  $R_2$  — сопротивления от ползунка до конечных выводов потенциометра. Частота  $f$  выражается в герцах, сопротивление — в омах, емкость — в фарадах.

На Рис. 2.133 представлена схема фильтра, частота режекции которого может изменяться от 1.8 до 8 кГц, в зависимости от настройки потенциометра  $R_{1-2}$ .

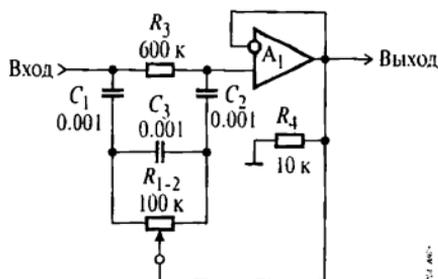


Рис. 2.133. Активный фильтр-пробка с регулируемой частотой режекции

### 2.74.5. Гираторы

Еще один пример узкополосных режекторных фильтров — это *гиратор*, или *активный индукторный фильтр-пробка*, иногда называемый также *узкополосным режекторным фильтром с синтезированной катушкой индуктивности*. На Рис. 2.134 представлен конкретный пример такого фильтра.

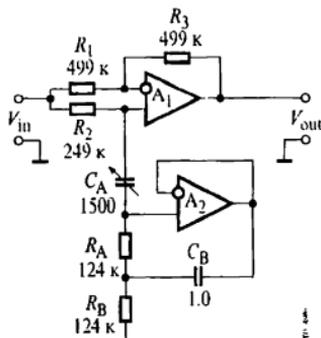


Рис. 2.134. Гиратор (активный индукторный фильтр-пробка)

Частота режекции определяется выражением:

$$f_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_A R_B C_A C_B}}.$$

Если выполняется условие:

$$\frac{R_3}{R_1} = \frac{R_2}{R_A + R_B} = \frac{R_2}{2R},$$

то это выражение упрощается:

$$f_c = \frac{1}{2\pi R \sqrt{C_A C_B}}.$$

Для настройки фильтра можно заменить любой из компонентов  $C_A$ ,  $C_B$ ,  $R_A$ ,  $R_B$  соответствующим переменным конденсатором или резистором. Обычно конденсатор  $C_A$  заменяют переменным конденсатором, а в качестве конденсатора  $C_B$  выбирают постоянный конденсатор большой емкости. Переменный конденсатор емкостью 1500 пФ можно изготовить, соединив параллельно все секции трехсекционного конденсатора (подобного тем, что применяются для настройки радиоприемников) и постоянный или подстроечный конденсатор малой емкости. Поскольку в большинстве схем все-таки требуется подстроечный конденсатор, а не переменный конденсатор большой емкости, то (как альтернатива первому варианту), можно соединить параллельно один или более конденсаторов небольшой емкости с подстроечным конденсатором. Например, если соединить параллельно 100 пФ-подстроечный конденсатор с конденсаторами емкостью 1000 и 470 пФ, можно получить требуемую емкость 1500 пФ. Для таких схем следует использовать прецизионные конденсаторы с малым дрейфом, иначе нужно будет постоянно подгонять их емкости, измеряя цифровым тестером.

#### 2.74.6. Предостережение

Перед тем, как использовать фильтры для удаления некоторых частотных составляющих из сигнала, нужно взвесить все «за» и «против». Если фильтр не обладает высокой добротностью, он может удалить слишком большую часть сигнала. В электрокардиографах (приборах для регистрации сигнала ЭКГ человека) частотные составляющие сигнала лежат в диапазоне от 0.05 до 100 Гц, а нежелательная составляющая от сети переменного тока 50 Гц находится как раз в середине этого диапазона! Хуже того, выводы электрокардиографа подсоединяются непосредственно к телу человека, и, следовательно, неэкранированы на концах. Таким образом, если не предпринимать мер предосторожности, почти гарантировано, что в сигнале будут присутствовать помехи с частотой 50 или (в США) 60 Гц. Однако при фильтрации можно удалить также составляющие, которые требуются врачам для установления диагноза, следовательно, фильтр стоит использовать только тогда, когда он действительно необходим. В медицинских усилителях сигнала ЭКГ предусмотрено подключение и отключение фильтра, таким образом, фильтр может быть введен или выведен из схемы.

## 2.75. ИНДУКТИВНО-ЕМКОСТНЫЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ФИЛЬТРЫ

Высокочастотные (радиочастотные) фильтры — это частотно-избирательные схемы, пропускающие сигналы одних частот и подавляющие сигналы других. Как правило, фильтры подразделяют на четыре основных класса: *фильтры нижних частот*, *фильтры верхних частот*, *полосовые фильтры* и *режекторные (заграждающие) фильтры*, в частности, фильтры-пробки. Фильтры классифицируются в зависимости от того, какие частоты они пропускают и какие задерживают. В качестве граничной точки между полосой пропускания и полосой заграждения обычно принимается частота, при которой уровень сигнала в полосе пропускания снижается на 3 дБ.

*Фильтры нижних частот.* Такие фильтры пропускают все частоты, которые находятся ниже граничной частоты, определяемой на уровне  $-3$  дБ. Такие фильтры используются для удаления гармонических составляющих сигнала или устранения помех от больших сигналов на частоте выше частоты среза.

*Фильтры верхних частот.* Пропускают все частоты, которые находятся выше частоты среза. Используются для устранения помех от больших сигналов ниже частоты среза.

*Полосовые фильтры.* Пропускают все частоты из диапазона между нижней ( $f_L$ ) и верхней ( $f_H$ ) граничными точками, определяемыми на уровне  $-3$  дБ, и подавляют все остальные частоты, которые находятся за пределами диапазона ( $f_H - f_L$ ). Полосовые фильтры бывают широкополосными (с малой добротностью) и узкополосными (с большой добротностью).

Добротность, обозначаемая буквой  $Q$ , — это одна из важнейших характеристик полосового фильтра, которая определяется как отношение центральной частоты к ширине полосы. Например, если центральная частота фильтра равна 10000 кГц, а его полоса пропускания составляет 25 кГц между точками на уровне  $-3$  дБ, то добротность такого фильтра равна 400.

*Режекторные (заграждающие) фильтры.* Пропускают сигналы всех частот за исключением тех, что находятся в полосе заграждения между нижней и верхней граничными точками. Режекторные фильтры бывают широкополосными и узкополосными (фильтр-пробка). Фильтры-пробки используются для подавления сигналов единственной частоты. Например, часто случается, что сигнал от местной ЧМ (FM) радиостанции является помехой для телевизионного сигнала или дуплексной (одноканальной двухсторонней) радиосвязи. Можно подавить этот сигнал, настроив на его частоту узкополосный режекторный фильтр. Аналогично для случая с АМ-приемником: если его чувствительность уменьшилась из-за сильного сигнала ме-

стной радиостанции, что мешает принимать сигналы всех остальных частот АМ-диапазона, то для подавления этой частоты можно воспользоваться фильтром-пробкой, который уберет сигнал именно на этой частоте, оставив все остальные сигналы нетронутыми.

### 2.75.1. Принципы построения фильтров

Зачастую принципы построения индуктивно-емкостных фильтров для высокочастотных (радиоэлектронных) схем основаны на достаточно сложных математических выкладках. Использование такого принципа построения позволяет оптимизировать конструкцию фильтра. Однако такой подход не соответствует возможностям большого количества людей, например, радиолюбителей, которые вполне могли бы самостоятельно создавать фильтры. Ясно, что нужен другой подход, и он существует — это *нормированная модель фильтра с частотой 1 МГц*. В основе этого принципа лежит готовая модель фильтра с параметрами компонентов, рассчитанными для частоты 1 МГц. Чтобы подогнать значения компонентов под нужную частоту, их делят на соответствующий коэффициент, полученный в результате деления частоты 1 МГц на требуемую частоту, выраженную в мегагерцах.

У этого подхода существует ограничение. Дело в том, что для модели фильтра с частотой 1 МГц принято, что и входное, и выходное сопротивления модели равны 50 Ом. Но, так как сопротивление большинства ВЧ-систем составляет 50 Ом, это ограничение в большинстве случаев не представляет особых проблем.

### 2.75.2. Фильтры нижних частот

Индуктивно-емкостной фильтр нижних частот можно узнать по наличию катушки (или катушек) индуктивности, включенной последовательно на пути прохождения сигнала, и конденсаторов, включенных параллельно тракту сигнала. Фильтр нижних частот (ФНЧ) подавляет все сигналы, частота которых превышает частоту среза, и пропускает все сигналы ниже частоты среза.

На Рис. 2.135 и Рис. 2.136 представлены две основных конструкции однозвенных ФНЧ: Т-образное и П-образное звенья фильтра.

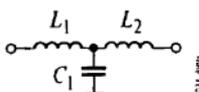


Рис. 2.135. Т-образное звено фильтра нижних частот

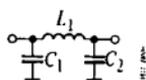


Рис. 2.136. П-образное звено фильтра нижних частот

Величины емкости и индуктивности рассчитываются на основе уравнений:

$$L \text{ [мкГн]} = \frac{K_1}{f \text{ [МГц]}}$$

и

$$C \text{ [пФ]} = \frac{K_2}{f \text{ [МГц]}}.$$

Эти уравнения можно использовать и при расчетах величин компонентов для других фильтров, но значения констант  $K$  в этом случае будут другие (Табл. 2.4).

Таблица 2.4. Значения констант  $K_1$  и  $K_2$  для ФНЧ

ФНЧ	$K_1$	$K_2$
Т-образное звено	7.94	6360
П-образное звено	15.88	3180

Каждое звено фильтра обеспечивает определенную степень ослабления сигнала, что видно по наклону спада амплитудно-частотной характеристики после граничной точки. При каскадном включении звеньев наклон спада АЧХ увеличивается, следовательно, увеличивается также и ослабление сигнала любой частоты из полосы заграждения. На Рис. 2.137 и Рис. 2.138 представлены двухзвенные Т- и П-образные схемы фильтров нижних частот. Константы для расчета таких схем приведены в Табл. 2.5.

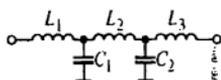


Рис. 2.137. Двухзвенный Т-образный фильтр нижних частот

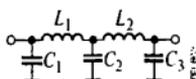


Рис. 2.138. Двухзвенный П-образный фильтр нижних частот

Таблица 2.5. Значения констант для расчета двухзвенных ФНЧ

ФНЧ	$K_{L_1}$	$K_{L_2}$	$K_{L_3}$	$K_{C_1}$	$K_{C_2}$	$K_{C_3}$
Т-образный	9.126	15.72	9.126	4356	4365	—
П-образный	10.91	10.91	—	3650	6287	3650

### 2.75.3. Фильтры верхних частот

Фильтры верхних частот (ФВЧ) ослабляют все сигналы, частоты которых находятся ниже частоты среза и пропускают сигналы, частота которых выше частоты среза.

На Рис. 2.139 и Рис. 2.140 представлены два однозвенных ФВЧ.

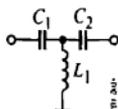


Рис. 2.139. Т-образное звено фильтра верхних частот

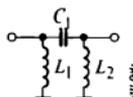


Рис. 2.140. П-образное звено фильтра верхних частот

Нетрудно заметить, эти схемы напоминают ФНЧ, но конденсаторы и катушки индуктивности здесь поменялись местами, и, таким образом, на пути прохождения сигнала находятся последовательно включенные конденсаторы, а катушки индуктивности включены параллельно пути сигнала. В Табл. 2.6 даны значения констант для расчета однозвенных фильтров.

Таблица 2.6. Значения констант для расчета однозвенных ФВЧ

ФВЧ	$K_{L_1}$	$K_{L_2}$	$K_{L_3}$	$K_{C_1}$	$K_{C_2}$	$K_{C_3}$
Т-образный	5.8	5.8	—	2776	1662	2776
П-образный	6.94	4.03	6.94	2321	2321	—

На Рис. 2.141 и Рис. 2.142 представлены двухзвенные ФВЧ, а в Табл. 2.7 приведены константы нормированной модели фильтра с частотой 1 МГц.

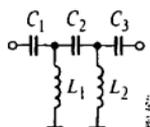


Рис. 2.141. Двухзвенный Т-образный фильтр верхних частот

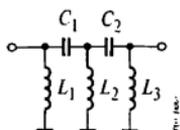


Рис. 2.142. Двухзвенный П-образный фильтр верхних частот

Таблица 2.7. Значения констант для расчета двухзвенных ФВЧ

ФВЧ	$K_{L1}$	$K_{L2}$	$K_{C1}$	$K_{C2}$
Т-образный	3.97	—	3180	3180
П-образный	7.94	7.94	1590	—

---

Часть третья

# Справочные данные

## 3.1. АББРЕВИАТУРЫ И СИМВОЛЫ

Многие аббревиатуры могут быть написаны как заглавными, так и строчными буквами (это зависит от стиля, выбранного издателем). Ниже приведена стандартная форма написания для англоязычных изданий.

<b>A</b>	(Ampere или anode) — 1) ампер (А); 2) анод (а)
<b>ABR</b>	(Auxiliary bass radiator) — вспомогательный звуковой излучатель
<b>AC</b>	(Alternating current) — переменный ток ( $I_{AC}$ )
<b>A/D</b>	(Analogue to digital) — преобразование из аналоговой формы в цифровую (А/Ц)
<b>ADC</b>	(Analogue to digital converter) — аналого-цифровой преобразователь (АЦП)
<b>Ae</b>	(Aerial) — антенна
<b>AF</b>	(Audio frequency) — диапазон звуковых частот
<b>AFC</b>	(Automatic frequency control) — автоматическая подстройка частоты (АПЧ)
<b>AGC</b>	(Automatic gain control) — автоматическая регулировка усиления (АРУ)
<b>AM</b>	(Amplitude modulation) — амплитудная модуляция (АМ)
<b>ASA</b>	(Acoustical Society of America) — Американское акустическое общество
<b>ASCII</b>	(American Standart Code for Information Interchange) — Американская стандартная кодировка для обмена информацией (АСКИ или АСКОИ)
<b>ATU</b>	(Aerial tuning unit) — блок антенной настройки
<b>AUX</b>	(Auxiliary) — дополнительный, вспомогательный (дополнительный линейный вход в аудио- и видео-аппаратах)
<b>AVC</b>	(Automatic volume control) — автоматическая регулировка громкости (АРГ)
<b>b</b>	(Base of transistor) — база транзистора (б)
<b>BAF</b>	(Bonded acetate fibre) — сплетенное ацетатное волокно
<b>B &amp; S</b>	(Brown & Sharpe (U.S.) wire gauge) — калибр проволоки фирмы Brown & Sharpe (США)
<b>BPS</b>	(Bits per second) — бит в секунду
<b>BR</b>	(Bass reflex) — фазоинвертор, акустическая линза
<b>BSI</b>	(British Standards Institution) — Британский институт стандартов
<b>C</b>	(Capacitor, cathode, centigrade, coulomb) — 1) конденсатор; 2) катод (к); 3) градус Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ); 4) кулон (Кл)
<b>c</b>	(Collector of transistor, speed of light) — 1) коллектор транзистора (к); 2) скорость света (с)

<b>CB</b>	(Citizen's band) — гражданский диапазон (диапазон радиоволн 27 МГц (11м). Используется во всем мире для стационарной и мобильной связи)
<b>CCD</b>	(Charge coupled device) — прибор с зарядовой связью (ПЗС)
<b>CCIR</b>	(International Radio Consultative Committee) — Международный консультативный комитет по радиосвязи (МККР) при Международном союзе электросвязи (МСЭ)
<b>CCITT</b>	(International Telegraph and Telephone Consultative Committee) — Международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии (МККТТ)
<b>CCTV</b>	(Closed circuit television) — телевизионная система закрытого типа (промышленное, охранное и т.п.)
<b>chps</b>	(Characters per second) — количество знаков в секунду
<b>CPU</b>	(Central processor unit) — центральный процессор (ЦП)
<b>CTD</b>	(Charge transfer device) — прибор с переносом заряда (ППЗ) или прибор с зарядовой связью (ПЗС)
<b>CLK</b>	(Clock signal) — синхронизирующий сигнал, тактовый сигнал
<b>CrO<sub>2</sub></b>	(Chromium dioxide) — диоксид хрома (CrO <sub>2</sub> )
<b>CMOS</b>	(complementary metal oxide semiconductor) — комплементарная структура металл—оксид—полупроводник (КМОП-структура)
<b>CW</b>	(Continuous wave) — незатухающие колебания (волны)
<b>D</b>	(Diode) — диод
<b>d</b>	(Drain of an FET) — сток полевого транзистора (с)
<b>D/A</b>	(Digital to analogue) — цифро-аналоговое преобразование (Ц/А)
<b>DAC</b>	(Digital to analogue converter) — цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП)
<b>dB</b>	(Decibel) — децибел (дБ)
<b>DC</b>	(Direct current) — постоянный ток ( $I_{DC}$ )
<b>DCE</b>	(Data circuit-terminating equipment) — оконечное оборудование (линии) передачи данных
<b>DF</b>	(Direction finding) — радиопеленгация
<b>DIL</b>	(Dial-in-line) — двухрядное расположение выводов
<b>DIN</b>	(Deutsche Industrie Norm) — немецкий промышленный стандарт
<b>DMA</b>	(Direct memory access) — прямой доступ к памяти (ПДП)
<b>DPDT</b>	(Double pole, double throw) — двухполюсный переключатель на два направления

<b>DPST</b>	(Double pole, single throw) — двухполюсная группа замыкающих (или размыкающих) контактов
<b>DTE</b>	(Data terminal equipment) — оконечная аппаратура обработки данных
<b>DTL</b>	(Diode transistor logic) — диодно-транзисторная логика (ДТЛ)
<b>DTMF</b>	(Dual tone multi-frequency) — двухтональный многочастотный набор (телефонного номера)
<b>DX</b>	(Long distance reception) — дальний прием
<b>e</b>	(Emitter of transistor) — эмиттер (э)
<b>EAROM</b>	(Electrically alterable ROM) — электрически программируемое ПЗУ (ЭППЗУ)
<b>ECL</b>	(Emitter coupled logic) — эмиттерно-связанная логика (ЭСЛ)
<b>EHT</b>	(Extremely high tension (voltage)) — сверхвысокое напряжение
<b>EMF</b>	(Electromotive force) — электродвижущая сила (ЭДС)
<b>EPROM</b>	(Erasable programmable read only memory) — стираемое программируемое постоянное запоминающее устройство (СППЗУ), перепрограммируемая память (ППЗУ)
<b>EQ</b>	(Equalisation) — выравнивание, компенсация, стабилизация, коррекция
<b>ERP</b>	(Effective radiated power) — 1) мощность излучения эквивалентного полуволнового симметричного вибратора; 2) мощность эквивалентного изотропного излучателя
<b>EROM</b>	(Erasable read only memory) — стираемое постоянное запоминающее устройство (СПЗУ)
<b>F</b>	(Farad, fahrenheit, force) — 1) фарад (Ф); 2) градус Фаренгейта (°F); 3) сила (F)
<b>f</b>	(Frequency) — частота (f)
<b>Fe</b>	(Ferrous) — железо (Fe)
<b>FeCr</b>	(Ferri-chrome) — хромистое железо (FeCr)
<b>FET</b>	(field effect transistor) — полевой транзистор (ПТ)
<b>FM</b>	(frequency modulation) — частотная модуляция (ЧМ)
<b>FR</b>	(Frequency range) — частотный диапазон
<b>FSD</b>	(Full scale deflection) — отклонение на полную шкалу
<b>FSK</b>	(Frequency shift keying) — частотная манипуляция (ЧМ11)
<b>G</b>	(Giga) — гига-, Г, ( $10^9$ )
<b>g</b>	(Grid, gravitational constant) — 1) сетка, управляющий электрод (в вакуумной лампе); 2) модулятор (в ТВ); 3) гравитационная постоянная (g)
<b>H</b>	(Henry) — генри (Гн)
<b>HF</b>	(high frequency) — 1) высокая частота (ВЧ); 2) высокочастотный

<b>Hz</b>	(Hertz) — герц (Гц)
<b>I</b>	(current) — ток ( $I$ )
<b>IB</b>	(Infinite baffle) — бесконечный акустический экран
<b>IC</b>	(integrated circuit) — интегральная схема (ИС)
<b>IF</b>	(Intermediate frequency) — промежуточная частота (ПЧ)
<b>IHF</b>	(Institute of High Fidelity (U.S.)) — Институт высокой верности воспроизведения (США)
<b>I<sup>2</sup>L (IIL)</b>	(integrated injection logic) — интегральная инжекционная логика (И <sup>2</sup> Л)
<b>IMD</b>	(Intermodulation distortion) — интермодуляционные искажения
<b>I/P</b>	(Input) — вход
<b>i.p.s.</b>	(Inches per second) — дюйм в секунду
<b>k</b>	(Kilo- или cathode) — 1) кило-, к, ( $10^3$ ); 2) катод
<b>K</b>	(Kilo- или degrees Kelvin) — 1) приставка Килок количеству битов, используемая в компьютерной технике ( $2^{10} = 1024$ ) (К); 2) градус Кельвина (К)
<b>L</b>	(Inductance, lumens) — 1) индуктивность ( $L$ ); 2) люмен (лм)
<b>LED</b>	(light emitting diode) — светонизлучающий диод (СИД)
<b>LF</b>	(Low frequency) — низкая частота (НЧ)
<b>LIN</b>	(Linear) — линейный
<b>LOG</b>	(Logarithmic) — логарифмический (log, lg, ln)
<b>LS</b>	(Loudspeaker) — громкоговоритель
<b>LSI</b>	(Large scale integration) — большая интегральная схема (БИС)
<b>LW</b>	(Long wave approx. 1100...2000 m) — длинные волны, приблизительно 1100...2000 м (ДВ)
<b>M</b>	(Mega-) — мега-, М, ( $10^6$ )
<b>m</b>	(Milli-) — милли-, м, ( $10^{-3}$ )
<b>MHz</b>	(Megahertz) — мегагерц (МГц)
<b>MC</b>	(Moving coil) — звуковая катушка (громкоговорителя), электродинамический, магнитоэлектрический
<b>mic</b>	(Microphone) — микрофон
<b>MOS</b>	(metal oxide semiconductor) — металл—оксид—полупроводник (МОП)
<b>MPU</b>	(Microprocessor unit) — микропроцессор (МП), микропроцессорная секция
<b>MPX</b>	(Multiplex) — 1) уплотнение (сигналов, каналов), объединение (сигналов), разделение (каналов); 2) мультиплексная передача
<b>MW</b>	(Medium wave approx. 185...560 m) — средние волны, приблизительно 185...560 м (СВ)
<b>n</b>	(Nano-) — нано-, н, ( $10^{-9}$ )
<b>NAB</b>	(National Association of Broadcasters) — Национальная ассоциация вещательных организаций (США)

<b>Ni-Cad</b>	(Nickel-cadmium) — никель-кадмиевый аккумулятор
<b>N/C</b>	(Not connected; normally closed) — отсутствие контакта; нормально замкнутый
<b>N/O</b>	(Normally open) — нормально разомкнутый
<b>NMOS</b>	(Negative channel metal oxide semiconductor) — <i>n</i> -канальный полевой транзистор с изолированным затвором ( <i>n</i> МОП-транзистор)
<b>O/C</b>	(Open channel; open circuit) — открытый канал; разомкнутая цепь; режим холостого хода (хх)
<b>O/P</b>	(Output) — выход
<b>op-amp</b>	(Operational amplifier) — операционный усилитель
<b>p</b>	(Pico-) — пико-, п, ( $10^{-12}$ )
<b>PA</b>	(Public address) — Система звукоусиления, система громкоговорящей связи, установка (микрофона, громкоговорителя и т.п.) для организации передачи в эфир выступления
<b>PABX</b>	(Private automatic branch exchange) — учрежденческая АТС с исходящей и входящей связью
<b>PAL</b>	(phase alternation by line) — построчное изменение фазы, ПАЛ (система цветного телевидения)
<b>PAM</b>	(Pulse amplitude modulation) — амплитудно-импульсная модуляция (АИМ)
<b>PCB</b>	(Printed circuit board) — печатная плата
<b>PCM</b>	(Pulse code modulation) — импульсно-кодовая модуляция (ИКМ)
<b>PLA</b>	(Programmable logic array) — программируемая логическая матрица (ПЛМ)
<b>PLL</b>	(Phase locked loop) — система фазовой подстройки частоты (ФАПЧ система)
<b>PMOS</b>	(Positive channel metal oxide semiconductor) — <i>p</i> -канальный полевой транзистор с изолированным затвором ( <i>p</i> МОП-транзистор)
<b>PPM</b>	(Peak programme meter) — пиковый измеритель уровня передачи звукового сигнала
<b>PRF</b>	(Pulse repetition frequency) — частота повторения импульсов
<b>PROM</b>	(programmable read only memory) — программируемое постоянное запоминающее устройство (ППЗУ)
<b>PSTN</b>	(Public Switched Telephone Network) — коммутируемая телефонная сеть общего пользования (КТСОП)
<b>PSU</b>	(Power supply unit) — источник электропитания
<b>PTFE</b>	(Polytetrafluoroethylene) — тефлон, политетрафторэтилен
<b>PU</b>	(Pickup) — звукосниматель
<b>PUJT</b>	(Programmable unijunction transistor) — программируемый однопереходной транзистор

<b>Q</b>	(Quality factor; efficiency of tuned circuit, charge) — 1) добротность ( $Q$ ); 2) коэффициент полезного действия (КПД); 3) заряд ( $q$ )
<b>R</b>	(Resistance) — сопротивление ( $R$ )
<b>RAM</b>	(Random access memory) — оперативное запоминающее устройство (ОЗУ)
<b>RCF</b>	(Recommended crossover frequency) — рекомендуемая частота разделения каналов
<b>RIAA</b>	(Record Industry Association of America) — Американская ассоциация звукозаписи
<b>RF</b>	(Radio frequency) — высокая частота (ВЧ), радиочастота (РЧ)
<b>RFC</b>	(Radio frequency choke (coil)) — высокочастотный дроссель
<b>RMS</b>	(Root mean square) — среднеквадратическое значение (rms)
<b>ROM</b>	(Read only memory) — постоянное запоминающее устройство (ПЗУ)
<b>RTL</b>	(Resistor transistor logic) — резисторно-транзисторная логика (РТЛ)
<b>R/W</b>	(Read/write) — считывание/запись
<b>RX</b>	(Receiver) — приемник
<b>S</b>	(Siemens) — сименс (единица измерения проводимости)
<b>s</b>	(Source of an FET) — исток полевого транзистора (и)
<b>S/C</b>	(Short circuit) — короткое замыкание (кз)
<b>SCR</b>	(Silicon controlled rectifier) — кремниевый управляемый венти́ль, тиристор
<b>SHF</b>	(Super high frequency) — сверхвысокая частота (СВЧ), диапазон сантиметровых волн
<b>SI</b>	(International system of units) — Международная система единиц (СИ)
<b>S/N</b>	(Signal-to-noise) — отношение сигнал/шум
<b>SPL</b>	(Sound pressure level) — уровень звукового давления
<b>SPST</b>	(Single pole, single throw) — однополюсный и на одно направление (выключатель)
<b>SPDT</b>	(Single pole, double throw) — однополюсный на два направления (переключатель)
<b>SSI</b>	(Small scale integration) — низкая степень интеграции
<b>SW</b>	(Short wave) — короткие волны, приблизительно 10...60 м (КВ)
<b>SWG</b>	(Standard wire gauge) — сортамент проводов (стандартная калибровка проводов)
<b>SWR</b>	(Standing wave ratio) — коэффициент стоячей волны (КСВ)
<b>T</b>	(Tesla) — тесла (Тл)

<b>TDM</b>	(Time division multiplex) — мультиплексная передача с временным разделением (уплотнением) каналов
<b>THD</b>	(Total harmonic distortion) — коэффициент гармоник (полный)
<b>TID</b>	(Transient intermodulation distortion) — интермодуляционные искажения в переходном режиме
<b>TR</b>	(Transformer) — трансформатор
<b>TRF</b>	(Tuned radio frequency) — радиоприемник прямого усиления
<b>TTL</b>	(Transistor transistor logic) — транзистор-транзисторная логика (ТТЛ)
<b>TTY</b>	(Teletype unit) — телетайп
<b>TVI</b>	(Television interface; television interference) — помехи от телевизионных станций
<b>TX</b>	(Transmitter) — передатчик
<b>UART</b>	(Universal asynchronous receiver transmitter) — универсальный асинхронный приемопередатчик
<b>UHF</b>	(Ultra high frequency) — ультравысокая частота (УВЧ), приблизительно 470...854 МГц
<b>UJT</b>	(Unijunction transistor) — однопереходный транзистор
<b>ULA</b>	(Uncommitted logic array) — некоммутированная логическая матрица
<b>V</b>	(Volt) — вольт (В)
<b>VA</b>	(Volt-amps) — вольт-ампер (В·А)
<b>VCA</b>	(Voltage controlled amplifier) — усилитель, управляемый напряжением
<b>VCO</b>	(Voltage controlled oscillator) — генератор, управляемый напряжением
<b>VCT</b>	(Voltage to current transactor) — преобразователь ток—напряжение
<b>VHF</b>	(Very high frequency (approx. 88...216 MHz) — очень высокая частота, приблизительно 88...216 МГц (ОВЧ). Диапазон метровых волн (МВ)
<b>VLF</b>	(Very low frequency) — диапазон сверхдлинных волн
<b>VU</b>	(Volume unit) — единица усредненной громкости
<b>W</b>	(Watt) — ватт (Вт)
<b>Wb</b>	(Weber) — вебер (Вб)
<b>W/F</b>	(Wow and flutter) — детонация, коэффициент детонации
<b>WPM</b>	(Words per minute) — количество слов (кодовых групп) в минуту
<b>X</b>	(Reactance) — реактивное сопротивление
<b>Xtal</b>	(Crystal) — кварцевый генератор, кристаллический детектор, пьезокристалл
<b>Z</b>	(Impedance) — импеданс (Z)
<b>ZD</b>	(Zener diode) — стабилитрон

### 3.2. ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН И ИХ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Единица измерения	Обозначение		Примечания
	международное	русское	
Ампер	A	А	Единица силы электрического тока ( $I$ ) в системе СИ
Ампер на метр	Am <sup>-1</sup>	А·м <sup>-1</sup>	Единица напряженности магнитного поля ( $H$ ) в системе СИ
Ампер-виток	At	ав	Единица магнитодвижущей силы ( $F$ ) в системе СИ
Ампер-час	Ah	А·ч	—
Ангстрем	Å	Å	1 Å = 10 <sup>-10</sup> м
Апостильб	asb	асб	Единица яркости. 1 асб = (1/π) кдм <sup>-2</sup>
Атмосфера (техническая)	at	ат	1 ат = 98066.5 Н·м <sup>-2</sup> 1 ат = 1 кгс·см <sup>-2</sup>
Атмосфера (физическая)	atm	атм	1 атм = 101325 Н·м <sup>-2</sup>
Атомная единицы массы	u	а.е.м.	а.е.м. равна 1/12 массы атома углерода <sup>12</sup> C. 1 а.е.м. = 1.66056·10 <sup>-27</sup> кг
Бар	bar	бар	1 бар = 100000 Н·м <sup>-2</sup>
Барн	b	б	Внесистемная единица измерения площади в ядерной физике 1 б = 10 <sup>-28</sup> м <sup>2</sup>
Беккерель	Bq	Бк	Единица активности ( $A$ ) радиоактивного вещества. 1 Бк = 1 с <sup>-1</sup>
Бел	B	Б	Единица отношения $P_1/P_2$ или $I_1/I_2$
Бит	b	бит	Единица информации
Бод	Bd	бд	Единица скорости передачи по аналоговым линиям связи
Британская тепловая единица	Btu	б.т.е.	—
Бэр	rem	бэр	Единица дозы в радиационной дозиметрии, «биологический эквивалент рентгена». 1 бэр = 10 <sup>-2</sup> Дж·кг <sup>-1</sup>
Вар	var	вар	Единица реактивной мощности
Ватт	W	Вт	Единица мощности в системе СИ
Ватт на стерадиан	Wsr <sup>-1</sup>	Вт·ср <sup>-1</sup>	Единица интенсивности излучения в системе СИ
Ватт на стерадиан квадратный метр	W(sr m <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup>	Вт/(ср·м <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup>	Единица энергетической яркости в системе СИ
Ватт-час	Wh	Вт·ч	—
Вебер	Wb	Вб	Единица магнитного потока ( $\Phi$ ) в системе СИ
Вольт	V	В	Единица электрического напряжения (разности потенциалов) в системе СИ
Вольт-ампер	VA	В·А (Вт)	Единица полной мощности в системе СИ

(продолжение)

Единица измерения	Обозначение		Примечания
	международное	русское	
Гал	Gal	Гал	Единица ускорения в Великобритании. 1 Гал = 1 см/с <sup>2</sup>
Галлон	gal	гал	Единица вместимости. В США и Великобритании величины галлона, кварты и пинты различны: 1 гал (США) = 3.785 дм <sup>3</sup> 1 гал (брит.) = 4.546 дм <sup>3</sup>
Гаусс	G	Гс	Единица магнитной индукции в системе СГС
Генри	H	Гн	Единица индуктивности в системе СИ
Герц	Hz	Гц	Единица частоты в системе СИ
Гигагерц	GHz	ГГц	1 ГГц = 10 <sup>9</sup> Гц
Гигаэлектрон-вольт	GeV	ГэВ	1 ГэВ = 10 <sup>9</sup> эВ
Гильберт	Gb	Гб	Единица магнитодвижущей силы в системе СГС
Градус	°	°	Единица измерения углов на плоскости
Градус	—	—	Общее наименование различных единиц измерения температуры
Градус Кельвина	—	—	См. Кельвин
Градус Реомюра	°R	°R	1°R равен 1/80 разности температур кипения воды и таяния льда при атм. давлении. 1°R = 5/4°C
Градус Фаренгейта	°F	°F	1°F равен 1/180 разности температур кипения воды и таяния льда при атм. давлении. Температура таяния льда равна +32°F. 1°F = 5/9°C
Градус Цельсия	°C	°C	1°C равен 10 <sup>-2</sup> разности температур кипения воды и таяния льда при атм. давлении. За точку отсчета (0°C) принята температура таяния льда
Грам	g	г	Единица массы в системе СГС
Гран	gr	—	Единица массы
Грей	Gy	Гр	Единица поглощенной дозы излучения в системе СИ. 1 гр = 10 <sup>2</sup> Дж/кг <sup>-1</sup>
Децибел	dB	дБ	1 дБ = 0.1 Б
Джоуль	J	Дж	Единица мощности в системе СИ
Джоуль на Кельвин	JK <sup>-1</sup>	Дж/К <sup>-1</sup>	Единица теплоемкости и энтропии в системе СИ
Дина	dyn	дин	Единица силы в системе СГС [гсмс <sup>-2</sup> ]. 1 дин = 1·10 <sup>-5</sup> Н
Дюйм	in	дюйм	1 дюйм = 25.4 мм
Дюйм в секунду	in s <sup>-1</sup>	дюйм·с <sup>-1</sup>	—
Калория (международная калория)	cal <sub>IT</sub>	кал	1 кал = 4.1868 Дж На 9-й Международной конференции мер и весов в качестве единицы теплоты был принят джоуль, поэтому следует избегать использования калории как единицы теплоты

(продолжение)

Единица измерения	Обозначение		Примечания
	международное	русское	
Калория (термохимическая калория)	cal	кал	1 кал = 4,1840 Дж См. примечание для международной калории
Кандела	cd	кд	Единица силы света ( $I$ ) в системе СИ
Кандела на квадратный дюйм	cd in <sup>2</sup>	—	Предпочтительнее использовать единицу системы СИ (кандела на квадратный метр)
Кандела на квадратный метр (нит)	cd m <sup>2</sup>	кд·м <sup>2</sup>	Единица яркости ( $B$ ) в системе СИ
Квадратный дюйм	in <sup>2</sup>	дюйм <sup>2</sup>	1 дюйм <sup>2</sup> = 6,452 см <sup>2</sup>
Квадратный метр	m <sup>2</sup>	м <sup>2</sup>	Единица площади в системе СИ
Квадратный фут	ft <sup>2</sup>	фут <sup>2</sup>	1 фут <sup>2</sup> = 9,29 дм <sup>2</sup>
Квадратный ярд	yd <sup>2</sup>	ярд <sup>2</sup>	1 ярд <sup>2</sup> = 0,8361 м <sup>2</sup>
Кварта	qt	—	Единица вместимости. В США и Великобритании величины галлона, кварты и пинты различны
Кельвин	K	К	Единица температуры, ранее называвшаяся <i>градусом Кельвина</i> . Символ К в настоящее время используется без символа °
Киловар	kvar	квар	1 квар = 1000 вар
Киловатт	kW	кВт	1 кВт = 1000 Вт
Киловатт-час	kWh	кВт·ч	1 кВт·ч = 1000 Вт·ч
Киловольт	kV	кВ	1 кВ = 1000 В
Киловольт-ампер	kVA	кВ·А	1 кВ·А = 1000 В·А
Килогаусс	kG	кГс	1 кГс = 1000 Гс
Килогерц	kHz	кГц	1 кГц = 1000 Гц
Килограмм	kg	кг	Единица массы в системе СИ
Килограмм-сила	kgf	—	В некоторых странах для этой единицы используют термин <i>kilopond</i> (kp)
Килоджоуль	kJ	кДж	1 кДж = 1000 Дж
Километр	km	км	1 км = 1000 м
Километр в час	km h <sup>-1</sup>	км·ч <sup>-1</sup>	1 км/ч = 0,28 м/с
Килоом	kΩ	кОм	1 кОм = 1000 Ом
Килопонд	kp	—	См. Килограмм-сила
Килоэлектрон-вольт	keV	кэВ	1 кэВ = 1000 эВ
Круговой мил	cmil	—	1 cmil = (π/4)10 <sup>-6</sup> дюйм <sup>2</sup>
Кубический дюйм	in <sup>3</sup>	дюйм <sup>3</sup>	1 дюйм <sup>3</sup> = 16,39 см <sup>3</sup>
Кубический метр	m <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>	Единица вместимости
Кубический метр в секунду	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	м <sup>3</sup> ·с <sup>-1</sup>	—
Кубический сантиметр	cm <sup>3</sup>	см <sup>3</sup>	1 см <sup>3</sup> = 10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup>
Кубический фут	ft <sup>3</sup>	фут <sup>3</sup>	1 фут <sup>3</sup> = 28,32 дм <sup>3</sup>

Единица измерения	Обозначение		Примечания
	международное	русское	
Кубический фут в минуту	$\text{ft}^3 \text{min}^{-1}$	$\text{фут}^3 \text{мин.}^{-1}$	—
Кубический фут в секунду	$\text{ft}^3 \text{s}^{-1}$	$\text{фут}^3 \text{с}^{-1}$	—
Кубический ярд	$\text{yd}^3$	$\text{ярд}^3$	$1 \text{ ярд}^3 = 0,7646 \text{ м}^3$
Кулон	C	Кл	Единица электрического заряда ( $Q$ ) в системе СИ
Кюри	Ci	Ки	Внесистемная единица активности в радиационной дозиметрии. $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$
Ламберт	L	Лб	Единица яркости в системе СГС
Литр	l	л	—
Литр в секунду	$\text{ls}^{-1}$	$\text{л} \cdot \text{с}^{-1}$	—
Лошадиная сила	hp	л.с.	Единица мощности. $1 \text{ л.с.} = 735,49875 \text{ Вт}$ . В Великобритании $1 \text{ л.с.} = 745,7 \text{ Вт}$
Люкс	lx	лк	$1 \text{ лк} = 1 \text{ лм} \cdot \text{м}^{-2}$ . См. Люмен на квадратный метр
Люмен	lm	лм	Единица светового потока ( $\Phi$ ) в системе СИ
Люмен на ватт	$\text{lm W}^{-1}$	$\text{лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$	Единица световой эффективности в системе СИ
Люмен на квадратный метр	$\text{lm m}^{-2}$	$\text{лм} \cdot \text{м}^{-2}$	Единица освещенности в системе СИ
Люмен на квадратный фут	$\text{lm ft}^{-2}$	—	—
Люмен-секунда	lms	лм·с	Единица световой энергии ( $Q$ )
Максвелл	Mx	Мкс	Единица магнитного потока ( $\Phi$ ) в системе СГС
Мегаватт	MW	МВт	$1 \text{ МВт} = 10^6 \text{ Вт}$
Мегавольт	MV	МВ	$1 \text{ МВ} = 10^6 \text{ В}$
Мегагерц	MHz	МГц	$1 \text{ МГц} = 10^6 \text{ Гц}$
Мегаэлектрон-вольт	MeV	МэВ	$1 \text{ МэВ} = 10^6 \text{ эВ}$
Мегом	MΩ	МОм	$1 \text{ МОм} = 10^6 \text{ Ом}$
Метр	m	м	Единица длины в системе СИ
Микроампер	μA	мкА	$1 \text{ мкА} = 10^{-6} \text{ А}$
Микробар	μbar	мкбар	$1 \text{ мкбар} = 10^{-6} \text{ бар}$
Микроватт	μW	мкВт	$1 \text{ мкВт} = 10^{-6} \text{ Вт}$
Микрогенри	μH	мкГн	$1 \text{ мкГн} = 10^{-6} \text{ Гн}$
Микрограмм	μg	мкг	$1 \text{ мкг} = 10^{-6} \text{ г}$
Микрометр	μm	мкм	$1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$
Микрон	—	—	То же, что и <i>микрометр</i> , однако использование термина <i>микрометр</i> как системной единицы предпочтительнее
Микросекунда	μs	мкс	$1 \text{ мкс} = 10^{-6} \text{ с}$
Микрофарад	μF	мкФ	$1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$

(продолжение)

Единица измерения	Обозначение		Примечания
	международное	русское	
Милл	mil	мил	1 мил = 0.001 дюйма
Миллиампер	mA	мА	1 мА = 0.001 А
Миллибар	mbar	мбар	1 мбар = 0.001 бар
Милливатт	mW	мВт	1 мВт = 0.001 Вт
Милливольт	mV	мВ	1 мВ = 0.001 В
Миллигал	mGal	мГал	См. Гал
Миллигенри	mH	мГн	1 мГн = 0.001 Гн
Миллиграмм	mg	мг	1 мг = 0.001 г
Миллилитр	ml	мл	1 мл = 0.001 л
Миллиметр	mm	мм	1 мм = 0.001 м
Миллиметр ртутного столба	mm Hg	мм рт. ст.	1 мм рт. ст. = 133.322 Н·м <sup>-2</sup>
Миллимикрон	—	—	Термин <i>нанометр</i> как системный предпочтительнее
Миллисекунда	ms	мс	1 мс = 0.001 с
Миля (морская)	nmi	—	Внесистемная единица измерения расстояния в морском деле. 1 морская миля = 1852 м
Миля (сухопутная)	mi	—	1 миля = 1609,344 м
Миля в час	mi h <sup>-1</sup>	—	—
Минута	'	'	Единица измерения углов на плоскости
Минута	min	мин.	Одна из единиц измерения времени. Время может быть обозначено одновременно несколькими единицами. Например, 9 ч 46 мин. 30 с
Мо	mho или S	См, мо	Единица электрической проводимости в системе СИ. 1 См = 1 Ом <sup>-1</sup>
Моль	mol	моль	Единица количества вещества в системе СИ
Морская миля	nmi	—	1 морская миля = 1825 м
Пикоампер	pA	пА	1 пА = 10 <sup>-9</sup> А
Пиковатт	pW	пВт	1 пВт = 10 <sup>-9</sup> Вт
Нанометр	nm	нм	1 нм = 10 <sup>-9</sup> м
Наносекунда	ns	нс	1 нс = 10 <sup>-9</sup> с
Нанофарад	nF	нФ	1 нФ = 10 <sup>-9</sup> Ф
Непер	Np	Нп	Единица измерения логарифмической величины
Нит	nt	нт	1 нт = 1 кд·м <sup>-2</sup> . См. Кандела на квадратный метр
Ньютон	N	Н	Единица силы в системе СИ
Ньютон на квадратный метр	Nm <sup>-2</sup>	Н·м <sup>-2</sup>	См. Паскаль
Ньютон-метр	Nm	Н·м	Единица момента силы в системе СИ
Оборот в минуту	r min <sup>-1</sup>	об·мин. <sup>-1</sup>	1 об/мин = 0.017 об/с

(продолжение)

Единица измерения	Обозначение		Примечания
	международное	русское	
Оборот в секунду	rs <sup>-1</sup>	об/с <sup>-1</sup>	Внесистемная единица скорости вращения
Ом	Ω	Ом	Единица электрического сопротивления в системе СИ
Паскаль	Pa	Па	Единица давления и напряжения в системе СИ. 1 Па = 1 Н·м <sup>-2</sup>
Пикоампер	pA	пА	1 пА = 10 <sup>-12</sup> А
Пиковатт	pW	пВт	1 пВт = 10 <sup>-12</sup> Вт
Пикосекунда	ps	пс	1 пс = 10 <sup>-12</sup> с
Пикофарад	pF	пФ	1 пФ = 10 <sup>-12</sup> Ф
Пинта	pt	—	Единица вместимости. В США и Великобритании величины галлона, кварты и пинты различны
Рад	rd	рад	В радиационной дозиметрии внесистемная единица поглощенной дозы излучения
Радян	rad	рад	Единица измерения углов на плоскости
Рентген	R	Р	В радиационной дозиметрии внесистемная единица (доза) рентгеновского и гамма-излучения. 1 рентген = 2.57976·10 <sup>-4</sup> Кл·кг <sup>-1</sup>
Сантиметр	cm	см	1 см = 0.01 м
Свеча	—	—	После присвоения единице силы света названия <i>кандела</i> следует избегать термина <i>свеча</i> как единицы силы света
Секунда	"	"	Единица измерения углов на плоскости
Секунда	s	с	Одна из единиц измерения времени. Время может быть обозначено одновременно несколькими единицами. Например, 9 ч 46 мин. 30 с
Сименс	S	См	Единица проводимости в системе СИ. 1 См = 1 Ом <sup>-1</sup>
Стерadian	sr	ср	Единица измерения телесных углов
Стильб	sb	сб	Единица яркости в системе СГС. 1 сб = 1 кд·см <sup>-2</sup>
Тесла	T	Т	Единица магнитной индукции (В) в системе СИ
Тонна	t	т	1 т = 1000 кг
Узел	kn	уз.	1 уз. = 1 морская миля в час = 1.609 км·ч <sup>-1</sup>
Унция	oz	—	Единица вместимости в английской системе весов и объемов
Фарад	F	Ф	Единица электрической емкости в системе СИ
Фунт	lb	фунт	Единица массы и единица силы в Великобритании. 1 фунт = 453.59 г
Фунт на квадратный дюйм	—	—	См. фунт-сила на квадратный дюйм
Фунтал	pdl	—	Единица силы в Великобритании. 1 Фунтал = 0.138255 Н
Фунт-сила	lb <sub>f</sub>	—	1 фунт-сила = 4.448 Н

(окончание)

Единица измерения	Обозначение		Примечания
	международное	русское	
Фунт-сила на квадратный дюйм	lb/in <sup>2</sup>	—	1 Фунт-сила на квадратный дюйм = 6,895 кПа
Фунт-сила-фут	lb·ft	—	1 фунт-сила-фут = 1,3558 Дж
Фут	ft	фут	Единица длины в Великобритании и некоторых англоязычных странах. 1 фут = 30,48 см
Фут в минуту	ft min <sup>-1</sup>	фут·мин. <sup>-1</sup>	Единица скорости в Великобритании
Фут в секунду	ft s <sup>-1</sup>	фут·с <sup>-1</sup>	1 фут·с <sup>-1</sup> = 0,3048 м·с <sup>-1</sup>
Фут в секунду в квадрате	ft s <sup>-2</sup>	фут·с <sup>-2</sup>	Единица ускорения в Великобритании
Футкандела	fc	—	Единица силы света в Великобритании
Футламберг	fL	—	Единица яркости в Великобритании
Футофунт-сила	ftlb <sub>f</sub>	—	Единица силы в британской системе измерения с основными единицами измерения (фунт, фут, секунда). Футофунт — единица работы в этой же системе
Цикл	c	цикл	—
Цикл в секунду	cs <sup>-1</sup>	цикл·с <sup>-1</sup>	Устаревшее. Обычно используется единица измерения частоты — герц (Гц)
Час	h	ч	Одна из единиц измерения времени. Время может быть обозначено одновременно несколькими единицами. Например, 9 ч 46 мин. 30 с
Электрон-вольт	eV	эВ	Внесистемная единица энергии. 1 эВ = 1,60207·10 <sup>-19</sup> Дж
Эрг	erg	эрг	Единица энергии и работы в системе СГС [дин·см]. 1 эрг = 1·10 <sup>-7</sup> Дж
Эрланг	E	—	Единица интенсивности обработки требований в телефонии (единица потока информации)
Эрстед	Oe	Э	Единица напряженности магнитного поля (H) в системе СГС
Ярд	yd	ярд	1 ярд = 91,44 см

### 3.3. ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ЭЛЕКТРОНИКЕ

Величина	Символ	Единица измерения	Обозначение единицы измерения
Время релаксации	$\tau$	секунда	с
Диэлектрическая постоянная (диэлектрическая проницаемость вакуума)	$\epsilon_0$	фарад на метр	Ф/м
Диэлектрическая проницаемость	$\epsilon$	фарад на метр	Ф/м
Длина волны	$\lambda$	метр	м
Добротность	$Q$	—	—
Емкость	$C$	фарад	Ф
Заряд	$Q, q$	кулон	Кл
Импеданс (полное сопротивление)	$Z$	ом	Ом
Индукция электрического поля	$D$	кулон на кв. метр	Кл/м <sup>2</sup>
Магнитная постоянная (магнитная проницаемость вакуума)	$\mu$	генри на метр	Гн/м
Магнитная проводимость	$\Lambda$	генри	Гн
Магнитная проницаемость	$\mu_0$	генри на метр	Гн/м
Магнитное сопротивление	$R$	обратные к генри	1/Гн
Мощность	$P$	ватт	Вт
Напряженность электрического поля	$E$	вольт на метр	В/м
Относительная диэлектрическая проницаемость	$\epsilon_r$	—	—
Относительная магнитная проницаемость	$\mu_r$	—	—
Период	$T$	секунда	с
Плотность заряда	$\sigma$	кулон на кв. метр	Кл/м <sup>2</sup>
Плотность тока	$j, J$	ампер на кв. метр	А/м <sup>2</sup>
Полная (кажущаяся) мощность	$S$	вольт-ампер	В·А
Полная проводимость	$Y$	сименс	См
Постоянная времени	$\tau$	секунда	с
Постоянная Фарадея	$F$	кулон на моль	Кл/моль
Потенциал	$V, U$	вольт	В
Поток электрической индукции	$\Psi$	кулон	Кл
Реактивная мощность	$Q$	вольт-ампер	В·А
Реактивная проводимость	$B$	сименс	См
Реактивное сопротивление	$X$	ом	Ом
Сила электрического тока	$I$	ампер	А
Скорость света в вакууме	$c$	метр в секунду	м/с
Сопротивление	$R$	ом	Ом
Термодинамическая температура	$T$	кельвин	К
Угловая частота	$\omega$	оборот в секунду	с <sup>-1</sup>

(окончание)

Величина	Символ	Единица измерения	Обозначение единицы измерения
Удельная электропроводность	$\kappa, \gamma, \sigma$	сименс на метр	См/м
Удельное сопротивление	$\rho$	ом-метр	Ом·м
Фаза	$\phi$	°	°
Частота	$f$	герц	Гц
ЭДС	$E$	вольт	В
Электропроводность	$G$	сименс	См
Энергия	$E$	джоуль	Дж

### 3.4. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПОСТОЯННЫЕ (ОСНОВНЫЕ КОНСТАНТЫ)

Константа	Обозначение	Величина	Единица измерения
Диэлектрическая постоянная	$\epsilon_0$	$8,85419 \cdot 10^{-12}$	Ф·м <sup>-1</sup>
Заряд протона	$e$	$+1,60219 \cdot 10^{-19}$	Кл
Заряд электрона	$e$	$-1,60219 \cdot 10^{-19}$	Кл
Магнитная постоянная	$\mu_0$	$4\pi \cdot 10^{-7}$	Гн·м <sup>-1</sup>
Масса покоя нейтрона	$m_n$	$1,67492 \cdot 10^{-27}$	кг
Масса покоя протона	$m_p$	$1,67251 \cdot 10^{-27}$	кг
Масса покоя электрона	$m_e$	$9,10956 \cdot 10^{-31}$	кг
Отношение заряда электрона к его массе	$e/m$	$1,7588 \cdot 10^{11}$	Кл·кг <sup>-1</sup>
Постоянная Больцмана	$k$	$1,38062 \cdot 10^{-23}$	Дж·К <sup>-1</sup>
Постоянная Планка	$h$	$6,6262 \cdot 10^{-34}$	Дж·с
Радиус электрона	$r_e$	$2,81794 \cdot 10^{-15}$	м
Скорость света	$c$	$2,99793 \cdot 10^8$	м·с <sup>-1</sup>
Число Фарадея	$F$	$9,64867 \cdot 10^4$	Кл·моль <sup>-1</sup>

### 3.5. СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ЕДИНИЦАМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Ампер [А] × ом [Ом] = вольт [В]

Вольт [В] ÷ ампер [А] = ом [Ом]

Вольт [В] ÷ ом [Ом] = ампер [А]

Ампер [А] × вольт [В] = ватт [Вт]

Ампер в квадрате [А<sup>2</sup>] × ом [Ом] = ватт [Вт]

Вольт в квадрате [В<sup>2</sup>] ÷ ом [Ом] = ватт [Вт]

Джоуль в секунду [Дж/с] = ватт [Вт]

Кулон в секунду [Кл/с] = ампер [А]

Ампер-секунда  $[A \times c] = \text{кулон [Кл]}$   
 Фарад  $[Ф] \times \text{вольт [В]} = \text{кулон [Кл]}$   
 Кулон  $[Кл] / \text{вольт [В]} = \text{фарад [Ф]}$   
 Кулон  $[Кл] / \text{фарад [Ф]} = \text{вольт [В]}$   
 Вольт  $[В] \times \text{кулон [Кл]} = \text{джоуль [Дж]}$   
 Фарад  $[Ф] \times \text{вольт в квадрате [В}^2] = \text{джоуль [Дж]}$

### 3.6. РАЗМЕРНОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Размерность физической величины устанавливает ее связь с основными величинами. Эта связь выражается произведением степеней размерностей основных величин. (Следует различать понятия «размерность» и «единица измерения».)

Физическая величина	Единица величины	Обозначение	Размерность
Длина (основная величина)	Метр	$l$	L
Масса (основная величина)	Килограмм	$m$	M
Время (основная величина)	Секунда	$t$	T
Количество электричества, заряд (основная величина)*	Кулон	$q$	Q
Площадь	Квадратный метр	$S, A$	$L^2$
Объем	Кубический метр	$V$	$L^3$
Скорость	Метр в секунду	$v$	$L \cdot T^{-1}$
Ускорение	Метр в секунду в квадрате	$a$	$L \cdot T^{-2}$
Сила	Ньютон	$F$	$M \cdot L \cdot T^{-2}$
Работа	Джоуль	$A$	$M \cdot L^2 \cdot T^{-2}$
Мощность	Ватт	$P$	$M \cdot L^2 \cdot T^{-3}$
Сила электрического тока	Ампер	$I$	$Q \cdot T^{-1}$
Электрическое напряжение	Вольт	$V$	$M \cdot L^2 \cdot T^{-2} \cdot Q^{-1}$
Электрическое сопротивление	Ом	$R$	$M \cdot L^2 \cdot T^{-1} \cdot Q^{-2}$
Электрическая проводимость	Сименс	$G$	$M^{-1} \cdot L^{-2} \cdot T \cdot Q^2$
Индуктивность	Генри	$L$	$M \cdot L^2 \cdot Q^{-2}$
Электрическая емкость	Фарад	$C$	$M^{-1} \cdot L^{-2} \cdot T^2 \cdot Q^2$
Плотность тока	Ампер, отнесенный к квадратному метру	$j$	$L^{-2} \cdot T^{-1} \cdot Q$
Напряженность электрического поля	Вольт, отнесенный к метру	$E$	$M \cdot L \cdot T^{-2} \cdot Q^{-1}$
Магнитный поток	Вебер	$\Phi$	$M \cdot L^2 \cdot T^{-2} \cdot Q^{-1}$
Плотность магнитного потока	Тесла	$B$	$M \cdot T^{-1} \cdot Q^{-1}$
Энергия	Джоуль	$E$	$M \cdot L^2 \cdot T^{-2}$
Частота	Герц	$f$	$T^{-1}$
Давление	Паскаль	$p$	$M \cdot L^{-1} \cdot T^{-2}$

\* В системе СИ основной величиной является сила электрического тока (прим. редактора).

## 3.7. ОСНОВНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ СИСТЕМЫ СИ\*

Величина	Единица	Обозначение
Время	Секунда	с
Длина	Метр	м
Заряд (количество электричества)**	Кулон	Кл
Количество вещества	Моль	моль
Масса	Килограмм	кг
Плоский угол	Радиан	рад
Телесный угол	Стерadian	ср
Сила света	Кандела	кд
Термодинамическая температура	Кельвин	К

\* Единая Международная система единиц. Принята в 1960 г.

\*\* В системе СИ основной величиной является сила электрического тока (прим. редактора).

## 3.8. ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

**Ампер** — единица силы электрического тока. Постоянный ток в один ампер, поддерживаемый в двух прямых параллельных друг другу проводниках бесконечной длины и пренебрежимо малого поперечного сечения, расположенных на расстоянии одного метра друг от друга в вакууме, вызывает между ними взаимодействие с силой, равной  $2 \cdot 10^{-7}$  ньютона на метр длины.

**Ампер-час** — единица количества электричества, равная 3600 кулонам. Определяется как ток в проводнике силой один ампер, протекающий за один час.

**Кандела** — единица силы света. Определяется как сила света, испускаемого в перпендикулярном направлении абсолютно черным телом с площадью поверхности  $1/600000$  м<sup>2</sup> при температуре затвердевания платины под давлением  $101325$  Н·м<sup>-2</sup>.

**Кулон** — единица электрического заряда. Количество электричества, переносимое током силой один ампер за одну секунду.

**Децибел (дБ)** — единица отношения двух сравниваемых по мощности акустических или электрических сигналов. Несмотря на то что формальной единицей является бел, использовать децибелы предпочтительнее, так как бел слишком велик для измеряемых на практике величин. Отношение двух уровней мощности,  $P_1$  и  $P_2$ , записывается как

$$10 \lg \frac{P_1}{P_2} \text{ [дБ]}.$$

**Фарад** — единица электрической емкости. Емкость конденсатора равна одному фараду, если разность потенциалов между пластинами этого конденсатора составляет один вольт при заря-

де конденсатора в один кулон. На практике используют единицы, производные от фарада: микрофарад ( $10^{-6}$  фарад), нанофарад ( $10^{-9}$  фарад) и пикофарад ( $10^{-12}$  фарад).

**Генри** — единица электрической индуктивности. Индуктивность в замкнутом контуре составляет один генри, если равномерное изменение электрического тока в этом контуре, равное одному амперу в секунду, вызывает электродвижущую силу в один вольт. На практике используют единицы, производные от генри: микрогенри ( $10^{-6}$  генри) и миллигенри ( $10^{-3}$  генри).

**Герц** — единица частоты. Определяется как количество повторений регулярного явления в секунду.

**Джоуль** — единица энергии, включая работу и количество тепла. Определяется как работа по перемещению тела из точки приложения силы, равной одному ньютону, на расстояние один метр в направлении действия силы.

**Киловольт-ампер** — 1000 вольт-ампер.

**Киловатт** — 1000 ватт.

**Люмен на квадратный метр, люкс** — единица освещенности поверхности.

**Мо** — единица проводимости, см. Сименс.

**Ньютон** — единица силы. Сила, равная одному ньютону, приложенная к телу массой в один килограмм, придает ему ускорение, равное  $1 \text{ м/с}^2$ .

**Ом** — единица электрического сопротивления. Определяется как электрическое сопротивление между двумя точками проводника, по которому протекает ток силой 1 А, вызванный разностью приложенных к этим точкам потенциалов в 1 В.

**Паскаль** — единица давления. Под давлением понимают отношение силы, действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности. В акустике этим термином называют среднеквадратическое давление звукового сигнала неискаженной синусоидальной формы.

**Сименс** — единица проводимости, обратная единице электрического сопротивления — ому. Например, проводимость тела сопротивлением 4 Ом равна 0.25 сименса.

**Тесла** — единица магнитной индукции, равная одному веберу на площадь круга, равную квадратному метру.

**Вольт** — единица электрического потенциала. Разность электрических потенциалов между двумя точками проводника равна одному вольту, если при протекании постоянного тока силой один ампер между двумя этими точками рассеивается энергия в один ватт.

**Вольт-ампер** — произведение среднеквадратического значения (rms) напряжения, равного одному вольту, на среднеквадра-

тическое значение (rms) тока, равное одному амперу.

**Ватт** — единица мощности, равная одному джоулю в секунду. Произведение вольта и ампера также имеет размерность ватта.

**Вебер** — единица магнитного потока. Вебер определяют как ограниченный одним замкнутым витком контура магнитный поток, который при уменьшении до нуля с постоянной скоростью в течение одной секунды вызывает в контуре электродвижущую силу в один вольт.

**Скорость света** — световая волна проходит приблизительно 300000 километров за одну секунду. С такой же скоростью распространяются электромагнитные колебания любой частоты (в частности, радиоволны).

**Скорость звука** — звуковой сигнал в воздухе на уровне моря проходит приблизительно 332 метра за одну секунду.

### 3.9. ГРЕЧЕСКИЙ АЛФАВИТ

Заглавная буква	Строчная буква	Греческое название
Α	α	Альфа
Β	β	Бета
Γ	γ	Гамма
Δ	δ	Дельта
Ε	ε	Эпсилон
Ζ	ζ	Дзета
Η	η	Эта
Θ	θ	Тета
Ι	ι	Йота
Κ	κ	Каппа
Λ	λ	Ламбда
Μ	μ	Мю
Ν	ν	Ню
Ξ	ξ	Кси
Ο	ο	Омикрон
Π	π	Пи
Ρ	ρ	Ро
Σ	σ	Сигма
Τ	τ	Тау
Υ	υ	Ипсилон
Φ	φ	Фи
Χ	χ	Хи
Ψ	ψ	Пси
Ω	ω	Омега

### 3.10. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ КРАТНЫХ И ДОЛЬНЫХ ЕДИНИЦ

Для того чтобы преобразовать единицы измерения с префиксами, указанными в крайнем левом столбце, в единицы измерения с префиксами, указанными в верхней строке, необходимо умножить на коэффициент в соответствующей ячейке таблицы.

	Пико-	Нано-	Микро-	Милли-	Санти-	Деци-	Целая	Дека-	Гекто-	Кило-	Мириа-	Мега-	Гига-	Тера-
Пико-	1	0.001	$10^{-6}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$	$10^{-11}$	$10^{-12}$	$10^{-13}$	$10^{-14}$	$10^{-15}$	$10^{-16}$	$10^{-18}$	$10^{-21}$	$10^{-24}$
Нано-	$10^3$	1	0.001	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$	$10^{-11}$	$10^{-12}$	$10^{-13}$	$10^{-15}$	$10^{-18}$	$10^{-21}$
Микро-	$10^6$	$10^3$	1	0.001	0.0001	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$	$10^{-12}$	$10^{-15}$	$10^{-16}$
Милли-	$10^9$	$10^6$	$10^3$	1	0.1	0.01	0.001	0.0001	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-9}$	$10^{-12}$	$10^{-15}$
Санти-	$10^{10}$	$10^7$	$10^4$	10	1	0.1	0.01	0.001	0.0001	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-8}$	$10^{-11}$	$10^{-14}$
Деци-	$10^{11}$	$10^8$	$10^5$	100	10	1	0.1	0.01	0.001	0.0001	$10^{-5}$	$10^{-7}$	$10^{-10}$	$10^{-13}$
Целая	$10^{12}$	$10^9$	$10^6$	$10^3$	100	10	1	0.1	0.01	0.001	0.0001	$10^{-6}$	$10^{-9}$	$10^{-12}$
Дека-	$10^{13}$	$10^{10}$	$10^7$	$10^4$	$10^3$	100	10	1	0.1	0.01	0.001	$10^{-5}$	$10^{-8}$	$10^{-11}$
Гекто-	$10^{14}$	$10^{11}$	$10^8$	$10^5$	$10^4$	$10^3$	100	10	1	0.1	0.01	0.0001	$10^{-7}$	$10^{-10}$
Кило-	$10^{15}$	$10^{12}$	$10^9$	$10^6$	$10^5$	$10^4$	$10^3$	100	10	1	0.1	0.001	$10^{-6}$	$10^{-9}$
Мириа-	$10^{16}$	$10^{13}$	$10^{10}$	$10^7$	$10^6$	$10^5$	$10^4$	$10^3$	100	10	1	0.01	$10^{-5}$	$10^{-8}$
Мега-	$10^{18}$	$10^{15}$	$10^{12}$	$10^9$	$10^8$	$10^7$	$10^6$	$10^5$	$10^4$	$10^3$	100	1	0.001	$10^{-6}$
Гига-	$10^{21}$	$10^{18}$	$10^{15}$	$10^{12}$	$10^{11}$	$10^{10}$	$10^9$	$10^8$	$10^7$	$10^6$	$10^5$	$10^3$	1	0.001
Тера-	$10^{24}$	$10^{21}$	$10^{18}$	$10^{15}$	$10^{14}$	$10^{13}$	$10^{12}$	$10^{11}$	$10^{10}$	$10^9$	$10^8$	$10^6$	$10^3$	1

### 3.11. КОЭФФИЦИЕНТЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Правило преобразования:  $A = B \times C$ ,

где  $A$  — значение физической величины в системе единиц первой колонки,  $B$  — значение физической величины в системе единиц второй колонки,  $C$  — коэффициент (третья колонка).

Единица измерения (А)	Единица измерения (В)	Коэффициент (С)
Log <sub>e</sub> или ln	Log <sub>10</sub> или lg	0.4343
Акр	Квадратный фут	$4.356 \cdot 10^{-4}$
Акр	Квадратный метр	4047
Акр	Квадратный ярд	$4.84 \cdot 10^{-3}$
Акр	Гектар	0.4047
Ампер на кв. см	Ампер на кв. дюйм	6.452
Ампер-виток	Гильберт	1.257
Ампер-виток на см	Ампер-виток на дюйм	2.540
Ампер-час	Кулон	3600
Ангстрем	Нанометр	$10^{-1}$
Ар	Квадратный метр	$10^2$
Атмосфера	Бар	1.0133
Атмосфера	Мм рт. ст. при 0°C	760
Атмосфера	Фут воды при 4°C	33.90
Атмосфера	Дюйм рт. ст. при 0°C	29.92
Атмосфера	Кг на кв. м	$1.033 \cdot 10^4$
Атмосфера	Ньютон на кв. м	$1.0133 \cdot 10^5$
Атмосфера	Фунт на кв. дюйм	14.70
Бар	Ньютон на кв м	$10^5$
Бар	Гектольеза	1
Бар	Дина на кв. см	$10^6$
Бар	Паскаль (ньютон на кв. м)	$10^5$
Бария	Ньютон на кв. м	$10^{-1}$
Барн	Квадратный метр	$10^{-28}$
Британская лошадиная сила (745.7 Вт или 550 фут-фунтов в секунду)	Британских тепловых единиц в минуту	42.41
Британская лошадиная сила (745.7 Вт или 550 фут-фунтов в секунду)	Фут-фунтов в минуту	$3.3 \cdot 10^4$
Британская лошадиная сила (745.7 Вт или 550 фут-фунтов в секунду)	Киловатты	0.745
Британская лошадиная сила (745.7 Вт или 550 фут-фунтов в секунду)	Килограмм-калорий в минуту	10.69
Британская тепловая единица	Фут-фунт	778.3
Британская тепловая единица	Джоуль	1054.8
Британская тепловая единица	Килограмм-калория	0.2520
Британская тепловая единица	Лошадиная сила-час (брит)	$3.929 \cdot 10^{-4}$

(продолжение)

Единица измерения (А)	Единица измерения (В)	Коэффициент (С)
Британская унция	Фунт	$6.25 \cdot 10^{-2}$
Бушель	Кубический фут	1.2445
Ватт	Британских тепловых единиц в минуту	$5.689 \cdot 10^{-2}$
Ватт	Эрг в секунду	$10^7$
Ватт	Фут-фунт в минуту	44.26
Ватт	Британская лошадиная сила (745.7 Вт или 550 фут-фунтов в секунду)	$1.341 \cdot 10^{-3}$
Ватт	Метрическая лошадиная сила (735.5 Вт или 542.5 фут-фунтов в секунду)	$1.360 \cdot 10^{-3}$
Ватт	Кг-калория в минуту	$1.433 \cdot 10^{-2}$
Вебер на кв. м	Гаусс	$10^4$
Галлон (жидк., США)	Галлон (жидк. брит.)	0.8327
Гамма	Тесла	$10^{-9}$
Гаусс	Количество силовых линий поля на кв. дюйм	6.452
Гаусс	Тесла	$10^{-4}$
Гектар	Кв. метр	$10^4$
Гектар	Акр	2.471
Гильберт	Ампер	$7.9577 \cdot 10^{-1}$
Градус (угловой)	Радян	$1.745 \cdot 10^{-2}$
Градус Цельсия	Градус Фаренгейта	$9/5^\circ\text{C} + 32$
Грамм	Дина	980.7
Грамм	Гран	15.43
Грамм	Унция	$3.527 \cdot 10^{-2}$
Грамм	Фунталь	$7.093 \cdot 10^{-2}$
Грамм кв. см	Фунт на кв. дюйм	2.0481
Грамм на куб. см	Фунт на куб. дюйм	$3.613 \cdot 10^{-2}$
Грамм на см	Фунт на дюйм	$5.660 \cdot 10^{-3}$
Гран (для вычислений влажности)	Фунт (британская система единиц массы)	$1429 \cdot 10^{-4}$
Джоуль	Фут-фунт	0.7376
Джоуль	Эрг	$10^7$
Джоуль	Грамм-калория (среднее)	0.2389
Дина	Фунт	$2.248 \cdot 10^{-6}$
Дина	Ньютон	$10^{-5}$
Дюйм	Сантиметр	2.540
Дюйм	Фут	$8.333 \cdot 10^{-2}$
Дюйм	Миля	$1.578 \cdot 10^{-5}$
Дюйм	Мил	1000
Дюйм	Ярд	$2.778 \cdot 10^{-2}$
Дюйм воды при 4°C	Килограмм на кв. метр	25.40

(продолжение)

Единица измерения (А)	Единица измерения (В)	Коэффициент (С)
Дюйм воды при 4°С	Унция на кв. дюйм	0.5782
Дюйм воды при 4°С	Фунт на кв. фут	5.202
Дюйм воды при 4°С	Дюйм рт. ст.	$7.355 \cdot 10^{-2}$
Дюйм на унцию	Метр на ньютон	$9.136 \cdot 10^{-2}$
Дюйм рт. ст. при 0°С	Фунтов на кв. дюйм	0.4912
Жидкая унция	Кварта	$3.125 \cdot 10^{-2}$
Звено	Дюйм	7.92
Звено (мера длины в земледелии)	Чейн	0.01
Калория (международная)	Джоуль	4.1868
Калория (термохимическая)	Джоуль	4.184
Карат (метрический)	Грамм	0.2
Кв. дюйм	Круговой мил	$1.273 \cdot 10^6$
Кв. дюйм	Кв. сантиметр	6.452
Кв. миллиметр	Круговой мил	1973
Кв. миля	Кв. ярд	$3.098 \cdot 10^6$
Кв. миля	Акр	640
Кв. миля	Кв. километр	2.590
Кв. фут	Кв. метр	$9.290 \cdot 10^{-2}$
Кварта	Галлон	0.25
Киловатт-час	Британская тепловая единица	3413
Киловатт-час	Фут-фунт	$2.655 \cdot 10^6$
Киловатт-час	Джоуль	$3.6 \cdot 10^6$
Киловатт-час	Килограмм-калория	860
Киловатт-час	Килограмм-метр	$3.67 \cdot 10^5$
Киловатт-час	Фунт сожженного угля	0.235
Киловатт-час	Фунт воды, испаренной при 212 градусах Фаренгейта	3.53
Киловатт-час	Фунт воды, нагретой от 62 до 212 градусов Фаренгейта	22.75
Килограмм	Длинная (английская) тонна (= 1016.06 кг или 2040 фунтов)	$9.842 \cdot 10^{-4}$
Килограмм	Короткая (малая) тонна (= 907.2 кг или 2000 фунтов)	$1.102 \cdot 10^{-3}$
Килограмм	Фунт (британский)	2.205
Килограмм на кв. м	Фунт на кв. фут	0.2048
Килограмм на км	Фунт (брит.) на милю (сухопутную)	3.548
Килограмм-калория	Килограмм-метр	426.9
Килограмм-калория	Килджоуль	4.186
Килограмм-метр	Джоуль	0.102

(продолжение)

Единица измерения (А)	Единица измерения (В)	Коэффициент (С)
Килограмм-сила	Ньютон	0.102
Километр	Фут	3281
Килофунт-сила	Ньютон	9.81
Кип (внесистемная единица массы, равная 1000 фунтов (= 453.59 кг))	Ньютон	$4.448 \cdot 10^3$
Корд (единица измерения объема круглых лесоматериалов)	Кубический метр	3.625
Круговой мил	Квадратный сантиметр	$5.067 \cdot 10^{-6}$
Круговой мил	Квадратный мил	0.7854
Кубический дюйм	Кубический сантиметр	16.39
Кубический дюйм	Кубический фут	$5.787 \cdot 10^{-4}$
Кубический дюйм	Кубический метр	$1.639 \cdot 10^{-5}$
Кубический метр	Кубический фут	35.31
Кубический метр	Кубический ярд	1.308
Кубический фут	Корд	$7.8125 \cdot 10^{-3}$
Кубический фут	Литр	28.32
Ламберт	Кандела на кв. см	0.3183
Ламберт	Кандела на кв. дюйм	2.054
Ламберт	Кандела на кв. м	$3.183 \cdot 10^4$
Лига	Миля	3 (приблизительно)
Литр	Бушель (сыпуч., США)	$2.838 \cdot 10^{-2}$
Литр	Куб. см	1000
Литр	Куб. м	0.001
Литр	Куб. дюйм	61.02
Литр	Галлон (жидк., брит.)	0.2642
Литр	Пинта (жидк., брит.)	1.816
Люкс	Люмен на кв. фут	0.0929
Люмен на кв. фут	Фут-кандела	1
Максвелл	Вебер	$10^{-8}$
Метр	Ярд	1.094
Метр	Вара	1.179
Метр в мин.	Фут в мин.	3.281
Метр в мин.	Км в час	0.06
Метрическая лошадиная сила (735.5 Вт или 542.5 фут-фунтов в секунду)	Британских тепловых единиц в минуту	41.83
Метрическая лошадиная сила (735.5 Вт или 542.5 фут-фунтов в секунду)	Фут-фунтов в минуту	$3.255 \cdot 10^4$
Метрическая лошадиная сила (735.5 Вт или 542.5 фут-фунтов в секунду)	Килограмм-калорий в минуту	10.54

(продолжение)

Единица измерения (А)	Единица измерения (В)	Коэффициент (С)
Метрическая лошадиная сила (735.5 Вт или 542.5 фут-фунтов в секунду)	Британская лошадиная сила (745.7 Вт или 550 фут-фунтов в секунду)	0.9863
Микрон	Метр	$10^{-6}$
Микроом на куб. см	Микроом на куб. дюйм	0.3937
Микроом на куб. см	Ом на тысячу футов	6.015
Мил	Метр	$2.54 \cdot 10^{-5}$
Миллибар	Дюйм мм рт. ст.	0.02953
Миллибар ( $10^3$ дин на кв. см)	Фунт на кв. фут	2.089
Миля (морская)	Фут	6076.1
Миля (морская)	Метр	1852
Миля (морская)	Миля (сухопутная)	1.1508
Миля (сухопутная)	Фут	5280
Миля (сухопутная)	Километр	1.609
Миля в час	Км в мин.	$2.682 \cdot 10^{-2}$
Миля в час	Фут в мин.	88
Миля в час	Км в час	1.609
Непер	Децибел	8.686
Ньютон	Дина	$10^5$
Ньютон	Килограмм	0.1020
Ньютон	Фунтал	7.233
Ньютон	Фунт	0.2248
Паскаль	Ньютон на кв. м	1
Паскаль	Фут на кв. дюйм	$1.45 \cdot 10^{-4}$
Пшита	Кварта	0.50
(Повышение температуры, °С)/Ч(галлон воды (США))/минута	Ватт	264
Пуаз (внесистемная единица динамической вязкости (СГС))	Ньютон-секунда на кв. метр	$10^{-1}$
Пьеза	Ньютон на кв. м	$10^3$
Пьеза	Стен на кв. метр	1
Род (ед. длины)	Фут	16.5
Слаг (ед. массы)	Фунт (британский)	32.174
Стер (кубический метр)	Куб. метр	1
Стоке (внесистемная единица кинематической вязкости)	Кв. метр в секунду	$10^{-4}$
Тонна	Килограмм	$10^3$
Тонна (грузовая, США)	Куб. фут	40
Тонна (длинная, 1016 кг, 2240 фунтов)	Тонна (1000 кг)	1.016
Тонна (длинная, 1016 кг, 2240 фунтов)	Тонна (короткая)	1.120
Тонна (короткая, 907.2 кг, 2000 фунтов)	Тонна (1000 кг)	0.9072
Торр (внесистемная единица давления)	Ньютон на кв. м	133.32
Узел	Метр в минуту	30.87
Узел	Миля (сухопутная) в час	1.1508

(окончание)

Единица измерения (А)	Единица измерения (В)	Коэффициент (С)
Узел (морская миля в час)	Фут в секунду	1.688
Унция-дюйм	Ньютон-метр	$7.062 \cdot 10^{-3}$
Фатом (морская сажень)	Фут	6
Фатом (морская сажень)	Метр	1.8288
Ферми	Метр	$10^{-15}$
Фунт воды	Кубический фут	$1.603 \cdot 10^{-2}$
Фунт на дюйм	Килограмм на метр	17.86
Фунт на кв. дюйм	Килограмм на кв. метр	703.1
Фунт на кв. фут	Фунт на кв. дюйм	$6.944 \cdot 10^{-3}$
Фунт на кв. фут	Килограмм на кв. метр	4.882
Фунт на куб. дюйм	Фунт на куб. фут	1728
Фунт на куб. фут	Килограмм на куб. метр	16.02
Фунт на милю (сухопутную)	Килограмм на километр	0.2818
Фунт на фут	Килограмм на метр	1.488
Фунтал	Дина	$1.383 \cdot 10^4$
Фунтал	Фунт (британский)	$3.108 \cdot 10^{-2}$
Фут	Сантиметр	30.48
Фут	Вара	0.3594
Фут воды при 4°С	Дюйм мм рт. ст. при 0°С	0.8826
Фут воды при 4°С	Кг на кв. метр	304.8
Фут воды при 4°С	Фунт на кв. фут	62.43
Фут-кандела	Люмен на кв. метр	10.764
Фут-кандела	Кандела на кв. метр	3.4263
Фут-фунт	Лошадиная сила-час (брит.)	$5.050 \cdot 10^{-7}$
Фут-фунт	Килограмм-метр	0.1383
Фут-фунт	Киловатт-час	$3.766 \cdot 10^{-7}$
Чейн (мерная цепь)	Фут	66
Электрон-вольт	Джоуль	$1.602 \cdot 10^{-19}$
Эрг	Фут-фунт	$7.376 \cdot 10^{-8}$
Эрг	Джоуль	$10^{-7}$
Эрстед	Ампер на метр	$7.9577 \cdot 10^1$
Ярд	Фут	3

### 3.12. ДОЛИ ДЮЙМА И ИХ МЕТРИЧЕСКИЕ ЭКВИВАЛЕНТЫ

Доли дюйма		Доли дюйма в десятичном представлении	Миллиметры
	1/64	0.0156	0.397
1/32		0.0312	0.794
	3/64	0.0468	1.191
1/16		0.0625	1.588
	5/64	0.0781	1.985
3/32		0.0938	2.381
	7/64	0.1094	2.778
1/8		0.1250	3.175
	9/64	0.1406	3.572
5/32		0.1563	3.969
	11/64	0.1719	4.366
3/16		0.1875	4.762
	13/64	0.2031	5.159
9/32		0.2187	5.556
	15/64	0.2344	5.953
1/4		0.2500	6.350
	17/64	0.2656	6.747
9/32		0.2813	7.144
	19/64	0.2969	7.541
5/16		0.3125	7.937
	21/64	0.3281	8.334
11/32		0.3438	8.731
	23/64	0.3593	9.128
3/8		0.3750	9.525
	25/64	0.3906	9.922
13/32		0.4063	10.319
	27/64	0.4219	10.716
7/16		0.4375	11.112
	29/64	0.4531	11.509
15/32		0.4687	11.906
	31/64	0.4844	12.303
1/2		0.5000	12.700
	33/64	0.5156	13.097
17/32		0.5313	13.494
	35/64	0.5469	13.891
9/16		0.5625	14.287
	37/64	0.5781	14.684
19/32		0.5938	15.081
	39/64	0.6094	15.478
5/8		0.6250	15.875

(окончание)

Доли дюйма		Доли дюйма в десятичном представлении	Миллиметры
	41/64	0.6406	16.272
21/32		0.6563	16.668
	43/64	0.6719	17.065
11/16		0.6875	17.462
	45/64	0.7031	17.859
23/32		0.7188	18.256
	47/64	0.7344	18.653
3/4		0.7500	19.050
	49/64	0.7656	19.447
25/32		0.7813	19.843
	51/64	0.7969	20.240
13/16		0.8125	20.637
	53/64	0.8281	21.034
27/32		0.8438	21.431
	55/64	0.8594	21.828
7/8		0.8750	22.225
	57/64	0.8906	22.622
29/32		0.9062	23.019
	59/64	0.9219	23.416
15/16		0.9375	23.812
	61/64	0.9531	24.209
31/32		0.9688	24.606
	63/64	0.9844	25.003
		1.000	25.400

### 3.13. ТАБЛИЦА СООТВЕТСТВИЯ КОДОВ (часть первая)

Десятичный	Восьмеричный	Шестнадцатеричный	Набор двоичных разрядов							Символ ASCII
			7	6	5	4	3	2	1	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NUL
1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	SOH
2	2	2	0	0	0	0	0	1	0	STX
3	3	3	0	0	0	0	0	1	1	ETX
4	4	4	0	0	0	0	1	0	0	EOT
5	5	5	0	0	0	0	1	0	1	ENQ
6	6	6	0	0	0	0	1	1	0	ACK
7	7	7	0	0	0	0	1	1	1	BEL
8	10	8	0	0	0	1	0	0	0	BS
9	11	9	0	0	0	1	0	0	1	HT
10	12	A	0	0	0	1	0	1	0	LF
11	13	B	0	0	0	1	0	1	1	VT
12	14	C	0	0	0	1	1	0	0	FF
13	15	D	0	0	0	1	1	0	1	CR
14	16	E	0	0	0	1	1	1	0	SO
15	17	F	0	0	0	1	1	1	1	SI
16	20	10	0	0	1	0	0	0	0	DLE
17	21	11	0	0	1	0	0	0	1	DC1
18	22	12	0	0	1	0	0	1	0	DC2
19	23	13	0	0	1	0	0	1	1	DC3
20	24	14	0	0	1	0	1	0	0	DC4
21	25	15	0	0	1	0	1	0	1	NAK
22	26	16	0	0	1	0	1	1	0	SYN
23	27	17	0	0	1	0	1	1	1	ETB
24	30	18	0	0	1	1	0	0	0	CAN
25	31	19	0	0	1	1	0	0	1	EM
26	32	1A	0	0	1	1	0	1	0	SUB
27	33	1B	0	0	1	1	0	1	1	ESC
28	34	1C	0	0	1	1	1	0	0	FS
29	35	1D	0	0	1	1	1	0	1	GS
30	36	1E	0	0	1	1	1	1	0	RS
31	37	1F	0	0	1	1	1	1	1	US
32	40	20	0	1	0	0	0	0	0	SPACE

(продолжение)

Десятичный	Восьмеричный	Шестнадцатеричный	Набор двоичных разрядов							Символ ASCII
			7	6	5	4	3	2	1	
33	41	21	0	1	0	0	0	0	1	!
34	42	22	0	1	0	0	0	1	0	"
35	43	23	0	1	0	0	0	1	1	#
36	44	24	0	1	0	0	1	0	0	\$
37	45	25	0	1	0	0	1	0	1	%
38	46	26	0	1	0	0	1	1	0	&
39	47	27	0	1	0	0	1	1	1	'
40	50	28	0	1	0	1	0	0	0	(
41	51	29	0	1	0	1	0	0	1	)
42	52	2A	0	1	0	1	0	1	0	*
43	53	2B	0	1	0	1	0	1	1	+
44	54	2C	0	1	0	1	1	0	0	,
45	55	2D	0	1	0	1	1	0	1	-
46	56	2E	0	1	0	1	1	1	0	.
47	57	2F	0	1	0	1	1	1	1	/
48	60	30	0	1	1	0	0	0	0	0
49	61	31	0	1	1	0	0	0	1	1
50	62	32	0	1	1	0	0	1	0	2
51	63	33	0	1	1	0	0	1	1	3
52	64	34	0	1	1	0	1	0	0	4
53	65	35	0	1	1	0	1	0	1	5
54	66	36	0	1	1	0	1	1	0	6
55	67	37	0	1	1	0	1	1	1	7
56	70	38	0	1	1	1	0	0	0	8
57	71	39	0	1	1	1	0	0	1	9
58	72	3A	0	1	1	1	0	1	0	:
59	73	3B	0	1	1	1	0	1	1	;
60	74	3C	0	1	1	1	1	0	0	<
61	75	3D	0	1	1	1	1	0	1	=
62	76	3E	0	1	1	1	1	1	0	>
63	77	3F	0	1	1	1	1	1	1	?
64	100	40	1	0	0	0	0	0	0	@
65	101	41	1	0	0	0	0	0	1	A
66	102	42	1	0	0	0	0	1	0	B

(окончание)

Десятичный	Восьмеричный	Шестнадцатеричный	Набор двоичных разрядов							Символ ASCII
			7	6	5	4	3	2	1	
67	103	43	1	0	0	0	0	1	1	C
68	104	44	1	0	0	0	1	0	0	D
69	105	45	1	0	0	0	1	0	1	E
70	106	46	1	0	0	0	1	1	0	F
71	107	47	1	0	0	0	1	1	1	G
72	110	48	1	0	0	1	0	0	0	H
73	111	49	1	0	0	1	0	0	1	I
74	112	4A	1	0	0	1	0	1	0	J
75	113	4B	1	0	0	1	0	1	1	K
76	114	4C	1	0	0	1	1	0	0	L
77	115	4D	1	0	0	1	1	0	1	M
78	116	4E	1	0	0	1	1	1	0	N
79	117	4F	1	0	0	1	1	1	1	O
80	120	50	1	0	1	0	0	0	0	P
81	121	51	1	0	1	0	0	0	1	Q
82	122	52	1	0	1	0	0	1	0	R
83	123	53	1	0	1	0	0	1	1	S
84	124	54	1	0	1	0	1	0	0	T
85	125	55	1	0	1	0	1	0	1	U
86	126	56	1	0	1	0	1	1	0	V
87	127	57	1	0	1	0	1	1	1	W
88	130	58	1	0	1	1	0	0	0	X
89	131	59	1	0	1	1	0	0	1	Y
90	132	5A	1	0	1	1	0	1	0	Z
91	133	5B	1	0	1	1	0	1	1	[
92	134	5C	1	0	1	1	1	0	0	\
93	135	5D	1	0	1	1	1	0	1	]
94	136	5E	1	0	1	1	1	1	0	?
95	137	5F	1	0	1	1	1	1	1	?
96	140	60	1	1	0	0	0	0	0	-
97	141	61	1	1	0	0	0	0	1	a
98	142	62	1	1	0	0	0	1	0	b
99	143	63	1	1	0	0	0	1	1	c
100	144	64	1	1	0	0	1	0	0	d

**3.14. ТАБЛИЦА СООТВЕТСТВИЯ КОДОВ**  
**(часть вторая)**

Десятичный	Восьмеричный	Шестнадцатеричный	Набор двоичных разрядов								Символ ASCII
			7	6	5	4	3	2	1		
101	145	65	1	1	0	0	1	0	1		e
102	146	66	1	1	0	0	1	1	0		f
103	147	67	1	1	0	0	1	1	1		g
104	150	68	1	1	0	1	0	0	0		h
105	151	69	1	1	0	1	0	0	1		i
106	152	6A	1	1	0	1	0	1	0		j
107	153	6B	1	1	0	1	0	1	1		k
108	154	6C	1	1	0	1	1	0	0		l
109	155	6D	1	1	0	1	1	0	1		m
110	156	6E	1	1	0	1	1	1	0		n
111	157	6F	1	1	0	1	1	1	1		o
112	160	70	1	1	1	0	0	0	0		p
113	161	71	1	1	1	0	0	0	1		q
114	162	72	1	1	1	0	0	1	0		r
115	163	73	1	1	1	0	0	1	1		s
116	164	74	1	1	1	0	1	0	0		t
117	165	75	1	1	1	0	1	0	1		u
118	166	76	1	1	1	0	1	1	0		v
119	167	77	1	1	1	0	1	1	1		w
120	170	78	1	1	1	1	0	0	0		x
121	171	79	1	1	1	1	0	0	1		y
122	172	7A	1	1	1	1	0	1	0		z
123	173	7B	0	1	1	1	1	0	1	1	
124	174	7C	0	1	1	1	1	1	0	0	
125	175	7D	0	1	1	1	1	1	0	1	
126	176	7E	0	1	1	1	1	1	1	0	
127	177	7F	0	1	1	1	1	1	1	1	DEL
128	200	80	1	0	0	0	0	0	0	0	
129	201	81	1	0	0	0	0	0	0	1	
130	202	82	1	0	0	0	0	0	1	0	
131	203	83	1	0	0	0	0	0	1	1	
132	204	84	1	0	0	0	0	1	0	0	

(продолжение)

Десятичный	Восьмеричный	Шестнадцатеричный	Набор двоичных разрядов								Символ ASCII
			7	6	5	4	3	2	1	0	
133	205	85	1	0	0	0	0	1	0	1	
134	206	86	1	0	0	0	0	1	1	0	
135	207	87	1	0	0	0	0	1	1	1	
136	210	88	1	0	0	0	1	0	0	0	
137	211	89	1	0	0	0	1	0	0	1	
138	212	8A	1	0	0	0	1	0	1	0	
139	213	8B	1	0	0	0	1	0	1	1	
140	214	8C	1	0	0	0	1	1	0	0	
141	215	8D	1	0	0	0	1	1	0	1	
142	216	8E	1	0	0	0	1	1	1	0	
143	217	8F	1	0	0	0	1	1	1	1	
144	220	90	1	0	0	1	0	0	0	0	
145	221	91	1	0	0	1	0	0	0	1	
146	222	92	1	0	0	1	0	0	1	0	
147	223	93	1	0	0	1	0	0	1	1	
148	224	94	1	0	0	1	0	1	0	0	
149	225	95	1	0	0	1	0	1	0	1	
150	226	96	1	0	0	1	0	1	1	0	
151	227	97	1	0	0	1	0	1	1	1	
152	230	98	1	0	0	1	1	0	0	0	
153	231	99	1	0	0	1	1	0	0	1	
154	232	9A	1	0	0	1	1	0	1	0	
155	233	9B	1	0	0	1	1	0	1	1	
156	234	9C	1	0	0	1	1	1	0	0	
157	235	9D	1	0	0	1	1	1	0	1	
158	236	9E	1	0	0	1	1	1	1	0	
159	237	9F	1	0	0	1	1	1	1	1	
160	240	A0	1	0	1	0	0	0	0	0	
161	241	A1	1	0	1	0	0	0	0	1	
162	242	A2	1	0	1	0	0	0	1	0	
163	243	A3	1	0	1	0	0	0	1	1	
164	244	A4	1	0	1	0	0	1	0	0	
165	245	A5	1	0	1	0	0	1	0	1	
166	246	A6	1	0	1	0	0	1	1	0	

(продолжение)

Десятичный	Восьмеричный	Шестнадцатеричный	Набор двоичных разрядов								Символ ASCII
			7	6	5	4	3	2	1		
167	247	A7	1	0	1	0	0	1	1	1	
168	250	A8	1	0	1	0	1	0	0	0	
169	251	A9	1	0	1	0	1	0	0	1	
170	252	AA	1	0	1	0	1	0	1	0	
171	253	AB	1	0	1	0	1	0	1	1	
172	254	AC	1	0	1	0	1	1	0	0	
173	255	AD	1	0	1	0	1	1	0	1	
174	256	AE	1	0	1	0	1	1	1	0	
175	257	AF	1	0	1	0	1	1	1	1	
176	260	B0	1	0	1	1	0	0	0	0	
177	261	B1	1	0	1	1	0	0	0	1	
178	262	B2	1	0	1	1	0	0	1	0	
179	263	B3	1	0	1	1	0	0	1	1	
180	264	B4	1	0	1	1	0	1	0	0	
181	265	B5	1	0	1	1	0	1	0	1	
182	266	B6	1	0	1	1	0	1	1	0	
183	267	B7	1	0	1	1	0	1	1	1	
184	270	B8	1	0	1	1	1	0	0	0	
185	271	B9	1	0	1	1	1	0	0	1	
186	272	BA	1	0	1	1	1	0	1	0	
187	273	BB	1	0	1	1	1	0	1	1	
188	274	BC	1	0	1	1	1	1	0	0	
189	275	BD	1	0	1	1	1	1	0	1	
190	276	BE	1	0	1	1	1	1	1	0	
191	277	BF	1	0	1	1	1	1	1	1	
192	300	C0	1	1	0	0	0	0	0	0	
193	301	C1	1	1	0	0	0	0	0	1	
194	302	C2	1	1	0	0	0	0	1	0	
195	303	C3	1	1	0	0	0	0	1	1	
196	304	C4	1	1	0	0	0	1	0	0	
197	305	C5	1	1	0	0	0	1	0	1	
198	306	C6	1	1	0	0	0	1	1	0	
199	307	C7	1	1	0	0	0	1	1	1	
200	310	C8	1	1	0	0	1	0	0	0	

(продолжение)

Десятичный	Восьмеричный	Шестнадцатеричный	Набор двоичных разрядов								Символ ASCII
			7	6	5	4	3	2	1		
201	311	C9	1	1	0	0	1	0	0	1	
202	312	CA	1	1	0	0	1	0	1	0	
203	313	CB	1	1	0	0	1	0	1	1	
204	314	CC	1	1	0	0	1	1	0	0	
205	315	CD	1	1	0	0	1	1	0	1	
206	316	CE	1	1	0	0	1	1	1	0	
207	317	CF	1	1	0	0	1	1	1	1	
208	320	D0	1	1	0	1	0	0	0	0	
209	321	D1	1	1	0	1	0	0	0	1	
210	322	D2	1	1	0	1	0	0	1	0	
211	323	D3	1	1	0	1	0	0	1	1	
212	324	D4	1	1	0	1	0	1	0	0	
213	325	D5	1	1	0	1	0	1	0	1	
214	326	D6	1	1	0	1	0	1	1	0	
215	327	D7	1	1	0	1	0	1	1	1	
216	330	D8	1	1	0	1	1	0	0	0	
217	331	D9	1	1	0	1	1	0	0	1	
218	332	DA	1	1	0	1	1	0	1	0	
219	333	DB	1	1	0	1	1	0	1	1	
220	334	DC	1	1	0	1	1	1	0	0	
221	335	DD	1	1	0	1	1	1	0	1	
222	336	DE	1	1	0	1	1	1	1	0	
223	337	DF	1	1	0	1	1	1	1	1	
224	340	E0	1	1	1	0	0	0	0	0	
225	341	E1	1	1	1	0	0	0	0	1	
226	342	E2	1	1	1	0	0	0	1	0	
227	343	E3	1	1	1	0	0	0	1	1	
228	344	E4	1	1	1	0	0	1	0	0	
229	345	E5	1	1	1	0	0	1	0	1	
230	346	E6	1	1	1	0	0	1	1	0	
231	347	E7	1	1	1	0	0	1	1	1	
232	350	E8	1	1	1	0	1	0	0	0	
233	351	E9	1	1	1	0	1	0	0	1	
234	352	EA	1	1	1	0	1	0	1	0	

(окончание)

Десятичный	Восьмеричный	Шестнадцатеричный	Набор двоичных разрядов								Символ ASCII
			7	6	5	4	3	2	1	0	
235	353	EB	1	1	1	0	1	0	1	1	
236	354	EC	1	1	1	0	1	1	0	0	
237	355	ED	1	1	1	0	1	1	0	1	
238	356	EE	1	1	1	0	1	1	1	0	
239	357	EF	1	1	1	0	1	1	1	1	
240	360	F0	1	1	1	1	0	0	0	0	
241	361	F1	1	1	1	1	0	0	0	1	
242	362	F2	1	1	1	1	0	0	1	0	
243	363	F3	1	1	1	1	0	0	1	1	
244	364	F4	1	1	1	1	0	1	0	0	
245	365	F5	1	1	1	1	0	1	0	1	
246	366	F6	1	1	1	1	0	1	1	0	
247	367	F7	1	1	1	1	0	1	1	1	
248	370	F8	1	1	1	1	1	0	0	0	
249	371	F9	1	1	1	1	1	0	0	1	
250	372	FA	1	1	1	1	1	0	1	0	
251	373	FB	1	1	1	1	1	0	1	1	
252	374	FC	1	1	1	1	1	1	0	0	
253	375	FD	1	1	1	1	1	1	0	1	
254	376	FE	1	1	1	1	1	1	1	0	
255	377	FF	1	1	1	1	1	1	1	1	

## 3.15. УПРАВЛЯЮЩИЕ СИМВОЛЫ ASCII

Десятичный	Шестнадцатеричный	Символ ASCII	Значение	Ввод с клавиатуры
0	00	NUL	Пустой символ	CTRL-@
1	01	SOH	Начало заголовка	CTRL-A
2	02	STX	Начало текста	CTRL-B
3	03	ETX	Конец текста	CTRL-C
4	04	EOT	Конец передачи	CTRL-D
5	05	ENQ	Запрос	CTRL-E
6	06	ACK	Подтверждение приема	CTRL-F

(окончание)

Десятичный	Шестнадцатеричный	Символ ASCII	Значение	Ввод с клавиатуры
7	07	BEL	Звуковой сигнал	CTRL-G
8	08	BS	Возврат на одну позицию	CTRL-H
9	09	HT	Горизонтальная табуляция	CTRL-I
10	0A	LF	Перевод строки	CTRL-J
11	0B	VT	Вертикальная табуляция	CTRL-K
12	0C	FF	Перевод страницы	CTRL-L
13	0D	CR	Возврат каретки	CTRL-M
14	0E	SO	Верхний регистр	CTRL-N
15	0F	SI	Нижний регистр	CTRL-O
16	10	DLE	Удаление	CTRL-P
17	11	DC1	Управление устройством 1	CTRL-Q
18	12	DC2	Управление устройством 2	CTRL-R
19	13	DC3	Управление устройством 3	CTRL-S
20	14	DC4	Управление устройством 4	CTRL-T
21	15	NAK	Неподтверждение приема	CTRL-U
22	16	SYN	Синхронизатор	CTRL-V
23	17	ETB	Конец блока текста	CTRL-W
24	18	CAN	Возврат в исходное состояние	CTRL-X
25	19	EM	Конец носителя данных	CTRL-Y
26	1A	SUB	Замена	CTRL-Z
27	1B	ESC	Переключение кода	CTRL-[
28	1C	FS	Разделитель файлов	CTRL-\
29	1D	GS	Разделитель групп	CTRL-]
30	1E	RS	Разделитель записей	CTRL-^
31	1F	US	Разделитель единиц	CTRL-_

## 3.16. ПОЛЕЗНЫЕ ФОРМУЛЫ

## 3.16.1. Законы Булевой алгебры

Поглощение	$A + (A \cdot B) = A$ $A \cdot (A + B) = A$
Аннулирование	$A \cdot 1 = A$ $A \cdot 0 = 0$
Ассоциативность (объединение)	$(A + B) + C = A + (B + C)$ $(A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C)$
Коммутативность (перестановка)	$A + B = B + A$ $A \cdot B = B \cdot A$
Дополнение	$A + \bar{A} = 1$ $A \cdot \bar{A} = 0$
Правило Де Моргана	$\overline{(A + B)} = \bar{A} \cdot \bar{B}$ $\overline{(A \cdot B)} = \bar{A} + \bar{B}$
Дистрибутивность	$A \cdot (B + C) = (A \cdot B) + (A \cdot C)$ $A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$
Двойное отрицание	$\overline{\bar{A}} = A$
Тождественность	$A + 0 = A$ $A \cdot 1 = A$
Тавтология	$A \cdot A = A$ $A + A = A$

## 3.16.2. Емкость

Емкость конденсатора с параллельными пластинами вычисляется по формуле:

$$C = \frac{0.885kA}{d},$$

где  $C$  выражена в пикофарадах,  $k$  — диэлектрическая постоянная (для воздуха равна единице). Параметр  $A$  — площадь пластины, выраженная в квадратных сантиметрах,  $d$  — толщина слоя диэлектрика, выраженная в миллиметрах.

Правила вычисления общей емкости для:  
параллельного соединения конденсаторов —

$$C = C_1 + C_2 + \dots,$$

последовательного соединения конденсаторов —

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$$

## 3.16.3. Волновое сопротивление

$$Z = 276 \lg \frac{2D}{d} \text{ [Ом]} \text{ (для двупроводной линии),}$$

где  $D$  — расстояние между проводами,  $d$  — диаметр провода.

$$Z = \frac{138}{\sqrt{k}} \lg \frac{d_0}{d_1} \text{ [Ом]} \text{ (для коаксиального кабеля),}$$

где  $k$  — диэлектрическая постоянная,  $d_0$  — внешний диаметр внутреннего проводника,  $d_1$  — внутренний диаметр внешнего проводника.

## 3.16.4. Эквивалентное сопротивление

В параллельном резонансном контуре при резонансе эквивалентное сопротивление вычисляется по формуле:

$$R_E = \frac{L}{Cr} = Q\omega L = \frac{Q}{\omega C} \text{ [Ом]},$$

где  $L$  — индуктивность в генри,  $C$  — емкость в фарадах,  $r$  — действующее последовательное сопротивление в омах,  $Q$  — добротность катушки,  $\omega = 2\pi f$ .

## 3.16.5. Частота — длина волны — скорость

(Также см. 2.16.17.)

Скорость распространения волны равна:

$$v = f\lambda \text{ [м/с]},$$

где  $f$  — частота в герцах,  $\lambda$  — длина волны в метрах.

Скорость распространения электромагнитных колебаний в свободном пространстве равна приблизительно  $3 \cdot 10^8$  м/с, следовательно, частота может быть выражена как

$$f = \frac{300000}{\lambda} \text{ [кГц]} \quad \text{или} \quad f = \frac{300}{\lambda} \text{ [МГц]},$$

а длина волны

$$\lambda = \frac{300000}{f} \text{ [м]} \text{ для частоты, выраженной в килогерцах,}$$

или

$$\lambda = \frac{300}{f} \text{ [м]} \text{ для частоты, выраженной в мегагерцах.}$$

### 3.16.6. Дальность радиогоризонта

Радиогоризонт для диапазона МВ/ДМВ приблизительно на 15% дальше, чем оптический горизонт. В расчете дальности используется несколько уравнений. Если принять  $D$  за дальность радиогоризонта, а  $H$  — за высоту антенны, то

$$D = k\sqrt{H},$$

где

1.  $k = 1.42$ , если  $D$  выражена в сухопутных милях (в одной миле 5280 футов), а  $H$  — в футах.
2.  $k = 1.23$ , если  $D$  выражена в морских милях (в одной миле 6000 футов), а  $H$  — в футах.
3.  $k = 4.12$ , если  $D$  выражена в километрах, а  $H$  — в метрах.

### 3.16.7. Импеданс (полное сопротивление)

Полное сопротивление схемы, включающей в себя элементы, обладающие индуктивностью, емкостью и сопротивлением, соединенные последовательно, составляет:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2},$$

где  $R$  — активное сопротивление в омах,  $L$  — индуктивность в генри,  $C$  — емкость в фарадах, а  $\omega = 2\pi f$ .

### 3.16.8. Индуктивность

Для однослойной катушки:

$$L = \frac{a^2 N^2}{9a + 10l} \text{ [мкГн] (приблизительно).}$$

Для случая, когда известна требуемая индуктивность катушки, количество витков вычисляется по формуле:

$$N = \frac{5L}{na^2} \left[ 1 + \sqrt{\left(1 + \frac{0.36n^2 a^3}{L}\right)} \right],$$

где  $N$  — количество витков,  $a$  — радиус катушки в дюймах,  $n$  — количество витков на дюйм,  $L$  — индуктивность катушки в микрогенри, а  $l$  — длина катушки в дюймах.

Вычисление полной индуктивности при:

последовательном соединении катушек индуктивности —

$$L = L_1 + L_2 + \dots,$$

параллельном соединении катушек индуктивности —

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots$$

### 3.16.9. Расширение пределов шкалы измерения

#### *Увеличение пределов шкалы измерения амперметра или миллиамперметра*

Пределы шкалы измерения амперметра могут быть увеличены посредством подключения шунтирующего резистора к выводам амперметра. Если обозначить сопротивление амперметра как  $R_m$ , сопротивление шунтирующего резистора как  $R_s$ , а коэффициент, на который нужно будет умножить показания шкалы прибора, как  $n$ , то:

$$R_s = \frac{R_m}{(n - 1)}.$$

#### *Увеличение пределов шкалы измерения вольтметра*

Пределы шкалы измерения вольтметра можно увеличить, подключив резистор последовательно с вольтметром. Если сопротивление этого резистора обозначить  $R_s$ , сопротивление вольтметра как  $R_m$ , а коэффициент, на который нужно будет умножать показания шкалы прибора, как  $n$ , то:

$$R_s = R_m \times (n - 1).$$

### 3.16.10. Отрицательная обратная связь

Для обратной связи по напряжению коэффициент усиления выражается формулой:

$$G = \frac{A}{1 + Ab}.$$

где  $A$  — исходный коэффициент усиления усилительной схемы, охваченной обратной связью (включая выходной трансформатор, если такой имеется), а  $b$  — та часть выходного напряжения, которая поступает обратно на вход по петле обратной связи.

Искажения в усилителе с обратной связью:

$$D = \frac{d}{1 + Ab},$$

где  $d$  — коэффициент искажения усилителя.

**3.16.11. Закон Ома**

$$I = \frac{V}{R}, \quad V = IR, \quad R = \frac{V}{I},$$

где  $I$  — ток в амперах,  $V$  — напряжение в вольтах, а  $R$  — сопротивление в омах.

**3.16.12. Мощность**

Мощность, вырабатываемая в цепи постоянного тока, выражается формулой:

$$W = VI = \frac{V^2}{R} = I^2 R \text{ [Вт]},$$

где  $V$  — напряжение в вольтах,  $I$  — ток в амперах,  $R$  — сопротивление в омах.

**3.16.13. Отношение мощностей сигналов**

$$P = 10 \lg \frac{P_1}{P_2},$$

где  $P_1$  и  $P_2$  — два уровня мощности.

**3.16.14. Добротность**

Добротность катушки индуктивности вычисляется по формуле:

$$Q = \frac{\omega L}{R}.$$

**3.16.15. Реактивное сопротивление**

Реактивное сопротивление катушки индуктивности:

$$X_L = \omega L \text{ [Ом]},$$

реактивное сопротивление конденсатора:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \text{ [Ом]},$$

где  $\omega = 2\pi f$ ,  $L$  — индуктивность в генри,  $C$  — емкость в фарадах. Полное сопротивление последовательно соединенных катушки индуктивности и конденсатора равно  $X_L - X_C$ .

**3.16.16. Сопротивление**

Вычисление сопротивления:

последовательно соединенных резисторов —

$$R = R_1 + R_2 + \dots ,$$

параллельно соединенных резисторов —

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots .$$

**3.16.17. Резонанс**

Резонансная частота контура выражается формулой:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ [Гц]},$$

где  $L$  — индуктивность в генри,  $C$  — емкость в фарадах.

Если выразить индуктивность в микрогенри [мкГн], а емкость — в пикофарадах [пФ], то формула приобретет вид:

$$f = \frac{10^6}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ [Гц]}.$$

После перестановки можно записать:

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C} \text{ [Гн]} \quad \text{и} \quad C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L} \text{ [Ф]}.$$

Так как  $2\pi f$  равняется  $\omega$ , эти уравнения можно переписать в виде:

$$L = \frac{1}{\omega^2 C} \text{ [Гн]} \quad \text{и} \quad C = \frac{1}{\omega^2 L} \text{ [Ф]}.$$

**3.16.18. Постоянная времени**

Для последовательно соединенных катушки индуктивности и резистора постоянная времени (т.е. время, необходимое для того, чтобы ток достиг уровня 63% от его окончательного значения) выражается формулой:

$$\tau = \frac{L}{R} \text{ [с]},$$

где  $L$  — индуктивность в генри, а  $R$  — сопротивление в омах.

Для последовательно соединенных конденсатора и резистора постоянная времени (т.е. время, необходимое для того, чтобы ток достиг уровня 63% от его окончательного значения) выража-

ется формулой:

$$\tau = CR [c],$$

где  $C$  — емкость в фарадах, а  $R$  — сопротивление в омах.

### 3.16.19. Коэффициент трансформации трансформатора

Коэффициентом трансформации называется отношение количества витков одной обмотки к количеству витков другой обмотки. Во избежание путаницы всегда желательно определять, в каком смысле это соотношение применяется, например «отношение количества витков первичной обмотки к количеству витков вторичной обмотки». Коэффициент трансформации и отношение импедансов связаны между собой следующим соотношением:

$$\frac{n_p}{n_s} = \sqrt{\frac{Z_p}{Z_s}},$$

где  $n_p$  — количество витков первичной обмотки,  $n_s$  — количество витков вторичной обмотки,  $Z_p$  — импеданс первичной обмотки в омах,  $Z_s$  — импеданс вторичной обмотки в омах.

### 3.16.20. Номинальная мощность

Если значения сопротивления и тока известны, то:

$$W = I^2 R,$$

где  $I$  — ток, выраженный в амперах, или

$$W = \frac{I^2}{1000000} \times R,$$

где ток  $I$  выражен в миллиамперах.

Если известны значения номинальной мощности и сопротивления нагрузки, то величина допустимого тока в нагрузке может быть вычислена по формуле:

$$I [\text{mA}] = 1000 \times \sqrt{\frac{W [\text{Вт}]}{R [\text{Ом}]}}.$$

### 3.16.21. Длина волны резонансного контура

Формула для определения длины волны резонансного колебательного контура, выраженной в метрах, выглядит следующим образом:

$$I = 1885\sqrt{LC},$$

где  $L$  — индуктивность в микрогенри,  $C$  — емкость в микрофарадах.

### 3.17. ДЕСЯТИЧНЫЕ МНОЖИТЕЛИ И ПРИСТАВКИ

Приставка	Символ	Множитель
тера	Т	$10^{12}$
гига	Г	$10^9$
мега	М	$10^6$
кило	к	$10^3$
гекто	г	$10^2$
дека	да	10
деци	д	$10^{-1}$
санти	с	$10^{-2}$
милли	м	$10^{-3}$
микро	мк	$10^{-6}$
нано	н	$10^{-9}$
пико	п	$10^{-12}$
фемто	ф	$10^{-15}$
атто	а	$10^{-18}$

### 3.18. РЕАКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЕМКОСТИ

	50 Гц	100 Гц	1 кГц	10 кГц	100 кГц	1 МГц	10 МГц	100 МГц
1 пФ	—	—	—	—	1.6 М	160 к	16 к	1.6 к
10 пФ	—	—	—	1.6 М	160 к	16 к	1.6 к	160
50 пФ	—	—	3.2 М	320 к	32 к	3.2 к	320	32
250 пФ	—	6.4 М	640 к	64 к	6.4 к	640	64	6.4
1000 пФ	3.2 М	1.6 М	160 к	16 к	1.6 к	160	16	1.6
2000 пФ	1.6 М	800 к	80 к	8 к	800	80	8	0.8
0.01 мкФ	320 к	160 к	16 к	1.6 к	160	16	1.6	0.16
0.05 мкФ	64 к	32 к	3.2 к	320	32	3.2	0.32	—
0.1 мкФ	32 к	16 к	1.6 к	160	16	1.6	0.16	—
1 мкФ	3.2 к	1.6 к	160	16	1.6	0.16	—	—
2.5 мкФ	1.3 к	640	64	6.4	0.64	—	—	—
5 мкФ	640	320	32	3.2	0.32	—	—	—
10 мкФ	320	160	16	1.6	0.16	—	—	—
30 мкФ	107	53	5.3	0.53	—	—	—	—
100 мкФ	32	16	1.6	0.16	—	—	—	—
1000 мкФ	3.2	1.6	0.16	—	—	—	—	—

Примечание. Значения выше 10 МОм и ниже 0.1 Ом не указаны. Все сопротивления в омах, за исключением значений, рядом с которыми стоят буквы «к» — килоомы и «М» — мегомы.

### 3.19. РЕАКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ

	50 Гц	100 Гц	1 кГц	10 кГц	100 кГц	1 МГц	10 МГц	100 МГц
1 мкГн	—	—	—	—	0.63	6.3	63	630
5 мкГн	—	—	—	0.31	3.1	31	310	3.1к
10 мкГн	—	—	—	0.63	6.3	63	630	6.3к
50 мкГн	—	—	0.31	3.1	31	310	3.1к	31к
100 мкГн	—	—	0.63	6.3	63	630	6.3к	63к
250 мкГн	—	0.16	1.6	16	160	1.6к	16к	160к
1 мГн	0.31	0.63	6.3	63	630	6.3к	63к	630к
2.5 мГн	0.8	1.6	16	160	1.6к	16к	160к	1.6М
10 мГн	3.1	6.3	63	630	6.3к	63к	630к	6.3М
25 мГн	8	16	160	1.6к	16к	160к	1.6М	—
100 мГн	31	63	630	6.3к	63к	630к	6.3М	—
1 Гн	310	630	6.3к	63к	630к	6.3М	—	—
5 Гн	1.5к	3.1к	31к	310к	3.1М	—	—	—
10 Гн	3.1к	6.3к	63к	630к	6.3М	—	—	—
100 Гн	31к	63к	630к	6.3М	—	—	—	—

**Примечание.** Значения свыше 10 МОм и ниже 0.1 Ом не указаны. Все сопротивления в омах, за исключением значений, рядом с которыми стоят буквы «к» — килоомы и «М» — мегаомы.

### 3.20. ПОСТОЯННЫЕ ВРЕМЕНИ РС

Время [с]	Емкость [мкФ]									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.1	1.0 М	500 к	333 к	250 к	200 к	166 к	143 к	125 к	111 к	100 к
0.15	1.5 М	750 к	500 к	375 к	300 к	250 к	214 к	188 к	167 к	150 к
0.2	2.0 М	1.00 М	666 к	500 к.	400 к	333 к	286 к	250 к	222 к	200 к
0.25	2.5 М	1.25 М	833 к	625 к	500 к	417 к	357 к	313 к	278 к	250 к
0.3	3.0 М	1.50 М	1.00 М	750 к	600 к	500 к	429 к	375 к	333 к	300 к
0.35	3.5 М	1.75 М	1.17 М	875 к	700 к	583 к	500 к	438 к	389 к	350 к
0.4	4.0 М	2.00 М	1.33 М	1.00 М	800 к	666 к	571 к	500 к	444 к	400 к
0.45	4.5 М	2.25 М	1.50 М	1.13 М	900 к	750 к	643 к	563 к	500 к	450 к
0.5	5.0 М	2.50 М	1.67 М	1.25 М	1.0 М	833 к	714 к	625 к	555 к	500 к
0.55	5.5 М	2.75 М	1.83 М	1.38 М	1.1 М	917 к	786 к	688 к	611 к	550 к
0.6	6.0 М	3.00 М	2.00 М	1.50 М	1.2 М	1.00 М	857 к	750 к	666 к	600 к
0.65	6.5 М	3.25 М	2.17 М	1.63 М	1.3 М	1.08 М	929 к	813 к	722 к	650 к
0.7	7.0 М	3.50 М	2.33 М	1.75 М	1.4 М	1.17 М	1.00 М	875 к	778 к	700 к
0.75	7.5 М	3.75 М	2.50 М	1.88 М	1.5 М	1.25 М	1.07 М	938 к	833 к	750 к
0.8	8.0 М	4.00 М	2.67 М	2.00 М	1.6 М	1.33 М	1.14 М	1.00 М	889 к	800 к
0.85	8.5 М	4.25 М	2.83 М	2.13 М	1.7 М	1.42 М	1.21 М	1.06 М	944 к	850 к
0.9	9.0 М	4.50 М	3.00 М	2.25 М	1.8 М	1.50 М	1.29 М	1.13 М	1.00 М	900 к

(окончание)

Время [с]	Емкость [мкФ]									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.95	9.5 М	4.75 М	3.17 М	2.38 М	1.9 М	1.58 М	1.36 М	1.19 М	1.06 М	950 к
1.0	10.0 М	5.00 М	3.33 М	2.50 М	2.0 М	1.67 М	1.43 М	1.25 М	1.11 М	1.0 М
1.5	15.0 М	7.50 М	5.00 М	3.75 М	3.0 М	2.50 М	2.14 М	1.88 М	1.67 М	1.5 М
2.0	20.0 М	10.00 М	6.66 М	5.00 М	4.0 М	3.33 М	2.86 М	2.50 М	2.22 М	2.0 М
2.5	25.0 М	12.50 М	8.33 М	6.25 М	5.0 М	4.17 М	3.57 М	3.13 М	2.78 М	2.5 М
3.0	30.0 М	15.00 М	10.00 М	7.50 М	6.0 М	5.00 М	4.29 М	3.75 М	3.33 М	3.0 М
3.5	35.0 М	17.50 М	11.66 М	8.75 М	7.0 М	5.83 М	5.00 М	4.38 М	3.89 М	3.5 М
4.0	40.0 М	20.00 М	13.33 М	10.00 М	8.0 М	6.66 М	5.71 М	5.00 М	4.44 М	4.0 М
4.5	45.0 М	22.50 М	15.00 М	11.25 М	9.0 М	7.50 М	6.43 М	5.63 М	5.00 М	4.5 М
5.0	50.0 М	25.00 М	16.67 М	12.50 М	10.0 М	8.33 М	7.14 М	6.25 М	5.55 М	5.0 М
5.5	55.0 М	27.50 М	18.33 М	13.75 М	11.0 М	9.17 М	7.86 М	6.88 М	6.11 М	5.5 М
6.0	60.0 М	30.00 М	20.00 М	15.00 М	12.0 М	10.00 М	8.57 М	7.50 М	6.66 М	6.0 М
6.5	65.0 М	32.50 М	21.67 М	16.25 М	14.0 М	10.83 М	9.29 М	8.13 М	7.22 М	6.5 М
7.0	70.0 М	35.00 М	23.33 М	17.50 М	14.0 М	11.67 М	10.00 М	8.75 М	7.78 М	7.0 М
7.5	75.0 М	37.50 М	25.00 М	18.75 М	15.0 М	12.50 М	10.71 М	9.38 М	8.33 М	7.5 М
8.0	80.0 М	40.00 М	26.67 М	20.00 М	16.0 М	13.33 М	11.43 М	10.00 М	8.89 М	8.0 М
9.0	90.0 М	45.00 М	30.00 М	22.50 М	18.0 М	15.00 М	12.86 М	11.25 М	10.00 М	9.0 М
10.0	100.0 М	50.00 М	33.33 М	25.00 М	20.0 М	16.66 М	14.28 М	12.50 М	11.11 М	10.0 М

Примечание. М — мегом, к — килоом.

### 3.21. ПОСТОЯННЫЕ ВРЕМЕНИ R/L

Время [с]	Индуктивность [Гн]									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0.1	100.0	200.0	300.0	400.0	500.0	600.0	700.0	800.0	900.0	1000.0
0.15	66.7	133.3	200.0	266.7	333.3	400.0	466.7	533.3	600.0	666.7
0.2	50.0	100.0	150.0	200.0	250.0	300.0	350.0	400.0	450.0	500.0
0.25	40.0	80.0	120.0	160.0	200.0	240.0	280.0	320.0	360.0	400.0
0.3	33.3	66.7	100.0	133.3	166.7	200.0	233.3	266.6	300.0	333.3
0.35	28.6	57.1	86.6	114.3	142.9	171.4	200.0	228.6	257.1	285.7
0.4	25.0	50.0	75.0	100.0	125.0	150.0	175.0	200.0	225.0	250.0
0.45	22.2	44.4	66.7	88.9	111.1	133.3	155.6	177.8	200.0	222.2
0.5	20.0	40.0	60.0	80.0	100.0	120.0	140.0	160.0	180.0	200.0
0.55	18.2	36.4	54.5	72.7	90.9	109.1	127.3	145.5	163.6	181.8
0.6	16.7	33.3	50.0	66.7	83.3	100.0	116.7	133.3	150.0	166.7
0.65	15.4	30.8	46.2	61.5	76.9	92.3	107.7	123.1	138.5	153.8
0.7	14.3	28.6	42.9	57.1	71.4	85.7	100.0	114.3	128.7	142.9
0.75	13.3	26.7	40.0	53.3	66.7	80.0	93.3	106.7	120.0	133.3
0.8	12.5	25.0	37.5	50.0	62.5	75.0	87.5	100.0	112.5	125.0
0.85	11.8	23.5	35.3	47.1	58.8	70.6	82.3	94.1	105.9	117.6
0.9	11.1	22.2	33.3	44.4	55.5	66.6	77.8	88.9	100.0	111.1

(окончание)

Время [с]	Индуктивность [Гн]									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0
1.5	6.7	13.3	20.0	26.7	33.3	40.0	46.7	53.3	60.0	66.7
2.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0
2.5	4.0	8.0	12.0	16.0	20.0	24.0	28.0	32.0	36.0	40.0
3.0	3.3	6.7	10.0	13.3	16.7	20.0	23.3	26.7	30.0	33.3
3.5	2.9	5.7	8.7	11.4	14.3	17.1	20.0	22.9	25.7	28.6
4.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0
4.5	2.2	4.4	6.7	8.9	11.1	13.3	15.6	17.8	20.0	22.2
5.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0
5.5	1.8	3.6	5.5	7.3	9.1	10.9	12.7	14.6	16.4	18.2
6.0	1.7	3.3	5.0	6.7	8.3	10.0	11.7	13.3	15.0	16.7
6.5	1.5	3.1	4.6	6.2	7.7	9.2	10.8	12.3	13.9	15.4
7.0	1.4	2.9	4.3	5.7	7.1	8.6	10.0	11.4	12.9	14.3
7.5	1.3	2.7	4.0	5.3	6.7	8.0	9.3	10.7	12.0	13.3
8.0	1.2	2.5	3.8	5.0	6.3	7.5	8.8	10.0	11.3	12.5
9.0	1.1	2.2	3.3	4.4	5.5	6.7	7.8	8.9	10.0	11.1
10.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0

Примечание. Все сопротивления заданы в омах.

## 3.22. СИМВОЛЬНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ В СООТВЕТСТВИИ СО СТАНДАРТОМ BS 3939

### 3.22.1. Базовые символы

  
Постоянный ток или  
установившееся напряжение

  
Переменный ток

  
Указывает на возможность  
работы как на переменном, так  
и на постоянном токе

  
Трехфазные обмотки,  
подключенные по схеме  
треугольника

  
Трехфазные обмотки,  
подключенные по схеме звезды

  
Механическое соединение

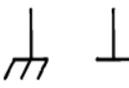
  
Положительная полярность

  
Отрицательная полярность

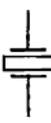
  
Заземление

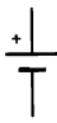
  
Малозащитное заземление

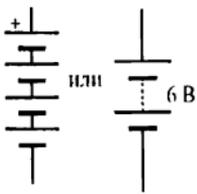
  
Защитное заземление

  
Заземление на корпус, на шасси

  
Равенство потенциалов,  
эквипотенциальность

  
Пьезоэлектрический кристалл

  
Гальванический элемент

  
Аккумуляторная батарея

  
Изменчивость, непостоянство

  
Предварительная регулировка

  
Собственные нелинейные  
изменения

  
Индуктивность

## 3.22.2. Обозначения переключателей и контактов

Катушка индуктивности,  
обмотка дросселя

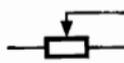
Трансформатор

Катушка индуктивности  
с магнитным сердечникомКатушка индуктивности  
с зазором в магнитном  
сердечникеКатушка переменной  
индуктивности с магнитным  
сердечникомКатушка индуктивности  
с фиксированными отводами  
обмотки (показана с двумя  
отводами)

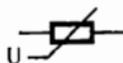
Резистор



Переменный резистор

Резистор со скользящим  
контактомРезистор со скользящим  
контактом и положением  
«выкл»Потенциометр со скользящим  
контактом

Подстроечный потенциометр



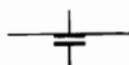
Резистор с нелинейной ВАХ



Фоторезистор

Резистор с фиксированным  
отводом

Конденсатор



Проходной конденсатор

Поляризованный конденсатор,  
например, электролитический

Переменный конденсатор

Подстроечный конденсатор,  
конденсатор с предварительной  
регулировкойТемперозависимый  
поляризованный конденсатор



Поляризованный конденсатор,  
зависимый от напряжения



Функция замыкания



Функция прерывания



Функция разъединения  
(изолятор)



Функция разъединения  
(выключатель)



Функция автоматического  
отключения (разъединения)



Функция позиционного  
переключения, концевое  
выключения



Функция пружинного возврата



Функция без пружинного  
возврата, выключатель  
с устойчивыми положениями



Замыкающий контакт,  
нормально разомкнутый  
контакт



Размыкающий контакт,  
нормально замкнутый контакт



Переключатель с размыканием  
перед замыканием



Переключающий контакт с  
двумя положениями и  
центральным положением  
«выключено»



Замыкающий контакт  
с пружинным возвратом



Замыкающий контакт без  
пружинного возврата



Размыкающий контакт с  
пружинным возвратом



Двухполюсный выключатель со  
средним положением  
«выключено», с пружинным  
возвратом из верхнего  
положения



Переключатель с ручным  
управлением



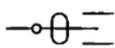
Кнопочный переключатель



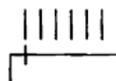
Шнуровой  
переключатель, переключатель  
с тяговым шнурком



Поворотный переключатель



Ротный переключатель



Однополюсный  
6-позиционный переключатель



Датчик приближения



Тактильный датчик  
(датчик прикосновения)



Переключатель прикосновения,  
закрывающий контакт



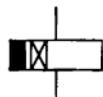
Бесконтактный переключатель,  
закрывающий контакт



Обмотка реле с замедленным  
отпусанием



Обмотка реле с замедленным  
срабатыванием



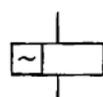
Обмотка реле с замедленным  
отпусанием и замедленным  
срабатыванием



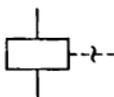
Обмотка быстродействующего  
реле (с быстрым отпусанием и  
быстрым срабатыванием)



Обмотка реле,  
нечувствительная к влиянию  
переменного тока



Обмотка реле  
переменного тока



Обмотка реле с механическим  
резонансом



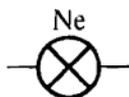
Обмотка реле с механической  
блокировкой (удержанием)



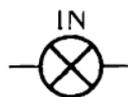
Защитный искровой  
промежуток



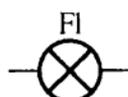
Индикаторная лампа



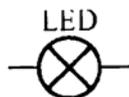
Неоновая лампа



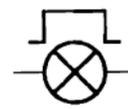
Лампа накаливания



Флуоресцентная лампа,  
люминесцентная лампа,  
лампа дневного света



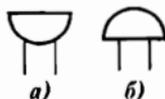
Светодиод



Проблесковая лампа



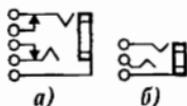
Сирена



а) Зуммер; б) Электрический звонок



Нагреватель



а) Переключатель;  
б) Стереогнездо



Наушники



Основной символ для обозначения скручивания проводов



Пример: два провода скручены



Основной символ для обозначения кабеля



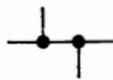
Пример: кабель из четырех проводов



Провода соединены



Пересечение проводов,  
соединение отсутствует



Двойное соединение проводов



Плавкий предохранитель



Штепсельная вилка



Штепсельное гнездо



Коаксиальный штепсель



Коаксиальное гнездо



Индикаторный или измерительный прибор



Амперметр



Вольтметр



Ваттметр



Омметр



Осциллограф



Гальванометр



Термометр



Часы (основной символ);  
Вторичный эталон времени и  
частоты



Задающий (главный) генератор  
тактовых импульсов, главная  
схема синхронизации



Часы с переключателем  
(тактовый генератор с  
переключателем)



Генератор



Мотор, двигатель



Электродвигатель постоянного  
тока



Электродвигатель переменного  
тока



Тахометр



Оптоволоконный световод



Микрофон (основное  
обозначение)



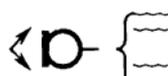
Конденсаторный микрофон



Пьезоэлектрический микрофон



Электродинамический мик-  
рофон с подвижной катушкой  
или ленточный микрофон



Стереомикрофон



Головной телефон, наушник



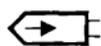
Динамический  
громкоговоритель



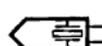
Громкоговоритель-микрофон



Преобразовательная головка  
(основное обозначение)



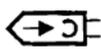
Головка звукоснимателя  
(основное обозначение)



Пьезоэлектрический  
звукосниматель



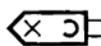
Стерефонический  
звукосниматель



Воспроизводящая головка  
магнитофона



Головка записи и  
воспроизведения



Стирающая головка

## 3.22.3. Обозначения полупроводниковых приборов

		
Полупроводниковый диод	Светодиод	Диод с температурной зависимостью
		
Варикап	Туннельный диод	Стабилитрон
		
Симистор, двунаправленный диодный тиристор	Несимметричный триодный тиристор (несимметричный триностор) с управляющим электродом <i>n</i> -типа (управляемый анодный слой)	Несимметричный триодный тиристор (несимметричный триностор) с управляющим электродом <i>p</i> -типа (управляемый катодный слой)
		
Запираемый триодный тиристор (триностор), управляющий электрод не указан	Симметричный триодный тиристор (симистор), триак	<i>p-n-p</i> -транзистор
		
<i>n-p-n</i> -транзистор с коллектором, соединенным с корпусом	Однопереходный транзистор (двухбазовый диод) с базой <i>p</i> -типа	Однопереходный транзистор (двухбазовый диод) с базой <i>n</i> -типа
		
Полевой транзистор с управляющим <i>n-p-n</i> -переходом (полевой транзистор с <i>p-n</i> -переходом в качестве затвора) с каналом <i>n</i> -типа	Полевой транзистор с управляющим <i>p-n</i> -переходом (полевой транзистор с <i>p-n</i> -переходом в качестве затвора) с каналом <i>p</i> -типа	Полевой транзистор с изолированным затвором, работающий в режиме обогащения, с одним затвором, с каналом <i>p</i> -типа, без вывода подложки



Полевой транзистор с изолированным затвором, работающий в режиме обогащения, с одним затвором, с каналом *n*-типа, без вывода подложки



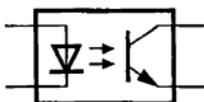
Полевой транзистор с изолированным затвором, работающий в режиме обогащения, с одним затвором, с каналом *p*-типа, имеется вывод подложки



Полевой транзистор с изолированным затвором, работающий в режиме обогащения, с одним затвором, с каналом *n*-типа, с внутренним соединением подложки с истоком



Полевой транзистор с изолированным затвором, работающий в режиме обеднения, с двумя затворами, с каналом *n*-типа, имеется вывод подложки



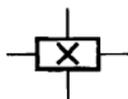
Оптрон, оптопара, показан со светодиодом и фототранзистором



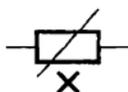
Фотодиод



Фотогальванический элемент



Датчик Холла с четырьмя омическими контактами



Магниторезистор (показан линейного типа)



Фототранзистор (показан *p-n-p*-типа)

### 3.22.4. Обозначения звуковых электронных приборов



Запись или воспроизведение, стрелка указывает направление передачи энергии



Запись и воспроизведение, электромагнитное и излучение и прием



Магнитострикционного типа



Электродинамического или ленточного типа



Стерефонический



Электромагнитного типа



Диск



Лента или пленка



Барабан

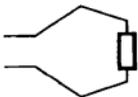
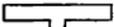
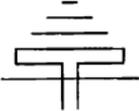


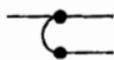
Нижние звуковые частоты



Верхние звуковые частоты

### 3.23. СИМВОЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РАДИОСВЯЗИ

		
Плоская поляризация	Круговая поляризация	Направление излучения, постоянное по азимуту
		
Направление излучения, переменное по азимуту	Направление излучения, с постоянным углом возвышения	Направление излучения, с переменным углом возвышения
		
Направление излучения, постоянное по азимуту и углу	Радиоповторитель или радиомаяк	Антенна
		
Антенна с круговой поляризацией	Антенна с направлением излучения, переменным по азимуту	Направленная антенна, постоянная по азимуту, с горизонтальной поляризацией
		
Антенна с направлением излучения, переменным по углу возвышения	Радиопеленгационная антенна (радиогониометр (угломер) или маяк)	Направленная антенна, постоянная по азимуту, вертикально поляризованная, с горизонтальной полярной диаграммой
		
Рамочная антенна	Ромбическая антенна с согласующим резистором	Антенна на магнитном стержне, например, ферритовом
		
Диполь, симметричная вибраторная антенна	Петлевой симметричный вибратор	Петлевой симметричный вибратор, показан с тремя директорами и одним рефлектором



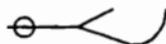
Симметрирующее (согласующее) устройство



Рупорная антенна



Параболическая антенна с прямоугольным волноводным фидером



Рупорная антенна с круглым волноводным фидером



Радиостанция, рация



Передающая и приемная радиостанция



Пленгационная приемная радиостанция



Передающий радиомаяк



Портивная радиостанция



Управляющая радиостанция



Мобильная радиостанция



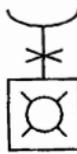
Космическая (орбитальная) станция



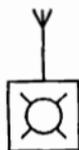
Активная космическая (орбитальная) станция



Пассивная космическая (орбитальная) станция



Наземная станция для слежения за космическими станциями, показан пример с параболической антенной



Наземная станция связи через космическую станцию

## 3.24. СИМВОЛЫ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

В тех случаях, когда для одного логического элемента показано два символа, только первый из них является символом стандарта BS 3939.



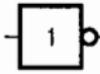
Элемент логической схемы  
(логический элемент),  
основной символ



Логический элемент И



Логический элемент ИЛИ



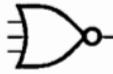
Логический элемент НЕ (инвертор)



Логический элемент И-НЕ



Логический элемент ИЛИ-НЕ



Логический элемент эквивалентности; на выходе устанавливается логическая единица только в том случае, если на всех входах одинаковые состояния



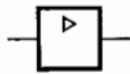
Логический элемент Исключающее ИЛИ



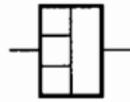
Монтажное соединение, в котором для обеспечения выполнения функции И или ИЛИ вместе соединены несколько элементов, но без использования конкретно элементов И или элементов ИЛИ



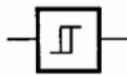
Монтажное И



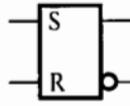
Усилитель в логических схемах



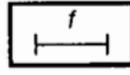
Символ для обозначения группы логических элементов с целью экономии пространства на чертеже схемы



Триггер Шмитта



RS-триггер



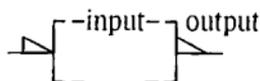
Основной символ для обозначения элемента задержки. На выходе такого элемента устанавливается высокий логический уровень по прошествии определенного периода времени после того, как состояние на входе изменится с нуля на единицу



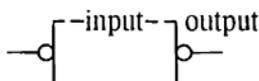
Общий управляющий блок. Чтобы сделать принципиальную схему яснее, входы, общие для нескольких связанных между собой элементов, могут быть показаны соединенными к общему управляющему блоку



Этот символ используется для указания исключений из нормального направления потока. (Направление потока данных обычно принимается сверху вниз)



Указатель полярности входа—выхода, показывающий, что состояние логической единицы имеет меньший положительный уровень, т.е. с этого места вступает в силу отрицательная логика



Инвертор на входе/выходе, показывающий, что состояние логической переменной изменяется на противоположное по отношению к входному



Запрещающий вход: если на нем устанавливается единица, на выходе не может установиться единица (или ноль, если выход инвертирующий)



Инвертирующий запрещающий вход: если на нем устанавливается ноль, на выходе не может установиться единица (или ноль, если выход инвертирующий)



Вход или выход, не несущий логической информации



Динамический вход. Кратковременное внутреннее высокое логическое состояние соответствует переходу от внешнего НИЗКОГО логического уровня к внешнему ВЫСОКОМУ логическому уровню. Во всех остальных случаях внутреннее логическое состояние — ноль.



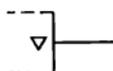
Динамический вход с логическим отрицанием



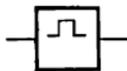
Выход с разомкнутой цепью, например, выход с открытым коллектором, выход с открытым эмиттером, выход с открытым стоком, выход с открытым истоком



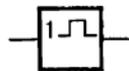
Двухпороговый вход. Вход с гистерезисом, например, на триггере Шмитта



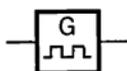
Выход с тремя состояниями



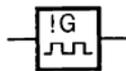
Перезапускаемый в течение выходного импульса одновибратор (ждуший мультивибратор)



Одновибратор без перезапуска во время входного импульса



Генератор прямоугольных импульсов, мультивибратор



С синхронным запуском

### 3.25. СИМВОЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМАХ (БЛОК-СХЕМАХ, СТРУКТУРНЫХ СХЕМАХ)



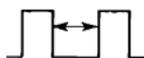
Фазоимпульсная модуляция



Частотно-импульсная  
модуляция



Амплитудно-импульсная  
модуляция



Фазоимпульсная модуляция



Широтно-импульсная  
модуляция



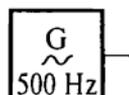
Импульсно-кодовая модуляция  
(вместо «звездочки» дается  
описание кода)



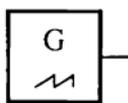
Аппаратура, прибор  
(основное обозначение)



Невращающийся генератор  
(основное обозначение)

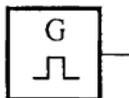


Генератор синусоидальных  
сигналов (невращающийся)



500 Hz

Генератор пилообразных  
сигналов (невращающийся)



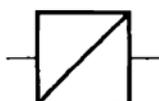
Импульсный генератор  
(невращающийся)



Генератор синусоидальных  
сигналов с перестраиваемой  
частотой (невращающийся)



Генератор шума  
(невращающийся)



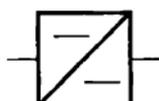
Преобразователь  
(основное обозначение)



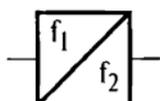
Выпрямитель



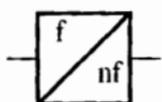
Инвертор (преобразователь  
из постоянного тока  
в переменный)



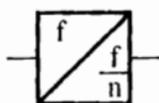
Преобразователь  
постоянного тока



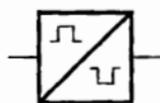
Преобразователь частоты



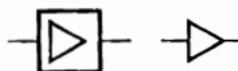
Умножитель частоты



Делитель частоты



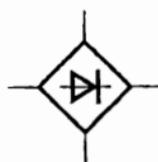
Импульсный инвертор



Усилитель



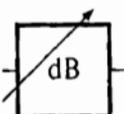
Выпрямительный прибор



Выпрямительный прибор  
в мостовой конфигурации



Аттенуатор с постоянным  
коэффициентом ослабления



Аттенуатор с переменным  
коэффициентом ослабления



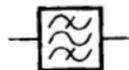
Фильтр



Фильтр высоких частот



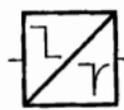
Фильтр низких частот



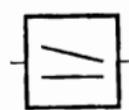
Полосовой фильтр



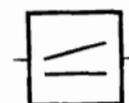
Режекторный фильтр



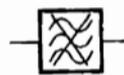
Дифференциатор



Компрессор



Расширитель



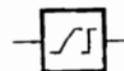
Подавитель помех



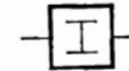
Прибор для частотной  
коррекции верхних частот



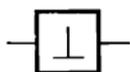
Прибор для частотной  
коррекции нижних частот



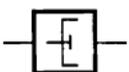
Эквалайзер



Макетная линия



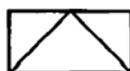
Выравнивающая схема



Оконечное устройство с выравнивающей схемой



Преобразователь гибридного типа



Модулятор, демодулятор или дискриминатор



Модулятор с выходным сигналом с двумя боковыми полосами



Демодулятор, преобразующий сигнал с одной боковой полосой и подавленной несущей в сигнал звуковой частоты

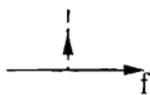
### 3.26. СИМВОЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ЧАСТОТНЫХ СПЕКТРОВ



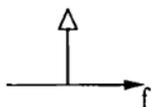
Несущая частота



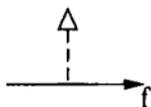
Подавленная несущая



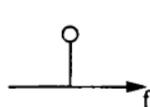
Частично подавленная несущая



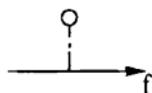
Частота контрольного сигнала



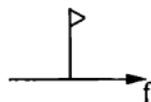
Подавленный пилотный сигнал



Добавочная измерительная частота



Добавочная измерительная частота, передаваемая или измеряемая при запросе



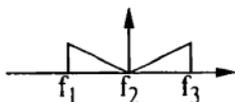
Сигнальная частота



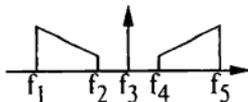
Прямая полоса частот



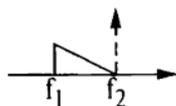
Обратная полоса частот



Несущая с обеими боковыми полосами

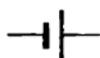


Несущая с обеими боковыми полосами



Сигнал с одной боковой полосой с подавленной несущей

## 3.27. СИМВОЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ МАРКИРОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ (СТАНДАРТ BS 6217)



Элемент питания



Положение элементов питания



Преобразователь переменного тока в постоянный, выпрямитель, заменяемый источник питания



Изменение



Плюс, положительная полярность



Минус, отрицательная полярность



Питание включено



Питание выключено



Режим ожидания



Вкл/выкл (двойное нажатие)



Вкл/выкл (нажимная кнопка, клавиша)



Лампа, подсветка, освещение



Звонок



Гудок



Лопастное воздушное устройство (вентилятор, воздухозаборник и пр.)



Плавкий предохранитель



Заземление



Малоп шумящее заземление



Защитное заземление



Рама или шасси (заземление)



Равенство потенциалов (эквипотенциальность)



Движение в одном направлении



Движение в обоих направлениях



Ограниченное движение в обоих направлениях



Действие в направлении от опорной точки



Действие по направлению к опорной точке



Действие в обоих направлениях от опорной точки



Действие в обоих направлениях к опорной точке



Неодновременное действие в направлениях от и к опорной точке



Одновременное действие в направлениях от и к опорной точке



Постоянный ток



Переменный ток



Постоянный и переменный ток



Вход



Выход



Опасное напряжение



Регулировка верхних звуковых частот



Регулировка нижних звуковых частот



Антенна



Диполь



Рамочная антенна



Согласующее устройство



Ослабление сигнала



Настройка



Автоматическая подстройка частоты, автоматическая регулировка частоты



Приглушение звука



Цветной, уточняющий символ



ТВ. видео



Цветное ТВ



ТВ монитор



Цветной ТВ монитор



ТВ приемник



Цветной ТВ приемник



Фокусировка



Яркость



Контрастность



Насыщенность цвета



Корректор резкости, схема подчеркивания контуров (изображения)



Цветовой тон, оттенок цвета



Строчная синхронизация



Кадровая синхронизация



Горизонтальный сдвиг изображения



Вертикальный сдвиг изображения



Горизонтальный размах изображения



Вертикальный размах изображения



Регулировка размера изображения



Линейность по горизонтали



Линейность по вертикали



Монофонический



Стерефонический



Баланс



Ненаправленный микрофон



Двухнаправленный микрофон



Однонаправленный микрофон



Головной телефон



Наушники



Стереонаушники



Наушники с микрофоном (гарнитура)



Громкоговоритель



Громкоговоритель-микрофон



Микрофон



Стерефонический микрофон



Усилитель



Музыка

  
Звукосниматель  
для виниловой пластинки

  
Стерефонический  
звукосниматель  
для виниловой пластинки

  
Пьезоэлектрический  
звукосниматель кварцевый  
или керамический

  
Динамический звукосниматель

  
Телефонный адаптер

  
Фильтр верхних частот

  
Фильтр нижних частот

  
Магнитофон

  
Стерефонический магнитофон

  
Запись на пленку

  
Воспроизведение или  
считывание с пленки

  
Стирание с пленки

  
Контрольное прослушивание  
на входе

  
Контрольное прослушивание с  
пленки после записи

  
Контрольное прослушивание  
при воспроизведении

  
Блокировка записи на  
магнитофоне

  
Маркерный импульс на  
магнитофоне

  
Обрезка ленты

  
Пуск

  
Инструкция

  
Длина текста

  
Нормальный режим работы

  
Ускоренный режим работы

  
Стоп

  
Пауза

  
Передача сигнала

  
Выброс (например, диска из  
дискового)

  
Педальный переключатель

  
Сигнальная лампа

  
ТВ камера



Цветная ТВ камера



Видеомагнитофон



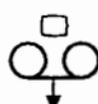
Цветной видеомагнитофон



Видеозапись



Цветная видеозапись



Воспроизведение видеосигнала



Воспроизведение цветного видеосигнала



Замедленный режим работы



Повторение



Курсовой указатель (на индикаторе кругового обзора)



Вращение антенны



Короткий импульс, импульс малой длительности



Длинный импульс, импульс большой длительности



Метка пленки



Указание курса корабля



Указание на север



Фильтр для подавления помех, вызванных отражением от морских волн



Фильтр для подавления помех, вызванных дождем



Сектор дальности



Дальность четкого просмотра



Переменная метка дальности



Установка (подстройка) минимального значения



Установка (подстройка) максимального значения



Головка (чувствительный элемент) для видеодиска



Устройство контроля передаваемой мощности



Устройство контроля передаваемой/принимаемой мощности



Гидрофон (подводный звукоуловитель)

		
Подводный звуковой проектор	Обратимый преобразователь для звуков под водой	Трансформатор
		
Полосовой фильтр	Полосовой фильтр с перестраиваемой средней частотой	Полосовой фильтр с перестраиваемой полосой пропускания
		
Режекторный фильтр	Фильтр для подавления помех, вызванных отражением от морских волн	Фильтр для подавления помех, вызванных дождем
		
Запись на информационный носитель	Считывание информации с носителя	Стирание информации с носителя
		
Контроль входных данных при записи	Контроль входных данных после записи	Контроль выходных данных при считывании
		
Блокировка записи	Метка	Обрезка
		
Оборудование класса II	Быстрый пуск	Быстрый останов
		
Тестовое напряжение	Пошаговое изменение	Звук
		
Часы	Заграждающий (режекторный) фильтр	Выпрямитель
		
Преподаватель	Студент	Группа студентов



Все студенты



Окно настройки



Графический регистратор,  
самописец



Принтер



Преобразователь постоянного  
тока в переменный



Перестраиваемый  
заграждающий фильтр



Гироскопический индикатор



Настройка гироскопического  
индикатора



Истинный пеленг гироскопаса



Относительный пеленг  
(курсовой угол)



Настройка линейки пеленга



Фазовая калибровка



Угловая калибровка



Пультый переключатель  
антенны



Говорите



Слушайте



Ключ Морзе



Пауза



Усилитель бегущей волны



Сигнализирующий передатчик



Сигнализирующий приемник



Демодулятор



Модулятор



Модем



Главная панель управления



Часть оборудования включена



Часть оборудования выключена



Часть оборудования  
в режиме ожидания



Нажатое положение нажимной  
управляющей клавиши  
с двумя состояниями



Отпущенное положение  
нажимной управляющей  
клавиши с двумя состояниями



Селектор каналов



Генератор гармоник



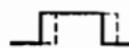
Устройство, заменяемое  
автоматически



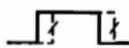
Устройство, заменяемое  
вручную



Устройство защиты от  
повышения напряжения



Дрожание фазы



Фильтр фазовых дрожаний



Контур, петля



Цифровой блок



Цифровая схема разделения



Регенеративный ретранслятор



Преобразователь со  
стабилизированным выходным  
напряжением



Регулируемый,  
(настраиваемый) прибор



Схема коррекции искажений



Преобразователь со  
стабилизированным выходным  
током



Операционный усилитель



Оборудование, содержащее  
логические элементы



Устройство выборки



Кадр в цифровой передаче  
сигналов



Многокадровый объект  
(группа кадров) в цифровой  
передаче сигналов



Цикловая синхронизация



Потери цикловой синхронизации



Ошибка в цикловой синхронизации



Двухуровневый сигнал



Трёхуровневый сигнал



Двончно-кодированный сигнал



Освещение огражденным светом



Освещение светом малой интенсивности



Ручной переключатель

### 3.28. ТАБЛИЦА ДЕЦИБЕЛ

Значения в децибелах находятся в центральной колонке: числа, находящиеся слева от нее, представляют собой ослабление (потери) в децибелах, а справа — коэффициент усиления в децибелах. Значения напряжения и тока взяты в предположении, что полное сопротивление остается неизменным.

Коэффициент передачи по току или напряжению	Коэффициент передачи по мощности	[дБ]	Коэффициент передачи по току или напряжению	Коэффициент передачи по мощности
		← Ослабление Усиление →		
1.000	1.000	0	1.000	1.000
0.989	0.977	0.1	1.012	1.023
0.977	0.955	0.2	1.023	1.047
0.966	0.933	0.3	1.035	1.072
0.955	0.912	0.4	1.047	1.096
0.944	0.891	0.5	1.059	1.122
0.933	0.871	0.6	1.072	1.148
0.912	0.832	0.8	1.096	1.202
0.891	0.794	1.0	1.122	1.259
0.841	0.708	1.5	1.189	1.413
0.794	0.631	2.0	1.259	1.585
0.750	0.562	2.5	1.334	1.778
0.708	0.501	3.0	1.413	1.995
0.668	0.447	3.5	1.496	2.239
0.631	0.398	4.0	1.585	2.512
0.596	0.355	4.5	1.679	2.818

(окончание)

Коэффициент передачи по току или напряжению	Коэффициент передачи по мощности	[дБ] ← Ослабление Усиление →	Коэффициент передачи по току или напряжению	Коэффициент передачи по мощности
0.562	0.316	5.0	1.778	3.162
0.501	0.251	6.0	1.995	3.981
0.447	0.200	7.0	2.239	5.012
0.398	0.159	8.0	2.512	6.310
0.355	0.126	9.0	2.818	7.943
0.316	0.100	10	3.162	10.00
0.282	0.0794	11	3.55	12.6
0.251	0.0631	12	3.98	15.9
0.224	0.0501	13	4.47	20.0
0.200	0.0398	14	5.01	25.1
0.178	0.0316	15	5.62	31.6
0.159	0.0251	16	6.31	39.8
0.126	0.0159	18	7.94	63.1
0.100	0.0100	20	10.0	100.0
$3.16 \cdot 10^{-2}$	$10^{-3}$	30	$3.16 \cdot 10$	$10^3$
$10^{-2}$	$10^{-4}$	40	$10^2$	$10^4$
$3.16 \cdot 10^{-3}$	$10^{-5}$	50	$3.16 \cdot 10^2$	$10^5$
$10^{-3}$	$10^{-6}$	60	$10^3$	$10^6$
$3.16 \cdot 10^{-4}$	$10^{-7}$	70	$3.16 \cdot 10^3$	$10^7$
$10^{-4}$	$10^{-8}$	80	$10^4$	$10^8$
$3.16 \cdot 10^{-5}$	$10^{-9}$	90	$3.16 \cdot 10^4$	$10^9$
$10^{-5}$	$10^{-10}$	100	$10^5$	$10^{10}$
$3.16 \cdot 10^{-6}$	$10^{-11}$	110	$3.16 \cdot 10^5$	$10^{11}$
$10^{-6}$	$10^{-12}$	120	$10^6$	$10^{12}$

**3.29. ТАБЛИЦА ПЕРЕСЧЕТА СТЕПЕНЕЙ ЧИСЛА 2  
В ДЕЦИБЕЛЫ**

Степень числа 2	Значение	Децибелы [дБ]
1	2	6.02
2	4	12.04
3	8	18.06
4	16	24.08
5	32	30.10

(окончание)

Степень числа 2	Значение	Децибелы [дБ]
6	64	36.12
7	128	42.14
8	256	48.16
9	512	54.19
10	1 024	60.21
11	2 048	66.23
12	4 096	72.25
13	8 192	78.27
14	16 384	84.29
15	32 768	90.31
16	65 536	96.33
17	131 072	102.35
18	262 144	108.37
19	524 288	114.39
20	1 048 576	120.41
21	2 097 152	126.43
22	4 194 304	132.45
23	8 388 608	138.47
24	16 777 216	144.49
25	33 554 432	150.51
26	67 108 864	156.54
27	134 217 728	162.56
28	268 435 456	168.58
29	536 870 912	174.60
30	1 073 741 824	180.62
31	2 147 483 648	186.64
32	4 294 967 296	192.66

### 3.30. РАЗЪЕМЫ И СОЕДИНЕНИЯ

#### 3.30.1. Обмен данными при помощи модемов

При передаче или приеме данных через телефонные или иные линии оборудование, которое выдает и использует данные, например компьютер или дисплей, называется терминальным (оконечным) оборудованием обработки данных (DTE). Оборудование, подключенное к окончанию телефонной линии и осуществляющее преобразование сигналов исходных данных в сигнала-

лы, которые могут быть переданы, называется окончательным оборудованием линии передачи данных (DCE). Сопряжение этих двух типов оборудования, DCE и DTE, является важнейшей задачей, поскольку имеет непосредственное отношение к пользователю. Рекомендация V24 Международного консультативного комитета по телеграфии и телефонии (МККТТ) определяет обмен сигналами и функции сигналов между схемами DTE и DCE, широко известными как схемы обмена данными серии 100 (Табл. 2.1).

Таблица 3.1. Обмен сигналами между схемами DTE и DCE

Номер	Название	Данные		Управление		Синхронизация	
		из DCE	в DCE	из DCE	в DCE	из DCE	в DCE
101	Защитное заземление, или заземление						
102	«Подвешенная земля», или общий минус						
103	Переданные данные		●				
104	Принятые данные	●					
105	Запрос отправки				●		
106	Готов к отправке			●			
107	Модем готов			●			
108/1	Соединение модема с линией (поступление набора данных в линию)				●		
108/2	Информационный терминал готов				●		
109	Детектор принимаемого сигнала линии канала данных			●			
110	Детектор качества сигнала			●			
111	Селектор скорости передачи сигналов данных (DTE)				●		
112	Селектор скорости передачи сигналов данных (DCE)			●			
113	Синхронизация элементарных сигналов передатчика (DTE)						●
114	Синхронизация элементарных сигналов передатчика (DCE)					●	
115	Синхронизация элементарных сигналов приемника (DCE)					●	
116	Выбор режима ожидания				●		
117	Индикатор режима ожидания			●			
118	Данные, переданные по обратному каналу		●				
119	Данные, принятые по обратному каналу	●					
120	Передача сигнала по линии обратного канала				●		

Таблица 3.1 (окончание)

Номер	Название	Данные		Управление		Синхронизация	
		из DCE	в DCE	из DCE	в DCE	из DCE	в DCE
121	Обратный канал готов			●			
122	Детектор принимаемого сигнала линии обратного канала			●			
124	Выбор группы (сигналов) по частоте				●		
125	Индикатор (указатель) вызова			●			
126	Выбор частоты передачи				●		
127	Выбор частоты приема				●		
128	Синхронизация элементарных сигналов приемника (DTE)						●
129	Запрос приема				●		
130	Передача обратного тона				●		
131	Синхронизация принимаемых символов (признаков)					●	
132	Возврат в режим, не связанный с обработкой данных				●		
133	Готов к приему				●		
134	Представление принятых данных			●			
191	Переданный речевой ответ				●		
192	Принятый речевой ответ			●			

### 3.30.2. Номера выводов разъема модема

Разъемы, используемые вместе со схемами обмена серии 100, и назначение их выводов описаны международным стандартом ISO 2110 и показаны (для модемов, подчиняющихся рекомендациям Международного консультативного комитета по телеграфии и телефонии V21, V23, V26, V26bis, V27 и V27bis) в Табл. 3.2.

Таблица 3.2. Назначение выводов разъемов

Номер вывода	V21	V23	V26/V27
1	1	1	1
2	103	103	103
3	104	104	104
4	105	105	105
5	106	106	106
6	107	107	107

Таблица 3.2 (окончание)

Номер вывода	V21	V23	V26/V27
7	102	102	102
8	109	109	109
9	*N	*N	*N
10	*N	*N	*N
11	126	*N	*N
12	*F	122	122
13	*F	121	121
14	*F	118	188
15	*F	*2	114
16	*F	119	119
17	*F	*2	115
18	141	141	141
19	*F	120	120
20	108/1-2	108/1-2	108/1-2
21	140	140	140
22	125	125	125
23	*N	111	111
24	*N	N	113
25	142	142	142

\*1 — Вывод 1 предназначен для подсоединения защитного экрана между последовательно-соединенными секциями экранированных кабелей. Также может быть использован для подключения защитного заземления или общего минуса («подвешенной земли»).

\*F — Зарезервирован для использования в будущем.

\*N — Зарезервирован для использования в соответствии с внутренними требованиями каждого государства.

### 3.30.3. Автоматический вызов

Для автоматического вызова и автоматического ответа между модемами в телефонной сети рекомендацией V25 Международного консультативного комитета по телеграфии и телефонии определена 200 серия схем обмена, подобная серии 100 (Табл. 3.3).

Таблица 3.3. Схема обмена серии 200

Номер	Название	из DCE	в DCE
201	«Подвешенная земля» (общий минус)	●	●
202	Запрос соединения		●
203	Информационная линия занята	●	
204	Подключение к удаленной станции	●	
205	Отказ от вызова	●	
206	Сигнал разряда (20)		●
207	Сигнал разряда (21)		●
208	Сигнал разряда (22)		●
209	Сигнал разряда (23)		●
210	Представление следующего разряда	●	
211	Представление разряда		●
213	Индикация питания	●	

### 3.31. EIA 232

Аналогом рекомендации V24 МККТТ для устройства сопряжения (интерфейса) является спецификация EIA 232 Ассоциации электронной промышленности США, схожим образом определяющая электрическое сопряжение устройств DTE и DCE. Несмотря на два различных обозначения, эти спецификации одинаковы применительно к использованию на практике (Табл. 3.4).

Таблица 3.4. Схемы обмена EIA 232

Мне-мокод	Название	Данные		Управление		Синхронизация	
		из DCE	в DCE	из DCE	в DCE	из DCE	в DCE
AA	Защитное заземление						
AB	«Подвешенная земля»/общий минус						
BA	Переданные данные		●				
BB	Принятые данные	●					
CA	Запрос отправки				●		
CB	Разъединение для отправки			●			
CC	Модем готов			●			
CD	Информационный терминал готов				●		
CE	Индикатор вызова			●			
CF	Детектор принимаемого сигнала линии			●			
CG	Детектор качества сигнала			●			

Таблица 3.4 (окончание)

Мне-мокод	Название	Данные		Управление		Синхронизация	
		из DCE	в DCE	из DCE	в DCE	из DCE	в DCE
CI	Селектор скорости передачи сигналов данных (DTE)				●		
CI	Селектор скорости передачи сигналов данных (DCE)			●			
DA	Синхронизация элементарных сигналов передатчика (DTE)						●
DB	Синхронизация элементарных сигналов передатчика (DCE)					●	
DD	Синхронизация элементарных сигналов приемника (DCE)					●	
SBA	Данные, переданные по дополнительному каналу		●				
SBB	Данные, принятые по дополнительному каналу	●					
SCA	Запрос отправки по дополнительному каналу				●		
SCB	Разъединение для отправки по дополнительному каналу			●			
SCF	Детектор принимаемого сигнала линии дополнительного канала			●			

## 3.32. EIA 449

Хотя стандарт EIA 232 и является наиболее часто используемым, это никоим образом не означает, что он совершенен. Одно из его основных ограничений — максимальная скорость передачи данных, равная 18,2 кбод. Поэтому были разработаны различные усовершенствованные схемы обмена, например EIA 442, EIA 423. Очень высокая скорость передачи данных, до 2 Мбод, характерна для стандарта EIA 449. Схема обмена показана в Табл. 3.5.

Таблица 2.5. Схемы обмена EIA 449

Мне-мокод	Название	Данные		Управление		Синхронизация	
		из DCE	в DCE	из DCE	в DCE	из DCE	в DCE
SG	«Подвешенная земля»						
SC	Общая отправка						
RC	Общий прием						
IS	Терминал в процессе работы				●		
IC	Входящий звонок			●			
TR	Терминал готов				●		
DM	Тип данных			●			
SD*	Отправить данные		●				
RD*	Принять данные	●					

Таблица 3.5 (окончание)

Мне-мокод	Название	Данные		Управление		Синхронизация	
		из DCE	в DCE	из DCE	в DCE	из DCE	в DCE
TT*	Синхронизация терминала						●
ST*	Синхронизация отправки					●	
RT*	Синхронизация приема					●	
RS*	Запрос отправки				●		
CS*	Разъединение для отправки			●			
RR*	Приемник готов			●			
SQ*	Качество сигнала			●			
NS*	Новый сигнал				●		
SF*	Выбор частоты				●		
SR*	Селектор скорости передачи сигналов			●			
SI*	Индикатор скорости передачи сигналов		●				
SSD**	Отправить данные по дополнительному каналу		●				
SRD**	Принять данные по дополнительному каналу	●					
SRS**	Запрос отправки по дополнительному каналу				●		
SCS**	Разъединение для отправки по дополнительному каналу		●				
SRR**	Приемник дополнительного канала готов			●			
LL	Проверка по шлейфу местной линии связи (абонентского канала)				●		
RL	Дистанционная проверка по шлейфу				●		

\* Основной канал.

\*\* Дополнительный канал.

### 3.33. СРАВНЕНИЕ СТАНДАРТОВ EIA 232, EIA 449 И V24

EIA 232		EIA 449		V24	
AB	«Подвешенная земля»	SG	«Подвешенная земля»	102	«Подвешенная земля»
		SC	Общая отправка	102a	Общий для DTE
		RC	Общий прием	102b	Общий для DTE
		IS	Терминал в процессе работы		
CE	Индикатор вызова	IC	Входящий звонок	125	Индикатор (указатель) вызова
CD	Информационный терминал готов	TR	Терминал готов	108/2	Информационный терминал готов
CC	Модем готов	DM	Тип данных	107	Модем готов
BA	Переданные данные	SD	Отправить данные	103	Переданные данные
BB	Принятые данные	RD	Принять данные	104	Принятые данные
DA	Синхронизация элементарных сигналов передатчика (DTE источник)	TT	Синхронизация терминала	113	Синхронизация элементарных сигналов передатчика (DTE источник)
DB	Синхронизация элементарных сигналов передатчика (DCE источник)	ST	Синхронизация отправки	114	Синхронизация элементарных сигналов передатчика (DCE источник)
DD	Синхронизация элементарных сигналов приемника (DCE)	RT	Синхронизация приема	115	Синхронизация элементарных сигналов приемника (DCE источник)
CA	Запрос отправки	RS	Запрос отправки	105	Запрос отправки
CB	Разъединение для отправки	CS	Разъединение для отправки	106	Готов к отправке
CF	Детектор принимаемого сигнала линии	RR	Приемник готов	109	Детектор принимаемого сигнала линии канала данных

EIA 232		EIA 449		V24	
CG	Детектор качества сигнала	SQ	Качество сигнала	110	Детектор качества сигнала
		NS	Новый сигнал		
		SF	Выбор частоты	126	Выбор частоты передачи
CH	Селектор скорости передачи сигналов данных (DTE источник)	SR	Селектор скорости передачи сигналов	111	Селектор скорости передачи сигналов данных (DTE источник)
CI	Селектор скорости передачи сигналов данных (DCE источник)	SI	Индикатор скорости передачи сигналов	112	Селектор скорости передачи сигналов данных (DCE источник)
SBA	Данные, переданные по дополнительному каналу	SSD	Отправить данные по дополнительному каналу	118	Данные, переданные по обратному каналу
SBB	Данные, принятые по дополнительному каналу	SRD	Принять данные по дополнительному каналу	119	Данные, принятые по обратному каналу
SCA	Запрос отправки по дополнительному каналу	SRS	Запрос отправки по дополнительному каналу	120	Передача сигнала по линии обратного канала
SCB	Разъединение для отправки по дополнительному каналу	SCS	Разъединение для отправки по дополнительному каналу	121	Обратный канал готов
SCF	Детектор принимаемого сигнала линии дополнительного канала	SRR	Приемник дополнительного канала готов	122	Детектор принимаемого сигнала линии обратного канала
		LL	Проверка по шлейфу местной линии связи (абонентского канала)	141	Проверка по шлейфу местной линии связи (абонентского канала)
		RL	Дистанционная проверка по шлейфу	140	Дистанционная проверка по шлейфу
		TM	Режим проверки, тестовый режим	143	Тестовый индикатор
		SS	Выбор режима ожидания	116	Выбор режима ожидания
		SB	Индикатор режима ожидания	117	Индикатор режима ожидания

## 3.34. ИНТЕРФЕЙС «ЦЕНТРОНИКС»

В большинстве персональных компьютеров используется параллельная пересылка данных к принтеру. Далее в таблице будут приведены номера выводов разъема, их сокращенные названия и описание сигналов.

Номер вывода	Сокращенное название	Описание сигнала
1	STROBE	Стробирование
2	DATA 1	Линия данных 1
3	DATA 2	Линия данных 2
4	DATA 3	Линия данных 3
5	DATA 4	Линия данных 4
6	DATA 5	Линия данных 5
7	DATA 6	Линия данных 6
8	DATA 7	Линия данных 7
9	DATA 8	Линия данных 8
10	ACKNGL	Данные подтверждения
11	BUSY	«Занят»
12	PE	Конец бумаги
13	SLCT	Выбор принтера
14	AUTO FEED XT	Автоматическая протяжка бумаги до конца строки
15	NC	Соединение отсутствует
16	OV	Уровень логического нуля
17	CHASSIS GND	Заземление на корпус принтера (не обязательно совпадает с уровнем логического нуля)
18	NC	Соединение отсутствует
19		
30	GND	Подвешенная земля
31	INIT	Инициализировать, устанавливать в исходное состояние
32	ERROR	Ошибка
33	GND	Подвешенная земля
34	NC	Соединение отсутствует
35	LOGIC1	Уровень логической единицы
36	SLCT IN	Выбор входа (вход выбора?) принтера

## 3.35. РАЗЪЕМЫ ДЛЯ ЗВУКОВОЙ АППАРАТУРЫ

Для подключения звукового оборудования широко используются разъемы стандарта DIN, разработанного Министерством промышленных стандартов Германии. Такие разъемы показаны на Рис. 3.1. Наиболее часто используются разъемы с тремя выводами и пятью выводами, расположенными под углом  $45^\circ$ , описание которых приводится в Табл. 3.6.

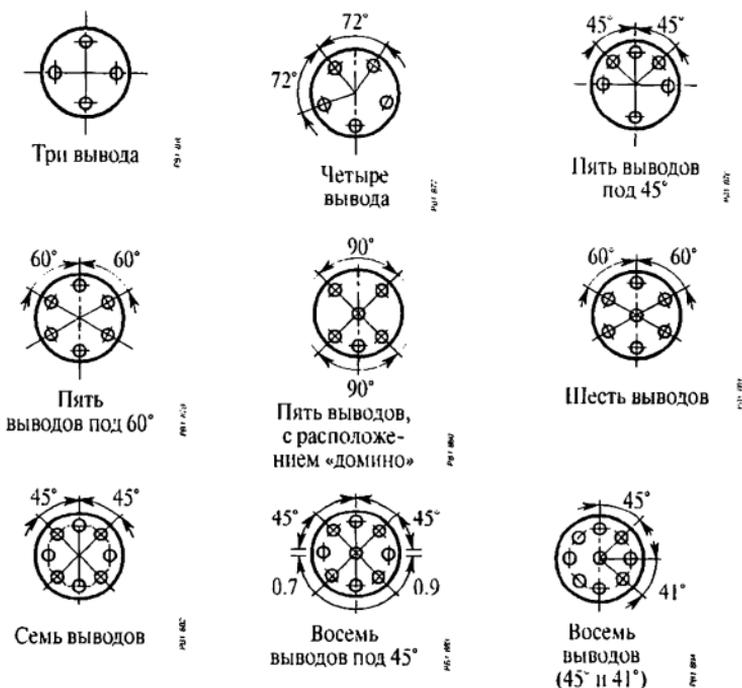


Рис. 3.1. Разъемы стандарта DIN для звукового оборудования

Таблица 3.6. Разъемы\* DIN с тремя и пятью ( $45^\circ$ ) выводами

Звуковое оборудование	Номер вывода	Моно (3 вывода)	Сtereo (5 выводов)
Микрофон	1	Вход	Вход левого канала
	2	0 В	0 В
	3	Предназначен для напряжения поляризации	Предназначен для напряжения поляризации
	4	—	Вход правого канала
	5	—	Предназначен для напряжения поляризации

Таблица 3.6 (окончание)

Звуковое оборудование	Номер вывода	Моно (3 вывода)	Сtereo (5 выводов)
Входы и контрольные выходы магнитофона	1	Вход	Вход левого канала
	2	0 В	0 В
	3	Выход	Выход левого канала
	4	—	Вход правого канала
	5	—	Выход правого канала
Выходы воспроизведения магнитофона	1	Выход, низкое сопротивление	Выход левого канала, низкое сопротивление
	2	0 В	0 В
	3	Выход, высокое сопротивление	Выход левого канала, высокое сопротивление
	4	—	Выход правого канала, низкое сопротивление
	5	—	Выход правого канала, высокое сопротивление
Усилители	1	Выходной сигнал на магнитофон	Вход левого канала
	2	0 В	0 В
	3	Входной сигнал с магнитофона	Вход левого канала
	4	—	Выход правого канала
	5	—	Вход правого канала

\* Разъемы, изготовленные различными производителями, могут иметь отличия.

### 3.36. КОАКСИАЛЬНЫЕ РАЗЪЕМЫ

Существует ряд разъемов для подключения коаксиальных кабелей. Наиболее часто встречающиеся разъемы описаны в Табл. 3.7.

Таблица 3.7. Типы коаксиальных разъемов

Тип	Сопр. [Ом]	Макс. частота [МГц]	Макс. лик. напр-е [В]	Примечания
BNC	50	10000	500	Высококачественный разъем с байонетным (штыковым) креплением, с постоянным сопротивлением
	75	10000	500	
Миниатюрный BNC	50	10000	500	Высококачественный разъем с постоянным сопротивлением
N	50	10000	1000	Рекомендуется для мощных схем с частотой выше 400 МГц
	75	10000	500	

Таблица 3.7 (окончание)

Тип	Сопр. [Ом]	Макс. частота [МГц]	Макс. пик. напр-е [В]	Примечания
PL259/SO239	50	200	500	Конструкция с непостоянным сопротивлением. Из-за высокого коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) непригоден для использования на частотах свыше 144 МГц
C	75	—	—	С байонетным креплением
F	50	—	—	Разъем, используемый для портативных приемопередатчиков частотой 144 МГц американского кабельного ТВ. Для центрального вывода в разьеме используется внутренний провод кабеля
Belling Lee	75	—	—	Британский разъем для ТВ антенн, используемый в основном для бытового оборудования и некоторого коммерческого оборудования в Великобритании. Основным преимуществом является низкая цена, однако алюминиевые разъемы подвержены коррозии при использовании на открытом воздухе
Phono	—	—	—	Американский разъем, разработанный специально для звуковой аппаратуры
GR	50	1000	—	Унифицированный (sexless) разъем с постоянным сопротивлением

### 3.37. РАЗЪЕМЫ ДЛЯ ВИДЕОМАГНИТОФОНОВ, ТЕЛЕАППАРАТУРЫ, ТЕЛЕ/ВИДЕОКАМЕР

На Рис. 3.2 показано стандартное расположение выводов различных разъемов, используемых для видеомагнитофонов, телеаппаратуры и теле- и видеокамер. Зачастую расположение выводов этих разъемов совпадает с расположением выводов разъемов стандарта DIN, но разъемы SCART и разъемы для видеокамер существенно отличаются от них (Табл. 3.8).



DIN, 5 выводов



DIN, 6 выводов



DIN, 7 выводов



DIN, 8 выводов

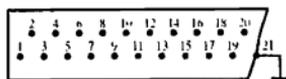


Рис. 3.2. Разъемы для теле- и видеоаппаратуры

Таблица 3.8. Разъемы для теле- и видеоаппаратуры

Разъем	Номер вывода	Назначение вывода
DIN, 5 выводов	1, 4	Звуковой вход
	2	Заземление на корпус
	3, 5	Звуковой выход, стереовыход
	1	Звуковой вход, левый канал
	2	Заземление на корпус
	3	Звуковой выход, левый канал
	4	Звуковой вход, правый канал
	5	Звуковой выход, правый канал
DIN, 6 выводов	1	Выбор AV. Для видеоманитофона, при ВЫСОКОМ уровне — все выходы, при НИЗКОМ — все входы, для телевизора — наоборот
	2	Видеовход/выход
	3	Корпус
	4	Вход/выход левого звукового канала
	5	12 В
	6	Вход/выход правого звукового канала
DIN, 7 выводов	1	Вход левого звукового канала
	2	Корпус
	3	Выход левого звукового канала
	4	Вход правого звукового канала
	5	Выход правого звукового канала
	6	Управляющие данные с пульта дистанционного управления
	7	Корпус
DIN, 8 выводов	1	Вход левого звукового канала
	2	Управляющие данные с пульта дистанционного управления
	3	Вход правого звукового канала
	4	Корпус (заземление для звуковых схем)
	5	Корпус (заземление для дистанционного управления)
	6	Корпус (заземление для видеосхем)
	7	Корпус (заземление для звуковых схем)
	8	Видеовход

Таблица 3.8 (окончание)

Разъем	Номер вывода	Назначение вывода
SCART	1	Правый звуковой канал, выход
	2	Правый звуковой канал, вход
	3	Левый звуковой канал, вход
	4	Земля звукового канала
	5	Земля синего канала
	6	Левый звуковой канал
	7	Вход синего канала
	8	Коммутация источника
	9	Земля зеленого канала
	10	Линия связи между устройствами
	11	Вход зеленого канала
	12	Линия связи между устройствами
	13	Земля красного канала
	14	Земля линии связи между устройствами
	15	Вход красного канала
	16	Быстрое гашение RGB
	17	Земля полного видеосигнала, гашения и синхронизации
	18	Земля быстрого гашения
	19	Полный видеосигнал, гашение и синхронизация, выход
	20	Полный видеосигнал, гашение и синхронизация, вход
	21	Земля соединителя

### 3.38. РАЗЪЕМ SCART (СТАНДАРТ BS 6552)

Характерной чертой разъемов SCART, известных также как разъемы «Peritelevision» или разъемы «Euroconnector», является наличие двух систем управления, позволяющих дистанционно управлять возможностями телевизора или видеомагнитофона.

Самой простой системой управления является вход переключения источника (вывод 8), который позволяет подключенному к нему внешнему источнику (видеомагнитофону, компьютеру и т.п.) переключать входы видеосигнала, подавая на этот вход напряжение 12 В.

Более сложная система управления, называемая встроенной шиной данных ( $D^2V$ ), реализуется на выводах 10 и 12. В этой системе может происходить последовательный обмен данными между управляющими микропроцессорами в телевизоре и внешним оборудованием. Стандарт для системы  $D^2V$  еще не разработан.

### 3.39. НОМИНАЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ НИЗКОВОЛЬТНЫХ СЕТЕЙ

#### 3.39.1. Европа

- Австрия — (50 Гц) 220/380 В;  
в Вене в некоторых районах 220/440 В (DC)  
Азорские острова — (50 Гц) 220/380 В  
Бельгия — (50 Гц) 220/380 В, в некоторых районах другое;  
иногда DC  
Германия — (50 Гц) 220/380 В, в некоторых районах другое;  
иногда DC  
Гибралтар — (50 Гц) 240/415 В  
Греция — (50 Гц) 220/380 В, в некоторых районах другое;  
иногда DC  
Дания — (50 Гц) 220/380 В, 220/440 В (DC)  
Ирландия — (50 Гц) 220/380 В; иногда 220/440 В (DC)  
Исландия — (50 Гц) 220 В; иногда 220/380 В  
Испания — (50 Гц) 127/220 В, 220/380 В; иногда DC  
Италия — (50 Гц) 127/220 В, 220/380 В,  
в некоторых районах другое  
Канарские острова — (50 Гц) 127/220 В  
Люксембург — (50 Гц) 110/190 В, 220/380 В  
Мадейра — (50 Гц) 220/380 В, 220/440 В (DC)  
Мальта — (50 Гц) 240/415 В  
Монако — (50 Гц) 127/220 В, 220/380 В  
Нидерланды — (50 Гц) 220/380 В, 127/220 В  
Норвегия — (50 Гц) 230 В  
Португалия — (50 Гц) 220/380 В; иногда 110/190 В  
Великобритания — (50 Гц) 240/415 В,  
в некоторых районах другое; иногда DC  
Турция — (50 Гц) 220/380 В; иногда 110/190 В  
Финляндия — (50 Гц) 220/380 В  
Франция — (50 Гц) 120/240 В, 220/380 В,  
в некоторых районах другое  
Швеция — (50 Гц) 127/220 В, 220/380 В; иногда DC  
Швейцария — (50 Гц) 220/380 В  
Югославия — (50 Гц) 220/380 В

#### 3.39.2. Азия

- Афганистан — (50 Гц) 220/380 В  
Бирма — (50 Гц) 230 В  
Вьетнам — (50 Гц) 220/380 В  
Гонконг — (50 Гц) 220/346 В  
Израиль — (50 Гц) 230/400 В  
Индия — (50 Гц) 230/400 В, в некоторых районах другое;  
иногда DC

Индонезия — (50 Гц) 127/240 В  
Иордания — (50 Гц) 220/380 В  
Ирак — (50 Гц) 220/380 В  
Иран — (50 Гц) 220/380 В  
Йеменская Арабская Республика — (50 Гц) 220 В, 230/400 В  
Камбоджа — (50 Гц) 120/208 В; иногда 220/380 В  
Кипр — (50 Гц) 240 В  
Корея — (60 Гц) 100/200 В  
Кувейт — (50 Гц) 240/415 В  
Лаос — (50 Гц) 127/220 В; иногда 220/380 В  
Ливан — (50 Гц) 110/190 В; иногда 220/380 В  
Малайзия — (50 Гц) 230/400 В; иногда 240/415 В  
Непал — (50 Гц) 110/220 В  
Окинава — (60 Гц) 120/240 В  
Пакистан — (50 Гц) 230/400 В, в некоторых районах другое; иногда DC  
Саудовская Аравия — (50/60 Гц) 120/208 В, 220/380 В, 230/400 В  
Сингапур — (50 Гц) 230/400 В  
Сирия — (50 Гц) 115/200 В; иногда 220/380 В  
Таиланд — (50 Гц) 220/380 В, 110/190 В  
Тайвань — (60 Гц) 100/200 В  
Филиппины — (60 Гц) 110, 220 В, в некоторых районах другое  
Шри-Ланка — (50 Гц) 230/400 В  
Япония — (50/60 Гц) 100/200 В

### 3.39.3. Северная Америка

Аляска — (60 Гц) 120/240 В  
Белиз — (60 Гц) 110/220 В  
Бермудские острова — (60 Гц) 115/230 В; иногда 120/208 В  
Гватемала — (60 Гц) 110/240 В; иногда 220 В, 120/208 В  
Гондурас — (60 Гц) 110/220 В  
Канада — (60 Гц) 120/240 В; иногда 115/230 В  
Коста-Рика — (60 Гц) 110/220 В  
Мексика — (50, 60 Гц) 127/220 В, в некоторых районах другое (Мехико, город — (50 Гц) 125/216 В)  
Никарагуа — (60 Гц) 120 В  
Панама — (60 Гц) 110/220 В; иногда 120/240 В, 115/230 В  
Сальвадор — (60 Гц) 110/220 В  
США — (60 Гц) 120/240 В; и 120/208 В

### 3.39.4. Острова Вест-Индии

Антигуа — (60 Гц) 230/400 В  
Багамы — (60 Гц) 115/200 В; иногда 115/220 В  
Барбадос — (50 Гц) 120/208 В; иногда 110/200 В

Виргинские о-ва — (60 Гц) 120/240 В  
Гваделупа — (50 Гц) 127/220 В  
Доминиканская Республика — (60 Гц) 115/230 В  
Куба — (60 Гц) 115/230 В; иногда 120/208 В  
Мартиника — (50 Гц) 127/220 В  
Пуэрто-Рико — (60 Гц) 120/240 В  
Тринидад — (60 Гц) 115/230 В  
Ямайка — (50, иногда 60 Гц) 110/220 В

### 3.39.5. Южная Америка

Аргентина — (50 Гц) 220/380 В, 220/440 В (DC)  
Боливия — (50, также 60 Гц) 220 В, в некоторых районах  
другое  
Бразилия — (50, 60 Гц) 110, 220 В, в некоторых районах  
другое; иногда DC  
в Рио-де-Жанейро — (50 Гц) 125/216 В  
Венесуэла — (60, иногда 50 Гц) 120/208 В, 120/240 В  
Гайана — (50, 60 Гц) 110/220 В  
Колумбия — (60 Гц) 110/220 В, 120/240 В,  
в некоторых районах другое  
Парагвай — (50 Гц) 220/440 В; иногда 220/440 В (DC)  
Перу — (60 Гц) 220 В; иногда 110 В  
Суринам — (50, 60 Гц) 127/220 В; иногда 115/230 В  
Уругвай — (50 Гц) 220 В  
Французская Гвiana — (50 Гц) 127/220 В  
Чили — (50 Гц) 220/380 В; иногда 220 В (DC)  
Эквадор — (60 Гц) 120/208 В, в некоторых районах 110/220 В

### 3.39.6. Африка

Алжир — (50 Гц) 127/220 В, 220/380 В  
Ангола — (50 Гц) 220/380 В  
Верхняя Вольта — (50 Гц) 220/380 В  
Гвинея — (50 Гц) 220/380 В; иногда 127/220 В  
Дагомья — (50 Гц) 220/380 В  
Египет — (50 Гц) 110/220 В, в некоторых районах другое;  
иногда DC  
Заир — (50 Гц) 220/380 В  
Кения — (50 Гц) 240/415 В  
Либерия — (60 Гц) 120/240 В  
Ливия — (50 Гц) 125/220 В; иногда 230/400 В  
Маврикий — (50 Гц) 230/400 В  
Мадагаскар — (50 Гц) 220/380 В; иногда 127/220 В  
Марокко — (50 Гц) 115/200 В, в некоторых районах 230/400 В  
Мозамбик — (50 Гц) 220/380 В  
Нигер — (50 Гц) 220/380 В

Нигерия — (50 Гц) 230/400 В  
Родезия — (50 Гц) 220/380 В, 230/400 В  
Сенегал — (50 Гц) 127/220 В  
Сомали — (50 Гц) 220/440 В, 110, 230 В  
Сьерра-Леоне — (50 Гц) 230/400 В  
Судан — (50 Гц) 240/415 В  
Танганьика — (50 Гц) 230/400 В  
Тунис — (50 Гц) 220/380 В, в некоторых районах другое  
Уганда — (50 Гц) 240/415 В  
Эфиопия — (50 Гц) 220/380 В; иногда 127/220 В  
ЮАР — (50 Гц) 220/380 В, в некоторых районах другое;  
иногда DC

### 3.39.7. Океания

Австралия — (50 Гц) 240/415 В, в некоторых районах другое;  
иногда DC  
Гавайи — (60 Гц) 120/240 В  
Новая Зеландия — (50 Гц) 230/400 В  
Новая Каледония — (50 Гц) 220/440 В  
Фиджи, острова — (50 Гц) 240/415 В

### 3.40. ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ КАБЕЛИ СЕРИИ RG (США)

Номер RG	Номинальный импеданс $Z_0$ [Ом]	Наибольший наружный диаметр	Коэффициент усиления по скорости	Затухание [дБ на 100 футов]					Емкость [пФ/фут]	Макс. рабочее напряжение [В] (rms)
				1 МГц	10 МГц	100 МГц	1000 МГц	3000 МГц		
RG-5/U	52.5	0.332	0.659	0.21	0.77	2.9	11.5	22.0	28.5	3000
RG-5B/U	50.0	0.332	0.659	0.16	0.66	2.4	8.8	16.7	29.5	3000
RG-6A/U	75.0	0.332	0.659	0.21	0.78	2.9	11.2	21.0	20.0	2700
RG-8A/U	50.0	0.405	0.659	0.16	0.55	2.0	8.0	16.5	30.5	4000
RG-9/U	51.0	0.420	0.659	0.16	0.57	2.0	7.3	15.5	30.0	4000
RG-9B/U	50.0	0.425	0.659	0.175	0.61	2.1	9.0	18.0	30.5	4000
RG-10A/U	50.0	0.475	0.659	0.16	0.55	2.0	8.0	16.5	30.5	4000
RG-11A/U	75.0	0.405	0.66	0.18	0.7	2.3	7.8	16.5	20.5	5000
RG-12A/U	75.0	0.475	0.659	0.18	0.66	2.3	8.0	16.5	20.5	4000
RG-13A/U	75.0	0.425	0.659	0.18	0.66	2.3	8.0	16.5	20.5	4000
RG-14A/U	50.0	0.545	0.659	0.12	0.41	1.4	5.5	12.0	30.0	5500
RG-16/U	52.0	0.630	0.670	0.1	0.4	1.2	6.7	16.0	29.5	6000
RG-17A/U	50.0	0.870	0.659	0.066	0.225	0.80	3.4	8.5	30.0	11000
RG-18A/U	50.0	0.945	0.659	0.066	0.225	0.80	3.4	8.5	30.5	11000
RG-19A/U	50.0	1.120	0.659	0.04	0.17	0.68	3.5	7.7	30.5	14000
RG-20A/U	50.0	1.195	0.659	0.04	0.17	0.68	3.5	7.7	30.5	14000

(окончание)

Номер RG	Номинальный импеданс $Z_0$ [Ом]	Наибольший наружный диаметр	Коэффициент усиления по скорости	Затухание [дБ на 100 футов]					Емкость [пФ/фут]	Макс. рабочее напряжение [В] (rms)
				1 МГц	10 МГц	100 МГц	1000 МГц	3000 МГц		
RG-21A/U	50.0	0.332	0.659	1.4	4.4	13.0	43.0	85.0	30.0	2700
RG-29/U	53.5	0.184	0.659	0.33	1.2	4.4	16.0	30.0	28.5	1900
RG-34A/U	75.0	0.630	0.659	0.065	0.29	1.3	6.0	12.5	20.5	5200
RG-34B/U	75.0	0.630	0.66		0.3	1.4	5.8		21.5	6500
RG-35A/U	75.0	0.945	0.659	0.07	0.235	0.85	3.5	8.60	20.5	10000
RG-54A/U	58.0	0.250	0.659	0.18	0.74	3.1	11.5	21.5	26.5	3000
RG-55/U	53.5	0.206	0.659	0.36	1.3	4.8	17.0	32.0	28.5	1900
RG-55A/U	50.0	0.216	0.659	0.36	1.3	4.8	17.0	32.0	29.5	1900
RG-58/U	53.5	0.195	0.659	0.33	1.25	4.65	17.5	37.5	28.5	1900
RG-59A/U	75.0	0.242	0.659	0.34	1.10	3.40	12.0	26.0	20.5	2300
RG-59B/U	75.0	0.242	0.66		1.1	3.4	12		21	2300
RG-62A/U	93.0	0.242	0.84	0.25	0.85	2.70	8.6	18.5	13.5	750
RG-74A/U	50.0	0.615	0.659	0.10	0.38	1.5	6.0	11.5	30.0	5500
RG-83/U	35.0	0.405	0.66	0.23	0.80	2.8	9.6	24.0	44.0	2000
*RG-213/U	50.0	0.405	0.66	0.16	0.6	1.9	8.0		29.5	5000
~RG-218/U	50.0	0.870	0.66	0.066	0.2	1.0	4.4		29.5	11000
#RG-220/U	50.0	1.120	0.66	0.04	0.2	0.7	3.6		29.5	14000

\*) ранее RG8A/U

~) ранее RG17A/U

#) ранее RG19A/U

### 3.41. ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ КАБЕЛИ СЕРИИ UR (ВЕЛИКОБРИТАНИЯ)

Номер UR	Номинальный импеданс $Z_0$ [Ом]	Наибольший наружный диаметр [дюймы]	Диаметр внутреннего провода [дюймы]	Емкость [пФ/фут]	Рабочее напряжение max rms [В]	Затухание [дБ на 100 футов]				Ближайший аналог RG
						10 МГц	100 МГц	300 МГц	1000 МГц	
43	52	0.195	0.032	29	2750	1.3	4.3	8.7	18.1	58/U
57	75	0.405	0.044	20.6	5000	0.6	1.9	3.5	7.1	11A/U
63*	75	0.855	0.175	14	4400	0.15	0.5	0.9	1.7	
67	50	0.405	7/0.029	30	4800	0.6	2.0	3.7	7.5	213/U
74	51	0.870	0.188	30.7	15000	0.3	1.0	1.9	4.2	218/U
76	51	0.195	19/0.0066	29	1800	1.6	5.3	9.6	22.0	58C/U
77	75	0.870	0.104	20.5	125000	0.3	1.0	1.9	4.2	164/U
79*	50	0.855	0.265	21	6000	0.16	0.5	0.9	1.8	
83*	50	0.555	0.168	21	2600	0.25	0.8	1.5	2.8	
85*	75	0.555	0.109	14	2600	0.2	0.7	1.3	2.5	
90	75	0.242	0.022	20	2500	1.1	3.5	6.3	12.3	59B/U

Все вышеозначенные кабели выполнены с твердым диэлектриком с коэффициентом усиления по скорости, равным 0.66, за исключением кабелей, помеченных \*, которые выполнены со спиральной мембраной с коэффициентом усиления по скорости 0.96.

### 3.42. БАТАРЕИ И АККУМУЛЯТОРЫ

Элемент	Маркировка США	Номинальное напряжение [В]	Тип	Маркировка МЭК	Макс. размеры [мм]			Контакты	Ток [мА]	Масса [г]
					Длина (или диаметр)	Ширина	Высота			
Угльно-цинковый	N	1.5	D23	R1	12	—	30.1	Колпачок и донышко	1...5	7
	AAA		HP16	R03	10.5	—	45	Колпачок и донышко	0...10000	8.5
	AA		HP7	R6	14.5	—	50.5	Колпачок и донышко	0...75	16.5
	AA		C7	R6	14.5	—	50.5	Колпачок и донышко	0...75	16.5
	C		SP11	R14	26.2	—	50	Колпачок и донышко	20...60	45
	C		HP11	R14	26.2	—	50	Колпачок и донышко	0...1000	45
	C		C11	R14	26.2	—	50	Колпачок и донышко	0...5	45
	D		SP2	R20	34.2	—	61.8	Колпачок и донышко	25...100	90
	D		HP2	R20	34.2	—	61.8	Колпачок и донышко	0...2000	90
		4.5	AD28	3R25	101.6	34.9	106	Розетка (гнездо)	30...300	453.6
			1289	3R12	62	22	67	Плоские пружины	0...300	113
		6.0	PP8	4-F100-4	65.1	51.6	200.8	Прижимные контакты («кнопки»)	20...151	1100
			PJ996	4-R25	67	67	102	Спиральные пружины	30...300	581
			991		135.7	72.2	125.4	Два винта	30...500	1470
		9.0	PP3-P	6-F22	26.5	17.5	48.5	Прижимные контакты («кнопки»)	0...50	39
			PP3-C	6-F22	26.5	17.5	48.5	Прижимные контакты («кнопки»)	0...50	39
			PP3	6-F22	26.5	17.5	48.5	Прижимные контакты («кнопки»)	0...10	38
			PP4	6-F20	25.5	—	50	Прижимные контакты («кнопки»)	0...10	51

(продолжение)

Элемент	Маркировка США	Номинальное напряжение [В]	Тип	Маркировка МЭК	Макс. размеры [мм]			Контакты	Ток [мА]	Масса [г]
					Длина (или диаметр)	Ширина	Высота			
Угольно-цинковый			PP6	6-F50-2	36	34.5	70	Прижимные контакты («кнопки»)	2.5...15	142
			PP7	6-F90	46	46	61.9	Прижимные контакты («кнопки»)	5...20	198
			PP9	6-F100	66	52	81	Прижимные контакты («кнопки»)	5...50	425
			PP10	6-F100-3	66	52	226	Розетка (гнездо)	15...150	1250
		15.0	B154	10-F15	16	15	35	Торцевые контакты	0.1...0.5	14.2
			B121	10-F20	27	16	37	Торцевые контакты	0.1...1.0	21
		22.5	B155	15-F15	16	15	51	Торцевые контакты	0.1...0.5	20
		B122	15-F20	27	16	51	Торцевые контакты	0.1...1.0	32	
Марганцево-щелочной	ED	1.5	MN1300*	LR20	34.2	—	61.5	Колпачок и донышко	10.00~	125
	C		MN1400*	LR14	26.2	—	50	Колпачок и донышко	5.50~	65
	AA		MN1500*	LR6	14.5	—	50.5	Колпачок и донышко	1.80~	23
	AAA		MN2400*	LR03	10.5	—	44.5	Колпачок и донышко	0.80~	13
	N		MN9100*	LR1	12	—	30.2	Колпачок и донышко	0.65~	9.6
Оксид ртути		1.35/1.4	RM675H	NR07	11.6	—	5.4	Колпачок и донышко (аккумулятор типа «таблетка»)	0.21 -	2.6
			RM625N	MR9	15.6	—	6.2	Колпачок и донышко («таблетка»)	0.25 -	4.3
			RM575H	NR08	11.6	—	3.5	Колпачок и донышко («таблетка»)	0.12 -	1.4
			RM1H	NR50	16.4	—	16.8	Колпачок и донышко («таблетка»)	1.00 -	12.0

(окончание)

Элемент	Маркировка США	Номинальное напряжение [В]	Тип	Маркировка МЭК	Макс. размеры [мм]			Контакты	Ток [мА]	Масса [г]
					Длина (или диаметр)	Ширина	Высота			
Оксид серебра		1.5	10L14	5R44	11.56	—	5.33	Колпачок и донышко («таблетка»)	0.13~	2.2
			10L124	5R43	11.56	—	4.19	Колпачок и донышко («таблетка»)	0.13~	1.7
			10L123	5R48	7.75	—	5.33	Колпачок и донышко («таблетка»)	0.08~	1.0
			10L125	5R41	7.75	—	3.58	Колпачок и донышко («таблетка»)	0.04~	0.8
Никель кадмиевый		1.25	NC828	—				Аккумулятор типа «таблетка»	0.28~	16.5
	AA		NCC60	—	См. HP7			«таблетка»	0.60~	30.0
	C		NCC200	—	См. HP11			«таблетка»	2.00~	78.0
	D		NCC400	—	См. HP2			«таблетка»	4.00~	170.0
		10.0	NC828/8	—				Комплект из нескольких «таблеток»	0.28~	126.0
		12.0	10/225DK	—				Комплект из нескольких «таблеток»	0.225~	135.0
		9.0	TR7/8	(DEAC)	См. PP3			Прижимные контакты («кнопки»)	0.07~	45.0
	AA	1.25	501RS	(DEAC)	См. HP7			Прижимные контакты («кнопки»)	0.50~	30.0
	C		RS1.8	(DEAC)	См. HP11			Прижимные контакты («кнопки»)	1.80~	65.0
D		RS4	(DEAC)	См. HP2			Прижимные контакты («кнопки»)	4.00~	150.0	

~) Емкость в ампер-часах.

\*\*) Аккумуляторы типа BEREC, если не указано другое.

\*) Также Duracell (Mallory).

---

Часть четвертая

# Словари

## 4.1. ТОЛКОВЫЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

**Автоматическая подстройка частоты (АПЧ)** — процесс саморегулирования частоты электрических колебаний, обеспечиваемый предназначенной для этой цели специальной схемой.

**Автоматическая регулировка громкости (АРГ)** — синоним термина «автоматическая регулировка усиления» (АРУ).

**Автоматическая регулировка усиления (АРУ)** — саморегулирование уровня выходного сигнала приемного устройства, состоящее в том, что колебания входного сигнала слабо отражаются на выходном. Такое положение становится возможным благодаря введению в усилительную схему цепи отрицательной обратной связи (ООС). АРУ осуществляется при помощи специальной схемы для управления амплитудой подаваемого сигнала.

**Автономный (оффлайновый) режим** — режим, при котором часть компьютерной системы работает при отключенном компьютере, либо компьютер отключен от сети (режим *off-line*). Периферийные устройства, отключенные от компьютера, также называются автономными.

**Адрес** — 1) номер, присваиваемый конкретному элементу данных в памяти или входному/выходному каналу (ввода/вывода) цифрового компьютера; 2) номер, который присваивается устройству компьютера для того, чтобы по присвоенным номерам устройства могли распознавать друг друга при обмене информацией.

**Азбука Морзе** — международный код для передачи символов (букв, цифр, знаков), в котором каждый символ передается как комбинация коротких и длинных импульсов (точки и тире).

**АИМ** — см. Амплитудно-импульсная модуляция.

**Аккумулятор** — 1) вторичный источник тока, обеспечивающий разность потенциалов. Прибор для многократного накопления и последующего использования электрической энергии. В основе действия аккумулятора лежит принцип обратимого преобразования химической и электрической энергии; 2) регистр процессора, хранящий промежуточные результаты арифметических и логических операций. Для современных процессоров слова «аккумулятор» и «регистр» — синонимы.

**Акустическая обратная связь** — нежелательная обратная связь между выходом и входом акустической системы, вызывающая неприятные для слуха звуковые колебания, называемые «завыванием» или «микрофонным эффектом».

**Акустические (звуковые) волны** — механические колебания материальных объектов (воздух, вода, твердые тела) с частотой, находящейся в диапазоне 20...20000 Гц. Скорость распространения звуковых волн зависит от среды их распространения (например, скорость звука в воздухе — 340 м/с, в воде — 1430 м/с).

**Алфавитно-цифровой или буквенно-цифровой** (например, код, знак, данные и т.п.) — упорядоченный набор символов (букв, цифр, знаков), необходимых для предоставления и передачи информации.

**АМ** — см. **Амплитудная модуляция**.

**Ампер** — единица силы электрического тока. Обозначение [А].

**Амперметр** — прибор, предназначенный для измерения величины силы тока.

**Амплитуда** — максимальное отклонение переменной величины (например, тока или напряжения) от нулевого значения. (Суммарная величина максимальных отклонений в сторону положительных и отрицательных значений определяется термином «размах»).

**Амплитудная модуляция (АМ)** — тип модуляции, при которой амплитуда несущего сигнала изменяется прямо пропорционально изменениям амплитуды модулирующего (информационного) сигнала, т.е. в зависимости от амплитуды модулирующего сигнала амплитуда несущего сигнала становится или больше, или меньше своего номинального значения.

**Амплитудно-импульсная модуляция (АИМ)** — модуляция, при которой амплитуда импульса модулируется амплитудой информационного сигнала.

**Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)** — изменение с частотой коэффициента усиления схемы (отношение амплитуд выходного и входного сигналов). Обычно изображается в виде графика в логарифмическом масштабе, где коэффициент усиления отображается в децибелах.

**Аналоговый (сигнал)** — термин, используемый для обозначения непрерывного во времени (не цифрового) сигнала.

**Аналого-цифровой преобразователь (АЦП)** — устройство, преобразующее аналоговый сигнал в цифровую форму.

**Анод** — электрод прибора, на который подается положительный потенциал.

**Антенна** — устройство, которое излучает или принимает электромагнитные волны. Конструкция антенны (обычно металли-

ческая) определяется параметрами излучаемых или принимаемых сигналов.

**Антенна Уда-Яги** (директорная антенна, антенна «волновой канал») — направленная антенная решетка, названная по имени японского разработчика. Большинство ТВ-антенн основано на антенне Уда-Яги.

**Аппаратное обеспечение** — совокупность физических устройств компьютерной системы (принтер, клавиатура, монитор и др.).

**АПЧ** — см. **Автоматическая подстройка частоты**.

**АРУ** — см. **Автоматическая регулировка усиления**.

**Асинхронный** — несогласованный по времени процесс передачи данных.

**Ассемблер** — название языка компьютерного программирования и программа, которая преобразует программы, написанные на этом языке, в программу машинного кода компьютера.

**Аттенуатор** — устройство, предназначенное для ослабления сигналов, внесения затухания в какую-либо цепь.

**АЦП** — см. **Аналого-цифровой преобразователь**.

**АЧХ** — см. **Амплитудно-частотная характеристика**.

**База (транзистора)** — 1) один из трех выводов биполярного транзистора; 2) область биполярного транзистора, заключенная между эмиттерным и коллекторным *p-n*-переходами.

**Байт** — группа битов, рассматриваемая как единица данных при компьютерной обработке. Обычно содержит 8 битов (двоичных разрядов).

**Батарея** — источник тока, состоящий из двух и более гальванических элементов или аккумуляторов, электрически соединенных друг с другом.

**Бейсик** — русское написание английской аббревиатуры BASIC (*Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code*) — компьютерный язык высокого уровня, разработан в США в 1964 году.

**Бел** — десятичный логарифм отношения физической величины к одноименной физической величине, принимаемой за исходную. В радиотехнике используется в качестве единицы отношения мощностей, токов и напряжений. См. **Децибел**.

**Белый шум** — шум с равномерной (плоской) частотной характеристикой в широкой полосе частот.

**Бета,  $\beta$  (коэффициент усиления)** — коэффициент усиления прямого тока транзистора в схеме включения с общим эмиттером. Также обозначается как  $h_{fe}$ .

**Биения** — периодические изменения амплитуды сигнала во времени, происходящие в случае слияния двух сигналов на близких частотах. Биения являются результатом интерференции: частота биений определяется разностью частот двух интерферирующих сигналов.

**Биполярный транзистор** — полупроводниковый прибор, предназначенный для усиления и преобразования сигналов в работе которого участвуют оба типа носителей заряда — и электроны, и дырки (отсюда название — биполярный). Состоит из трех частей: эмиттера, базы и коллектора. Транзисторы могут быть германиевые и кремниевые (по типу материала), сплавные и эпитаксиально-планарные (по технологии изготовления), диффузионные и дрейфовые (по механизму переноса носителей в базе).

**БИС** — см. Большая интегральная схема.

**Бистабильный мультивибратор** — устройство (электронная схема) с двумя устойчивыми состояниями. Другое наименование — триггер.

**Бит** — термин, обозначающий одну из двух возможных цифр (разрядов) 0 или 1 двоичного кода. Образован двумя первыми и последней буквами словосочетания «*binary digit*» (двоичная единица) — *bit*.

**Бод** — единица измерения скорости (частоты) модуляции информации, соответствующая передаче одного элементарного сигнала (сигнальной посылки) в секунду. Часто неверно принимается за единицу скорости передачи данных, измеряемую в битах в секунду.

**Большая интегральная схема (БИС)** — функционально законченная интегральная схема с высокой степенью интеграции. Различают заказные БИС (выполненные по спецификации заказчика), матричные БИС (содержащие матрицу однородных элементов), логические БИС (реализующие функцию передачи и обработки информации), а также микропроцессорные БИС и БИС памяти.

**Буфер** — 1) специальное ОЗУ для промежуточного хранения данных; 2) схема для сопряжения или согласования двух других схем, которая используется для предотвращения их влияния друг на друга.

**Валентность** — способность атомов объединяться с другими атомами благодаря электронам, которые находятся на внешней орбите и способны образовывать общую орбиту с электронами других атомов.

**Варикап** — параметрический диод, емкость которого зависит от напряжения на электродах. При обратном смещении  $p$ - $n$ -переход обладает переменной емкостью, поскольку обедненный слой у  $p$ - $n$ -перехода представляет собой диэлектрик между проводящими областями. Это свойство используется в варикапе. В радиотехнике варикапы применяются для автоматической настройки и автоматической подстройки частоты радиоприемников.

**Ватт** — единица мощности в системе СИ. Обозначение [Вт].

**Ввод** — процедура поступления данных в систему.

**Ввод-вывод** — термин, определяющий действия, производимые компьютером или соединенными с ним приборами, которые позволяют компьютеру получать и отсылать данные.

**Вещание** — радио- или телепередача различной информации, предназначенная широкому кругу потребителей.

**Внутреннее сопротивление источника** — сопротивление любого источника электрической энергии, обычно небольшой величины. При подключении внешней цепи к источнику напряжение источника уменьшается на величину падения напряжения на внутреннем сопротивлении.

**Волна** — возмущение, распространяющееся в пространстве и несущее с собой энергию без переноса вещества. Параметры, характеризующие волну, — амплитуда, длина волны и скорость распространения.

**Время доступа** — интервал времени между получением команды на считывание данных, хранящихся в памяти, и выводом этих данных из памяти.

**Время нарастания** — интервал времени, за который амплитуда сигнала изменяется от 10 до 90 процентов своей максимальной величины в области фронта импульса.

**Время реверберации** — время, необходимое для того, чтобы интенсивность ревербирующего звука понизилась на 60 дБ (т.е. составила одну миллионную от его первоначального уровня). Единица измерения времени реверберации — секунда.

**Время спада** — время, которое необходимо для того, чтобы состояние на выходе логического устройства изменилось с ВЫСОКОГО на НИЗКОЕ.

**Вторичная эмиссия** — эмиссия электронов из материала, возникающая в результате его бомбардировки высокоскоростным пучком электронов или ионов.

**Вторичный элемент (питания)** — химический источник тока с возможностью перезарядки, аккумулятор.

**Вход** — вывод схемы, на который подается входной сигнал.

**Входной импеданс (полное входное сопротивление)** — полное сопротивление электрической схемы, которое она оказывает входному сигналу.

**ВЧ** — см. **Высокая частота**.

**Выключатель-автомат** — тип выключателя, который автоматически включает и выключает, а следовательно, замыкает или размыкает электрическую цепь с помощью электрической схемы, работающей независимо от управляемой цепи.

**Выпрямитель** — любое устройство, которое проводит ток только одной полярности (только в одном направлении). Можно сказать, что выпрямитель — это преобразователь переменного тока в постоянный.

**Высокая степень интеграции** — уровень интеграции микросхем. Термин, используемый в производстве и эксплуатации больших интегральных схем (БИС).

**Высокая частота (ВЧ)** — полоса частот от 3 до 300 МГц, используемая для передачи и приема радиосигналов. Определенная ее часть называется диапазоном КВ (коротких волн).

**Высокий логический уровень** — термин, обозначающий уровень логической единицы (в позитивной логике).

**Высокое напряжение** — напряжение в диапазоне 50...250 В.

**Выход** — вывод схемы или системы, с которого снимают выходной сигнал.

**Выходной импеданс** — полное сопротивление на выходе схемы или системы.

**Гальванический элемент** — устройство, создающее разность потенциалов на выходных электродах в результате химической реакции. Два (или более) элемента, соединенные вместе, образуют батарею.

**Гармоника** — сигнал, представленный в сложном периодическом сигнале, частота которого кратна основной частоте. Частота второй гармоники в два раза больше основной частоты (частоты первой гармоники) и т.д.

**Генератор** — схема или система, генерирующая колебания.

**Генератор пилообразного напряжения** — релаксационный генератор, вырабатывающий периодический сигнал пилообразной формы.

**Генератор прямоугольных импульсов (мультивибратор без устойчивых состояний)** — мультивибратор, генерирующий на выходе сигнал, состоящий из двух непрерывно чередующихся состо-

аний. Такой прибор называют также несинхронизированным мультивибратором.

**Генератор сигналов** — устройство, которое генерирует управляемые сигналы.

**Генератор функций** — электрическая схема или часть измерительного оборудования, которая, с целью исследования других схем, генерирует сигналы различной формы, например синусоидальной, пилообразной, прямоугольной.

**Генри** — единица индуктивности. Обозначение [Гн].

**Геосинхронная орбита** — орбита, подобная геостационарной, однако в этом случае спутник летит по траектории, напоминающей восьмерку, и наблюдателю с Земли кажется, что спутник в течение суток совершает движение вверх и вниз.

**Геостационарная орбита** — орбита спутника, находящаяся на высоте около 36000 км в плоскости экватора. На этой орбите угловая скорость спутника равна скорости вращения Земли вокруг оси, и, следовательно, для наблюдателя на Земле спутник постоянно «висит» на одном месте.

**Германий** — полупроводниковый материал, используемый в основном для изготовления диодов и транзисторов.

**Герц** — единица частоты. Частоте 1 Гц соответствует один период колебания в секунду. Обозначение [Гц].

**Гетеродин** — вспомогательный генератор гармонических колебаний, используемый для преобразования несущей частоты радиосигнала в промежуточную частоту (см. **Несущая, Промежуточная частота**).

**Гетеродинирование** — смешение входного сигнала и сигнала, выработанного гетеродином, т.е. образование биений путем наложения двух сигналов. Используется в супергетеродинных радиоприемниках для получения промежуточной частоты.

**Гибридная интегральная схема** — интегральная схема, содержащая ряд дискретных компонентов, закрепленных на подложке и объединенных в виде схемы.

**Гига-, Г** — приставка, означающая увеличение в  $10^9$  раз.

**Гистерезис** — явление, возникающее в некоторых схемах или системах, в которых изменение выходного сигнала запаздывает по отношению к изменению входного сигнала. При этом образуется петля гистерезиса — ее хорошо видно на графике зависимости выходного сигнала от входного, — которая показывает, что величина выходного сигнала зависит от того, увеличивается или уменьшается величина входного сигнала.

**Глушение** (создание преднамеренных помех) — передача в эфир радиопомех, в результате чего правильный прием радиопередач становится невозможным.

**Головка считывания-записи, универсальная головка (записи-воспроизведения)** — устройство, используемое для записи и считывания (извлечения) информации в магнитную память и из нее, а также для записи и считывания информации с магнитных носителей (кассеты, дискеты и пр.).

**Головной телефон (наушник)** — маленький громкоговоритель, закрепляемый на ухе.

**Графика** — любые изображения, создаваемые, хранимые или обрабатываемые с помощью компьютера.

**Громкоговоритель** — устройство, которое преобразует электрическую энергию в звуковую. Обычно громкоговоритель — это электромагнитный прибор, который преобразует поступающий электрический сигнал в механическое движение катушки в магнитном поле. К катушке крепится конус из материала, который также движется в соответствии с электрическим сигналом. Этот конус вызывает сотрясение воздуха, которое ухо воспринимает как звук.

**Громкость** — субъективная оценка интенсивности звука. В то же время громкость (несмотря на зависимость от интенсивности) изменяется также с изменением частоты и тембра звука.

**Групповое управление (управление от одной ручки)** — термин, используемый для описания изменяемых компонентов, которые механически соединены таким образом, что все они изменяются одновременно посредством регулировки одного элемента управления (ручки).

**Гудение (звуковой фон переменного тока)** — помеха, возникающая вследствие магнитной или емкостной связи между прибором, питающимся от сети, например источником питания, и прибором, например усилителем. Такую помеху часто слышно в акустических системах как низкочастотный гул сетевой частоты или ее гармоник.

**дБ** — см. Децибел.

**ДВ** — см. Длинные волны.

**Двоичный код** — цифровое представление чисел, в основе которого лежат две, и только две цифры — 0 и 1. Двоичная система счисления.

**Двусторонний режим связи (дуплексный канал)** — работа системы, обеспечивающая связь в дуплексном (двустороннем) ре-

жиме, т.е. одновременную работу обоих каналов (приема и передачи) линии связи.

**Двухполупериодный выпрямитель** — устройство, выпрямляющее как положительную, так и отрицательную полуволну поступающего сигнала переменного тока.

**Двухполюсный переключатель** — переключатель с двумя электрически независимыми механизмами переключения.

**Двухпроводная линия** — два одинаковых проводника, изолированные друг от друга, но идущие параллельно, образуя линию передачи. В основном двухпроводная линия имеет форму провода, например витая пара или коаксиальный кабель.

**Двухтактный режим работы** — режим работы, при котором сигналы от двух приборов находятся в противофазе.

**Делитель напряжения** — электрическая схема, содержащая ряд последовательно включенных компонентов. Отводя напряжение с какого-либо перехода между компонентами, можно получить часть общего приложенного напряжения.

**Демодулятор** — устройство в системе связи, которое демодулирует полученный модулированный сигнал. Синоним — детектор.

**Демодуляция** — см. Модуляция.

**Демультимплексор** — см. Мультимплексор.

**Дескремблер** — схема дешифрации (раскодирования) скремблированного сигнала (сигнала, зашифрованного при помощи скремблирования).

**Детектор** — см. Демодулятор.

**Децибел** — безразмерная единица, выражающая отношение величин двух мощностей. В определенных условиях может использоваться для выражения отношения величин двух напряжений или двух токов. Символ — дБ. 1 дБ равен 0,1 Б. См. Бел.

**Диаграмма Боде (частотная характеристика)** — графическая зависимость коэффициента усиления и/или сдвига фазы, вносимого схемой, (входного и выходного сигнала) от частоты сигнала, поступающего на вход устройства.

**Диаграмма Найквиста** — график, на котором изображены характеристики системы, который может быть использован для оценки устойчивости системы, если проверка критериев устойчивости не проводилась.

**Диапазон частот** — см. Ширина полосы частот.

**Диод** — активный электронный компонент с двумя электродами, который пропускает ток, следующий в одном направлении.

нии, и не пропускает в другом. В настоящее время существует множество различных типов диодов, применяемых для различных целей.

**Диодно-транзисторная логика (ДТЛ)** — Семейство логических интегральных схем, построенных на диодах и транзисторах.

**Диоптрия** — единица измерения оптической силы (величины, обратной фокусному расстоянию). 1 диоптрия равна  $1 \text{ м}^{-1}$ .

**ДИП** — стандартный корпус для интегральных схем с двухрядным параллельным расположением выводов (название происходит от английского *DIP — Dial in-line Package*).

**Диполь** — простейший вид антенны, в которой стоячая волна симметрична относительно центральной точки (антенна в виде симметричного вибратора).

**Дискета (гибкий диск)** — гибкий магнитный диск для хранения компьютерных данных. Используются дискеты трех размеров — 2.5, 3.5 и 5.25 дюйма.

**Дискретизация** — процесс разбиения электрического аналогового сигнала на части, используемый для получения последовательности дискретных значений (например, в АЦП). То же, что квантование.

**Дифференциальная пара (транзисторов)** — схема, состоящая из двух транзисторов, эмиттеры которых соединены между собой и с общим эмиттерным резистором смещения, который обеспечивает (задает) постоянный ток. На основе дифференциальной пары построен дифференциальный усилитель.

**Дифференциальный усилитель** — усилитель, сигнал на выходе которого является функцией разности между двумя входными сигналами. На основе дифференциальных усилителей создаются операционные усилители.

**Дифференцирующее устройство, дифференциатор** — устройство, выходной сигнал которого является функцией дифференциала его входного сигнала.

**Диэлектрик** — вещество, отличающееся прочными связями электрических зарядов, входящих в его состав, и практически не проводящее электрический ток. Обычно к диэлектрикам относят вещества, имеющие удельное электрическое сопротивление не меньше  $10^7 \dots 10^8 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

**Диэлектрическая постоянная** — отношение емкости конденсатора с диэлектриком к емкости конденсатора, у которого в качестве диэлектрика выступает вакуум. Синоним — относительная диэлектрическая проницаемость. Символ —  $\epsilon$ .

**Длинные волны (ДВ)** — радиоволны с длиной волны от 1 до 10 км.

**Добротность** — переменная величина, которая описывает избирательность (селективность) схемы. Как правило, этот параметр используется для описания резонансных схем. Добротность может быть рассчитана по формуле:

$$Q = \frac{B}{f},$$

где  $Q$  — добротность,  $B$  — ширина полосы схемы,  $f$  — центральная частота схемы.

**Дрейф** — изменение с течением времени электрических свойств прибора или материала.

**ДТЛ** — см. **Диодно-транзисторная логика**.

**Дырка** — квазичастица, несущая положительный заряд. Фактически представляет собой недостаток электрона для образования ковалентной связи. В теории твердого тела (в частности, в физике полупроводников) термин «дырка» заменил понятие «отсутствие электрона» (см. **Дырочный ток**).

**Дырочный ток** — ток в полупроводнике, обусловленный перемещением дырок под действием приложенного напряжения. В действительности перемещаются электроны, «перескакивая» от одного атома примеси к другому и освобождая свое место другому. Освобожденное место («дырка») как бы «передвигается» навстречу движению электронов.

**Емкость  $p$ - $n$ -перехода** — емкость между  $p$ - и  $n$ -областями в полупроводниковом приборе. Эту емкость называют также барьерной, емкостью обедненного слоя или переходной емкостью.

**Ждущий мультивибратор** — см. **Одновибратор**.

**Жидкокристаллический экран (дисплей, индикатор) (ЖКИ)** — экран, образованный тонким слоем жидких кристаллов, расположенных между двумя электродами. С появлением на электродах разности потенциалов жидкие кристаллы изменяют свою отражательную способность. Такие экраны применяются в часах, калькуляторах, портативных компьютерах.

**ЖКИ** — см. **Жидкокристаллический экран**.

**Задержка** — запаздывание одного сигнала по отношению к другому, измеренное в единицах времени или как разность фаз в радианах или градусах (угловых).

**Закон Ома** — закон, определяющий линейную зависимость между падением напряжения на проводнике ( $U$ ), током, проте-

кающим через проводник ( $I$ ), и сопротивлением проводника ( $R$ ). Закон Ома выражается формулой:  $V = IR$ .

**Законы Кирхгофа** — два основных закона электрических цепей. Первый закон утверждает, что алгебраическая сумма всех токов, входящих в точку (узел) электрической схемы и выходящих из нее, равна нулю. Согласно второму закону алгебраическая сумма произведений тока и сопротивления в каждой части цепи равна алгебраической сумме напряжений.

**Запись** — 1) ввод информации в элемент хранения информации; 2) любое постоянное или квазипостоянное запоминание и последующее хранение информации в электронной форме.

**Запоминающее устройство (ЗУ)** — см. **Память**.

**Затвор** — электрод полевого транзистора.

**Затухание** — см. **Ослабление**.

**Защелка** — общее наименование схем с фиксацией состояния (бистабильный мультивибратор, триггер).

**Защитная полоса** — полоса частот между двумя полосами частот передачи, которая остается незанятой, в результате чего уменьшаются помехи, вызванные взаимным влиянием соседних каналов.

**«Звон» (переходный процесс в виде затухающих колебаний; затухающие колебания при ударном возбуждении)** — задержка, которая имеет место в системе при возвращении этой системы в состояние покоя после поступления резкого импульса (с крутыми фронтами), возникающая благодаря собственному резонансу системы. Обычно при этом возникают постепенно затухающие колебания некой продолжительности. Демпфирование системы помогает уменьшить продолжительность этих колебаний.

**Звуковая частота** — частота, волны которой воспринимаемы человеческим ухом. Частоты слышимых звуков расположены в диапазоне 20...20000 Гц.

**Звукосниматель** — прибор, преобразующий записанный на носитель сигнал в электрические колебания.

**Земля (заземление)** — шина с нулевым электрическим потенциалом.

**Зеркальная радиопомеха** — помеха, вызванная зеркальным каналом.

**И<sup>2</sup>Л** — см. **Интегральная инжекционная логика**.

**Избирательность, селективность** — способность радиоприемника выделять из различных несущих частот определенную выбранную частоту.

**Избыточное демпфирование (затухание выше критического)** — демпфирование, которое прерывает периодический процесс уже на первом цикле колебания.

**Излучение** — любая форма энергии, передаваемая электромагнитными волнами или потоком частиц.

**Измеряемая величина** — количественное значение величины, определяемое с помощью измерительного прибора.

**Изолировать** — 1) предотвратить появление нежелательного тока или помех, защитив проводник непроводящим материалом; 2) разъединить две части системы, обеспечивая тем самым отсутствие электрической связи между ними.

**Изолятор** — материал, обладающий очень высоким электрическим сопротивлением.

**Интегральная схема (ИС)** — устройство, содержащее функционально законченную электрическую схему. Различают два основных типа интегральных схем. *Гибридные интегральные схемы* изготавливают на основе дискретных компонентов, закрепленных на непроводящей подложке и электрически соединенных с помощью металлических дорожек, расположенных на этой подложке. *Монолитные интегральные схемы* выполняют на кремниевой пластине с помощью фотолитографии, химического травления и высокотемпературной диффузии. В результате все компоненты образуют единую (монолитную) структуру, названную кристаллом, или чипом. В последнее время термины «кристалл», «чип», «интегральная схема» стали синонимами.

**ИКМ** — см. **Импульсно-кодовая модуляция**.

**Импеданс** — полное зависящее от частоты переменного тока сопротивление электрической цепи, содержащей резистивные и реактивные (индуктивные и емкостные) элементы.

**Импульс** — быстрый рост напряжения или тока от нуля до некоторой максимальной величины и последующее их уменьшение до нуля.

**Импульсная модуляция** — любая модуляция, в которой последовательность импульсов используется в качестве несущей.

**Импульсная помеха** — одиночные быстро возникающие всплески напряжения. Как правило, они приводят к появлению импульсного шума во всей системе.

**Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ)** — модуляция, при которой импульсы вырабатываются в соответствии с информационным сигналом.

**Импульсный шум** — шум в электронной системе, вызванный одиночной помехой (см. Шум).

**Инверсия** — изменение типа проводимости полупроводника на противоположный (например, дырочный вместо электронного) под воздействием электрического поля.

**Инвертор** — 1) электрическая схема, выходной сигнал которой имеет обратную полярность по отношению к сигналу, поступающему на вход. Цифровой инвертор вырабатывает выходной сигнал с противоположным логическим состоянием по отношению к входному сигналу; 2) электрическая схема, которая преобразует постоянный ток в переменный.

**Индуктивность** — параметр схемы, имеющий место, если присутствует магнитная связь этой схемы и тока, протекающего через нее. Единица измерения — генри [Гн].

**Индукция** — 1) электростатическая индукция; 2) электромагнитная индукция.

**Индусировать (наводить)** — вызывать изменения электрических или магнитных состояний системы путем изменения электрических или магнитных состояний другой, локальной, системы.

**Инжекция** — введение носителей заряда в область полупроводникового *p-n*-перехода.

**Институт инженеров по электротехнике (IEE)** — профессиональное объединение в Великобритании, выпускающее свои собственные стандарты.

**Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE)** — профессиональное объединение в США, выпускающее свои собственные стандарты; членами IEEE являются ANSI и ISO.

**Интегральная инжекционная логика (И<sup>2</sup>Л)** — тип монолитной интегральной схемы, конструкция которой близка к конструкции биполярной интегральной схемы.

**Интегратор (интегрирующее устройство)** — электрическая схема, выполняющая интегрирование входного сигнала.

**Интеллектуальный (предоставляющий большие возможности, чем другие устройства)** — термин, определяющий любую систему, содержащую процессор и память, способную управлять действиями в соответствии с заложенными в нее инструкциями.

**Интелсат (Intelsat)** — международная организация по спутниковой связи.

**Интенсивность (частота) отказов** — количество отказов, которые могут возникнуть в системе в заданное время. Интенсив-

ность отказов определяется формулой:  $f = (СВМО)^{-1}$ , где СВМО — среднее время между отказами.

**Интерактивный (диалоговый)** — термин, описывающий системы, в которых ответ системы следует сразу за вводом информации пользователем или оператором. Обычно относится к постоянно включенным (*on-line*) системам. Термин был введен для того, чтобы отличить такой режим работы от режима пакетной обработки.

**Информационная технология** — обобщенный опыт совместного использования электроники, компьютерной техники и средств связи.

**Инфракрасное излучение** — невидимое глазу электромагнитное излучение в диапазоне длин волн от 730 нм до 1 мм.

**Ион** — частица материала (атом, молекула, группа атомов, группа молекул), обладающая электрическим зарядом. Отрицательные ионы называются анионами, положительные — катионами.

**Ионосферная радиоволна** — радиоволна, которая отражается от ионосферы, т.е. не распространяется непосредственно от передатчика к приемнику.

**ИС** — см. **Интегральная схема**.

**Искажение** — крайне нежелательная составляющая сигнала на выходе системы, которая добавляется при работе самой системы. Существует множество видов искажений.

**Искусственные (промышленные, индустриальные) помехи** — см. **Шум, Помехи**.

**Источник электропитания** — источник электрической энергии для электронных схем. Обычно источник питания является неотъемлемой частью устройства.

**Кабель** — несколько проводников, изолированных друг от друга, но заключенных в общую внешнюю оболочку.

**Кадр** — одно полное телевизионное изображение.

**Канал** — 1) часть коммуникационной линии между передающим источником и приемником; 2) область высокой проводимости между истоком и стоком полевого транзистора.

**Катод** — электрод прибора, на который подается отрицательный потенциал.

**Катодный луч** — поток электронов, генерируемых электронно-лучевой трубкой.

**Катушка индуктивности** — компонент электрической схемы, выполненный из провода, навитого на каркас и обладаю-

ший индуктивностью. В основном изготавливают катушки двух видов — цилиндрические и тороидальные (свернутые в кольцо).

**КВ** — см. **Высокая частота, короткие волны**.

**Квадратура** — сдвиг по фазе на  $90^\circ$ . Ситуация, когда две синусоидальные волны имеют одинаковую частоту, но фаза одной волны сдвинута по отношению к другой на  $90^\circ$ .

**Квадрафонический** — термин, определяющий звуковоспроизводящую или звукозаписывающую систему с четырьмя разделенными звуковыми каналами.

**Квантование (дискретизация)** — преобразование из непрерывной формы в дискретную. Формирование некоторого числа квантованных, т.е. дискретных величин, которые могут быть использованы для описания непрерывного сигнала. Лучшим примером использования квантования является процесс импульсной модуляции, где дискретизированные величины используются для определения некоторых характеристик последовательности импульсов.

**Кварц** — кристалл, обладающий пьезоэлектрическими свойствами.

**Кварцевый генератор** — генератор электрических колебаний на основе кварцевого кристалла, в котором используется способность кристалла кварца генерировать колебания с фиксированной собственной частотой.

**Кило** — 1) приставка, означающая увеличение в  $10^3$  раз; в сокращенном виде — к; 2) приставка, в вычислительной технике означающая увеличение в  $2^{10}$  раза, т.е. умножение на 1024, в сокращенном виде — К.

**Кислотно-свинцовый аккумулятор** — возобновляемый (вторичный) источник тока, содержащий катоды из металлического свинца и аноды из диоксида свинца, погруженные в электролит (разбавленную серную кислоту). Несколько соединенных друг с другом аккумуляторов образуют батареи, которые обычно устанавливают в автомобилях.

**Клавиатура** — устройство, имеющее внешний вид печатной машинки и предназначенное для ручного ввода символов в компьютер. Стандартная клавиатура персонального компьютера содержит 101 клавишу.

**Клистрон** — прибор на основе электронной пушки, используемый как усилитель или генератор при работе на высоких радиочастотах.

**КМОП-структура** — комплементарная (взаимодополняющая) МОП-структура — так называют монолитную интегральную схему на основе  $n$ - и  $p$ -канальных МОП-транзисторов. Технологию формирования таких схем называют КМОП-технологией.

**Коаксиальный кабель** — кабель с внутренним проводником в виде одно- или многожильного провода и внешней проводящей оболочкой. Проводники изолированы друг от друга, и весь кабель покрыт внешним слоем изоляционного материала.

**Колесания** — периодические изменения электрического параметра.

**Коллектор** — один из трех выводов биполярного транзистора.

**Коллимационная ошибка** — ошибка измерительной аппаратуры, при которой в отсутствие измеряемой величины (ноль на входе) на выходе аппарата фиксирует ненулевые показания.

**Комплементарная пара** — в большинстве современных транзисторных усилителей звуковой частоты в предоконечных или выходных каскадах усилителей мощности используется пара транзисторов, один из которых  $n$ - $p$ - $n$ , а другой  $p$ - $n$ - $p$ -типа, с подобными характеристиками и близкими коэффициентами усиления. Такая конфигурация называется комплементарной (взаимодополняющей) парой.

**Компьютер** — автоматическая система, обрабатывающая информацию в соответствии с командами, содержащимися в программах.

**Конденсатор** — электронный прибор, состоящий из двух изолированных друг от друга проводящих пластин (обкладок). Такой прибор обладает электрической емкостью и может, следовательно, сохранять электрический заряд.

**Контактная площадка** — место присоединения компонента к печатной плате.

**Короткие волны** — диапазон радиоволн, длины которых лежат в диапазоне от 10 до 100 м.

**Короткое замыкание** — нежелательное электрическое соединение двух точек в приборе или схеме.

**Короткое замыкание на землю** — повреждение, происшедшее в схеме или системе, при котором проводник соединился с заземлением или сопротивление между проводником и землей стало слишком мало. Такое повреждение является причиной возникновения неприемлемого тока замыкания на землю.

**Коррекция (компенсация)** — процесс, в результате которого помеха, созданная системой, может быть скомпенсирована.

**Коэффициент заполнения** — отношение между длительностью импульса и временем, прошедшим между следующими друг за другом импульсами.

**Коэффициент поглощения** — отношение энергии акустических волн, поглощенных поверхностью, ко всей энергии акустических волн, достигших этой поверхности.

**Коэффициент полезного действия (КПД)** — отношение мощности, вырабатываемой схемой, к мощности, потребляемой схемой от источника питания.

**Коэффициент разветвления по выходу** — максимальное количество схем, которые могут быть подключены в качестве нагрузки на выход подобной схемы.

**Коэффициент усиления** — этим параметром оценивают воздействие схемы на амплитуду поступающего сигнала. Количественно коэффициент усиления равен отношению выходного сигнала к входному и может выражаться как простым отношением, так и в децибелах.

**КПД** — см. **Коэффициент полезного действия**.

**Кремний** — полупроводниковый материал, наиболее широко используемый для изготовления полупроводниковых приборов и интегральных схем.

**Кристалл** — см. **Чип 1**.

**Круговая частота** — см. **Угловая частота**.

**Лавинный пробой** — явление резкого возрастания тока в обратносмещенном  $p-n$ -переходе, вызванное лавинным размножением носителей заряда под действием сильного электрического поля. В отличие от теплового, лавинный пробой — явление обратимое.

**Лазер** — русская версия английской аббревиатуры *LASER* (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*). Лазер — источник когерентного, монохроматического света, который не обязательно должен быть видимым. Существуют лазеры с ультрафиолетовым и инфракрасным излучением.

**Лампа накаливания** — лампа, которая излучает свет в случаях, когда ее нить накала разогрета электрическим током. Обычно нить нагревается до температуры 2500°C и более.

**Легирование** — добавление примесей к чистому полупроводниковому материалу с целью изменения количества и типа существующих носителей заряда в полупроводнике. Чтобы сфор-

мировать полупроводник *n*-типа, добавляют донорные примеси. Для получения полупроводника *p*-типа добавляют акцепторные примеси.

**Линейная схема** — считают, что любая схема или система является линейной, если ее выходной сигнал всегда прямо пропорционален входному сигналу.

**Логическая блок-схема** — блок-схема, на которой логическая схема изображена в виде совокупности логических элементов.

**Логическая схема** — электрическая схема с двумя или более входами и с одним или более выходами. Состоящие на выходах является прямым результатом состояний на входах. Примером могут служить схемы, выполняющие такие логические операции, как И, ИЛИ, НЕ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ, Исключающее ИЛИ.

**Логический символ** — графический знак, условно обозначающий логический элемент.

**Логический элемент И** — логическая схема, на выходе которой устанавливается **ВЫСОКИЙ** уровень, если сигналы на всех ее входах также имеют **ВЫСОКИЙ** уровень.

**Логический элемент ИЛИ** — логическая схема, на выходе которой устанавливается **ВЫСОКИЙ** уровень, если хотя бы на одном из ее входов будет **ВЫСОКИЙ** уровень.

**Логический элемент ИЛИ-НЕ** — логическая схема, на выходе которой устанавливается **ВЫСОКИЙ** уровень, если на всех входах **НИЗКИЙ** уровень. Если на одном или более входах **ВЫСОКИЙ** уровень, то на выходе устанавливается **НИЗКИЙ** уровень.

**Логический элемент И-НЕ** — логическая схема, на выходе которой устанавливается **ВЫСОКИЙ** уровень, если на одном или более входах **НИЗКИЙ** уровень, и **НИЗКИЙ** уровень, если на всех входах **ВЫСОКИЙ** уровень.

**Логический элемент Исключающее ИЛИ** — логическая схема с двумя или более входами, на выходе которой устанавливается **ВЫСОКИЙ** уровень, если **ВЫСОКИЙ** уровень установился на одном и только на одном входе.

**Логический элемент НЕ** — логическая схема, на выходе которой уровень всегда противоположен уровню сигнала на входе. Синоним — инвертор.

**Магнит, магнетик** — термин, относящийся к некоторому объекту, создающему магнитное поле. Магнит может быть постоянным (свойствами магнита обладают некоторые вещества) или временным (электромагнит).

**Магнитная головка** — преобразователь магнитно-записывающей системы, который преобразует электрические сигналы в соответствующее им магнитное поле для последующей записи на магнитный носитель. Он же реализует и обратное преобразование.

**Магнитная индукция** — см. **Плотность магнитного потока**.

**Магнитное поле** — Пространство, окружающее магнит и обладающее некоторыми свойствами, которые иллюстрируются силовыми линиями. Количественно магнитное поле характеризуется напряженностью магнитного поля.

**Магнитное сопротивление** — магнитный эквивалент электрического (активного) сопротивления.

**Магнитные силовые линии** — замкнутые на полюсы магнита воображаемые линии, касательные к которым указывают направление сил, действующих в магнитном поле. Вне магнита они направлены от северного полюса к южному. Замкнутая траектория линий потока магнитной индукции.

**Магнитные явления (магнетизм)** — совокупность свойств, присущих магнитам и магнетикам.

**Магнитный поток** — поток силовых линий, проходящий через некоторую площадь в пространстве, окружающем магнит. Символ —  $\Phi$ . Единица магнитного потока — вебер [Вб].

**Магнитоэлектрический измерительный прибор** — аналоговый измерительный прибор с подвижной катушкой, который показывает измеряемую величину. Основным элементом этого прибора является точно сбалансированная катушка индуктивности, способная изменять положение в магнитном поле. Катушка поворачивается при протекании через нее тока, и угол поворота зависит от величины протекающего тока.

**Мазер** — русская версия английской аббревиатуры *MASER* (*Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation*). Прибор, генерирующий поток электромагнитных волн СВЧ диапазона. Принцип работы аналогичен принципу работы лазера, отличие состоит в диапазоне излучаемых волн — мазер генерирует СВЧ-сигналы, а не свет.

**Макет, макетирование** — часто применяемый метод конструирования и тестирования, осуществляемый посредством временного создания схемы из сменных блоков, имитирующей свойства конструируемого прибора.

**Марганцево-цинковый элемент** — см. **Элемент Лекланше**.

**Машинный код** — код, который распознает центральный процессор компьютера (двоичный код).

**Мгновенная величина** — значение некоторой переменной величины, измеренное в конкретный момент времени. Со временем это значение может измениться. Например, мгновенное значение тока, мгновенное значение напряжения.

**МДП-транзистор** — полевой транзистор со структурой *металл—диэлектрик—полупроводник* (см. **Полевой транзистор с изолированным затвором**).

**Мега, М** — 1) приставка, означающая увеличение в  $10^6$  раз; 2) приставка, в вычислительной технике означающая увеличение в  $2^{20}$  раз, т.е. умножение на 1048576. В сокращенном виде обозначается «М» и в первом, и во втором случаях.

**Международная электротехническая комиссия** — Международная организация по определению стандартов (см. **МЭК**).

**Мерцания** — восприятие глазом нежелательных изменений (пульсаций, флуктуаций) яркости экрана, когда эти изменения происходят быстрее (интенсивнее), чем позволяет инертность зрительного восприятия.

**Метод эквивалентного генератора (теорема Тевенина—Гельмгольца)** — теорема, используемая для упрощения анализа резистивных цепей. Также называется *методом активного двухполюсника*, или *методом холостого хода и короткого замыкания*. Этот метод представляет собой расчет тока в выделенной цепи путем замены активного двухполюсника эквивалентным генератором.

**Микро, мк** — приставка, означающая уменьшение в  $10^6$  раз (или умножение на  $10^{-6}$ ).

**Микроволновый диапазон** — диапазон, расположенный в электромагнитном спектре волн между диапазоном инфракрасного излучения и диапазоном радиоволн, приблизительно между 3 мм и 1.3 м.

**Микрокомпьютер** — см. **МикроЭВМ**.

**Микропроцессор** — интегральная схема, содержащая центральный процессор.

**Микрофон** — устройство, преобразующее звуковую энергию в электрическую.

**МикроЭВМ (микрокомпьютер)** — компьютер на базе микропроцессора. В настоящее время микропроцессоры применяются в очень широком спектре устройств, поэтому значение термина «микроЭВМ» стало несколько размытым.

**Милли, м** — приставка, означающая уменьшение в  $10^3$  раз (или умножение на  $10^{-3}$ ).

**МККР (CCIR)** — Международный консультативный комитет по радиосвязи. Организация, входящая в Международный союз по телекоммуникациям (*International Radio Consultative Committee*).

**МККТТ (CCITT)** — Международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии (*International Telegraph and Telephone Consultative Committee*) — организация, которая вырабатывает рекомендации по стандартизации речевых систем и систем передачи данных.

**Модем** — термин, образованный сокращением двух других — модулятор-демодулятор. Любое устройство, которое преобразует сигналы из одной схемы или системы в сигналы другой схемы или системы. Обычно модемы используют для соединения двух компьютеров через телефонную сеть.

**Модуляция** — изменение одного параметра сигнала в соответствии с изменением другого параметра. Например, модулирование амплитуды несущей музыкальным сигналом. Возможна модуляция других параметров несущей — фазы, частоты и даже комбинации параметров.

**Монохроматический свет** — световое излучение одного цвета, т.е. излучение только одной частоты электромагнитного спектра.

**Монохромное телевидение** — черно-белое телевидение.

**МОП-транзистор** — полевой транзистор со структурой *металл—оксид—полупроводник* (см. **Полевой транзистор с изолированным затвором**).

**МОС (ISO)** — Международная организация по стандартизации — Ассоциация национальных организаций по стандартизации, обеспечивающая разработку и поддержку глобальных стандартов в сфере коммуникаций и обмена информацией.

**Мостовая схема** — электрическая цепь, состоящая из компонентов, образующих квадратную форму.

**Мостовой выпрямитель** — двухполупериодный выпрямитель, состоящий из четырех диодов, соединенных в мостовую схему.

**Мощность** — скорость, с которой используется энергия или производится работа. Символ — *P*. Единица мощности в электротехнике — ватт [Вт].

**Мощный (силовой) транзистор** — транзистор, который управляет сигналами большой мощности.

**МСЭ (ITU)** — Международный союз по телекоммуникациям — международная организация, основанная европейскими стра-

нами для разработки международных стандартов в области передачи информации (*International Telecommunications Union*).

**Мультивибратор** — электрическая схема, которая содержит два инвертора, соединенных таким образом, что выход одного является входом другого. При резистивной связи этих инверторов получается бистабильный мультивибратор, т.е. мультивибратор с двумя устойчивыми состояниями, или триггер. При резистивно-емкостной связи образуется ждущий мультивибратор, или одновибратор, а при емкостной — мультивибратор без устойчивых состояний, или генератор прямоугольных импульсов.

**Мультиплексор** — устройство, выполняющее операцию уплотнения (см. **Уплотнение**).

**МЭК (IEC)** — Международная электротехническая комиссия (*International Electrotechnical Commission*).

**Нагрузка** — электрическая схема или система, которая подключена к выходу другой схемы и принимает от нее энергию.

**Нагрузочная прямая (линия)** — линия на нагрузочной характеристике компонента, которая показывает связь между напряжением и током в схеме.

**Нагрузочная характеристика** — характеристическая кривая (обычно для транзистора), на которой показано соотношение между изменяемыми параметрами (между выходными характеристиками прибора и параметрами нагрузки).

**Надежность** — способность компонента, схемы или системы выполнять свои функции в течение заданного отрезка времени.

**Нано, н** — приставка, означающая уменьшение в  $10^9$  раз (или умножение на  $10^{-9}$ ).

**Напряжение вторичной обмотки, вторичное напряжение** — напряжение, возникающее на вторичной обмотке трансформатора.

**Напряжение обратного смещения** — напряжение на  $p$ - $n$ -переходе в случае, когда слой  $p$ -типа имеет отрицательный потенциал по отношению к слою  $n$ -типа.

**Напряжение постоянного тока** — напряжение, полярность которого не изменяется со временем. Различают напряжение источника, которое часто называют *электродвижущей силой*, и напряжение между двумя произвольными точками схемы, называемое *падением напряжения*. Символ напряжения постоянного тока —  $V_{DC}$ .

**Напряжение прямого смещения** — говорят, что переход смещен в прямом направлении, если подключение к полупроводниковому  $p$ - $n$ -переходу источника постоянного напряжения вызы-

вает значительный ток. Если изменить полярность напряжения, ток станет незначителен. Таким образом, при прямом смещении полупроводниковый диод имеет высокую проводимость, при обратном — высокое сопротивление.

**Напряжение смещения** — фиксированное (неизменяемое) напряжение на электронном компоненте, подключенном к источнику питания.

**Напряженность** — сила воздействия электрического или магнитного поля.

**Напряженность магнитного поля** — величина, характеризующая магнитное поле. Символ —  $H$ . Единица напряженности магнитного поля — ампер на метр [ $A \cdot m^{-1}$ ].

**Насыщение** — состояние, при котором выходной ток электронного устройства достигает максимального значения, превысить которое он не может, и при дальнейшем увеличении входного сигнала не изменяется.

**Наушники** — два головных телефона, прикрепленные к держателю, или изготовленные в каком-либо другом виде, позволяющем закрепить их на голове человека.

**Неавтономный (онлайновый) режим работы (on-line)** — неавтономным устройством называется устройство, подсоединенное к компьютеру и передающее или получающее данные от компьютера. Также онлайн-режимом работы называют режим работы компьютера, подключенного к сети и получающего, передающего и обрабатывающего данные в реальном масштабе времени.

**Негативная модуляция** — модуляция, которую применяют при передаче телевизионных сигналов, при которой при более высоком положительном сигнале экран становится черным, а при отрицательном сигнале — белым. В результате любые принимаемые телевизором помехи отражаются на экране в виде более темных изображений и, следовательно, менее заметны, чем при позитивной модуляции.

**Нейтрализация** — вид частотной коррекции транзисторного каскада. У высокочастотных транзисторов есть склонность к самовозбуждению вследствие наличия емкости коллектор—база. В современных высокочастотных транзисторах эта емкость очень мала. Для преодоления эффекта самовозбуждения в ранних транзисторных усилителях в каждом каскаде обычно использовалась емкостная отрицательная обратная связь небольшой глубины, которая получила название нейтрализация.

**Нелинейная (система)** — схема или система, выходной сигнал которой не является прямо пропорциональным входному воздействию в течение всего времени.

**Неоновый индикатор** — индикатор, основанный на газоразрядных свойствах инертного газа неона. Для того чтобы индикатор начал излучать свет, требуется подать на него напряжение около 80 В. Эти устройства обычно используются для индикации напряжения в электросетях.

**Непер** — безразмерная внесистемная единица для выражения отношения мощностей двух сигналов, а также уровня звукового давления, усиления, ослабления и т.п. Если в основе десятичной логарифм, то непер является натуральным логарифмом. Символ — [Нп]. 1 Нп равен 8.686 дБ.

**Непропаянное соединение** — дефект соединения, возникший в результате нарушения технологии пайки.

**Несинхронизированный мультивибратор** — см. Генератор прямоугольных импульсов.

**Несущая** — сигнал, который модулируется информационным (модулирующим) сигналом и используется для передачи информационного сигнала, например, при помощи амплитудной или частотной модуляции.

**Низкая частота (НЧ)** — радиосигналы в диапазоне частот от 30 кГц до 300 кГц, имеющие длину волны 1...10 км, диапазон ДВ (длинных волн).

**НИЗКИЙ логический уровень** — термин, обозначающий логический ноль (в позитивной логике).

**Низкочастотная детонация (плавание звука)** — низкочастотное (в диапазоне ниже 10 Гц) периодическое изменение высоты тона выходного звукового сигнала системы звуковоспроизведения.

**Никель-кадмиевый гальванический элемент** — возобновляемый (вторичный) источник тока с никелевым анодом, катодом из кадмия и гидроксидом калия в качестве электролита.

**Носители заряда в полупроводнике** — дырки или электроны в полупроводнике или в полупроводниковом приборе, движение которых обуславливает электрический ток.

**NTSC (NTSC)** — система цветного телевидения, принятая в США и некоторых других странах. Получила свое название по аббревиатуре Национального комитета по телевизионным системам США (*National Television System Committee*).

**НЧ** — см. Низкая частота.

**Обновление (регенерация, восстановление)** — восстановление информации, записанной и сохраненной таким образом, что данные не теряются. Регенерация обычно используется в динамической памяти или в устройствах, где считывание может быть связано с разрушением носителя.

**Обратная связь** — возврат некоторой части сигнала с выхода схемы или системы на ее вход с целью автоматического управления работой этой схемы или системы.

**Обратное напряжение  $p$ - $n$ -перехода** — см. **Напряжение обратного смещения**.

**Одновибратор (ждущий мультивибратор)** — электрическая схема с одним устойчивым состоянием. При поступлении на вход запускающего импульса мультивибратор на определенное время переходит во второе состояние, после чего возвращается в исходное состояние.

**Однопереходный транзистор (двухбазовый диод)** — транзистор с тремя выводами, состоящий из полосы кремния  $n$ -типа с базовым выводом на каждом конце (база 1 и база 2) и эмиттерной областью  $p$ -типа. Ток, протекающий от одной базы к другой, управляется током эмиттера; когда эмиттерное напряжение достигает определенного уровня, переход эмиттер—база 1 фактически закорачивается.

**Однополупериодный выпрямитель** — электрическая схема, пропускающая только одну половину волны каждого периода поступающего сигнала переменного тока.

**ОЗУ** — см. **Оперативное запоминающее устройство**.

**Окисление** — процесс в производстве кремниевых полупроводниковых приборов и интегральных схем, во время которого на пластинах, помещенных в реактор для окисления, образуется слой оксида.

**Октава** — разность или интервал между двумя звуками, частоты которых относятся друг к другу как 2:1.

**Ом** — единица активного и реактивного сопротивления, импеданса. Один ом определяют как сопротивление такого проводника, в котором постоянный ток величиной 1 А устанавливается при напряжении 1 В на его концах.

**Омический** — так говорят о материале, сопротивление которого соответствует закону Ома.

**Ом-метр** — единица удельного сопротивления. Обозначение [Ом·м].

**Омметр** — прибор для измерения сопротивления.

**Оперативное запоминающее устройство (ОЗУ)** — тип компьютерной памяти, доступ к ячейкам которой осуществляется непосредственно, т.е. не последовательно (не зависит от месторасположения ячейки). Иногда такой вид памяти называют ЗУПВ — запоминающее устройство с произвольной выборкой.

**Операционный усилитель** — усилитель (как правило, изготавливаемый в виде интегральной схемы), на основе которого возможно создание различных электронных устройств, для чего требуется всего лишь источник питания и несколько дополнительных компонентов.

**Опережение по фазе** — параметр, характеризующий положение сигналов, следующих друг за другом; измеряется как временной интервал или как разность фаз в радианах или градусах (угловых).

**Опволоконный кабель** — кабель, состоящий из множества тонких нитей, изготовленных из прозрачного материала, обладает высокой пропускной способностью при передаче световых сигналов.

**Освещенность** — отношение светового потока, падающего на поверхность под прямым углом, к площади поверхности. Символ —  $E$ . Единица освещенности — люмен на квадратный метр [ $\text{л}\cdot\text{м}^{-2}$ ] или люкс [лк].

**Ослабление (затухание)** — уменьшение уровня электрического сигнала (т.е. снижение величины напряжения, тока или мощности).

**Основная частота (собственная частота, частота основной гармоники)** — обычно самая низкая частота в составе синусоидальных частот, содержащихся в сложном периодическом сигнале.

**Осциллограф** — контрольно-измерительный прибор, отображающий на своем экране один или более периодов колебаний напряжения. Одним из основных элементов осциллографа является электронно-лучевая трубка, из-за чего он получил название электронно-лучевой осциллограф, или сокращенно ЭЛО.

**Отказ (выход из строя)** — частичная или полная неработоспособность или неправильное функционирование компонентов системы.

**Отклонение на полную шкалу** — максимальное значение измеряемого параметра, которое может быть показано стрелочным измерительным прибором.

**Отладка программы** — действия по нахождению и исправлению ошибок компьютерной программы.

**Относительная диэлектрическая проницаемость** — физическая величина, характеризующая диэлектрик, численно равная отношению абсолютной диэлектрической проницаемости материала к абсолютной диэлектрической проницаемости вакуума. Этот параметр показывает, во сколько раз взаимодействие между зарядами в материале меньше, чем в вакууме.

**Отношение мощностей** — отношение измеренной акустической или электрической мощности к стандартному уровню мощности, выраженное в беллах. На практике основной единицей отношения мощностей является децибел [дБ].

**Отношение сигнал/шум** — отношение величины сигнала в некоторой точке системы к величине шума в той же самой точке. Обычно выражается в децибеллах.

**Отрицательная обратная связь** — процесс управления, при котором часть выходного сигнала системы передается обратно на вход. При изменении глубины обратной связи изменяется коэффициент усиления системы. Таким образом, выбрав необходимую глубину обратной связи, можно автоматически управлять коэффициентом усиления.

**Отрицательное смещение** — напряжение на электроде электронного компонента, отрицательное по отношению к фиксированному опорному потенциалу.

**ОУ** — см. **Операционный усилитель**.

**Ошибка** — расхождение между истинным значением величины и ее измеренным значением.

**Ошибка в программе (сбой)** — ошибка или дефект в компьютерной программе. Ошибки в программировании делятся на три класса: синтаксические (нарушение правил программирования), семантические (искажение смысла чего-либо в языке программирования) и логические (неправильное задание алгоритма вычислений).

**Падение напряжения** — напряжение между двумя точками цепи, возникающее в результате протекания тока от одной из этих точек к другой.

**Пакетная обработка** — компьютерный метод, используемый в больших компьютерных системах, заключающийся в том, что ряд предварительно подготовленных программ запускают единым пакетом.

**ПАЛ (PAL)** — система цветного телевидения (от английского *phase alternation by line*), используемая во многих европейских странах и на некоторых других континентах. Существует множе-

ство разновидностей этой системы. Полное название переводится как «построчное изменение фазы». В этой системе сигнал цветности разлагается на две составляющие, которые передаются по отдельности. Разность фаз этих двух составляющих переворачивается (изменяется на обратное значение) через каждую строку, что позволяет уменьшить ошибки, возникающие благодаря изменению фазы при приеме сигнала.

**Память (запоминающее устройство)** — любая цифровая схема (в том числе компьютер), которая способна сохранять информацию в цифровой форме.

**Память на цилиндрических магнитных доменах (ЦМД)** — тип прибора для компьютерной памяти на основе материала, обладающего магнитными свойствами, который, несмотря на то что является твердотельным, имеет не полупроводниковое происхождение (природу). Данные сохраняются благодаря магнитной поляризации доменов, образующих материал.

**Пара Дарлингтона** — комбинация из двух транзисторов, которые функционально работают так, как если бы это был один транзистор. Коэффициент усиления такого прибора равен произведению коэффициентов усиления транзисторов, образующих пару.

**Параллельная схема** — электрическая схема, содержащая два (или более) компонента, соединенных параллельно.

**Параллельное соединение** — говорят, что компоненты соединены параллельно, если ток от одного источника при протекании через эти компоненты разделяется, после чего вновь объединяется.

**Параллельный резонансный контур** — электрическая схема, содержащая параллельно соединенные конденсатор и катушку индуктивности. На определенной частоте переменного тока в такой цепи возникает резонанс, называемый резонансом токов.

**Параметр** — некоторое свойство, характеризующее электронный компонент, схему или систему. Типичными параметрами являются напряжение, ток, сопротивление, емкость и т.п.

**Параметрический усилитель** — 1) усилитель СВЧ, реактивное сопротивление которого изменяется по какому-либо закону; 2) усилитель звуковой частоты, усиливающий или ослабляющий сигналы определенной частоты, не изменяя в то же время сигналы остальных частот.

**Паскаль** — компьютерный язык высокого уровня.

**Паспортные данные** — данные, содержащиеся в спецификации на транзистор. Эти данные описывают множество параметров и характеристик работы прибора, но, как правило, большинство из них необходимо только для разработчиков схем. Наиболее важными параметрами, необходимыми в случае замены транзистора, являются максимальное напряжение коллектор—эмиттер ( $V_{CEmax}$ ), коллекторный ток ( $I_C$ ), коэффициент усиления ( $h_{fe}$ ), граничная частота ( $f_i$ ) и выходная мощность.

**Пассивный компонент** — компонент электронной схемы, который не обладает усилительными свойствами.

**Первичный элемент** — химический источник тока, структура которого не позволяет проводить его перезарядку (в отличие от аккумулятора — вторичного источника.)

**Перегрузка (перевозбуждение)** — этим термином в основном описываются линейные системы, например усилители, в состоянии, когда величина их входного сигнала такова, что выходной сигнал становится нелинейным. Перегрузка усилителя приводит к искажениям выходного сигнала.

**Перекрестные помехи** — электрические наводки, вызванные взаимодействием сигналов в соседних каналах связи (передачи).

**Переменный ток** — электрический ток, периодически изменяющий полярность. В технической литературе используется аббревиатура «АС» или «ас» (от английского «*alternating current*»), символ —  $I_{AC}$  или  $I(AC)$ .

**Переход Джозефсона** — переход между тонким слоем диэлектрика и сверхпроводящим материалом. Ток сверхпроводника может течь через переход даже в отсутствие напряжения.

**Период** — время, в течение которого совершается один полный цикл периодического процесса. Символ —  $T$ .

**Периодический** — термин, который используют при описании любого регулярно повторяющегося процесса.

**Периферийное устройство** — любое устройство, работающее совместно с компьютером, но не входящее в его состав. Например, принтер, модем, и т.д.

**Печатная плата** — тонкая подложка, являющаяся основой для изготовления электронных устройств. Все или большая часть схем и компонентов монтируется на этой подложке (печатной плате) и соединяется между собой тонкими медными дорожками.

**ПЗС** — см. **Прибор с зарядовой связью.**

**ПЗУ** — см. **Постоянное запоминающее устройство.**

**ПЗУ, программируемое плавкими перемычками** — тип постоянной памяти, содержащей матрицу плавких перемычек. Память может быть запрограммирована «пережиганием» выбранных перемычек.

**Пико, п** — приставка, означающая уменьшение в  $10^{12}$  раз (или умножение на  $10^{-12}$ ).

**Пиковое значение** — максимальное значение амплитуды периодического колебания.

**Пиксель** — см. **Элемент изображения**.

**Плавающая (схема)** — термин, которым характеризуют неподключенную часть схемы.

**Плавкая перемычка (вставка плавкая, предохранитель)** — элемент схемы, позволяющий разомкнуть электрическую цепь в случае, когда проходящий через цепь ток превысит заранее рассчитанный уровень. Обычно перемычку формируют, используя короткий легко плавящийся проводник, который на определенной частоте и при определенном напряжении будет плавиться («пережигаться»), размыкая тем самым соединение.

**Пластина сердечника** — тонкая стальная заготовка, используемая для создания многослойных каркасов (например, для изготовления сердечников трансформаторов или реле).

**Плоский конденсатор** — конденсатор, сформированный из двух параллельных проводящих пластин, между которыми помещен диэлектрик.

**Плоскостной транзистор** — устаревшее название биполярного транзистора.

**Плотность магнитного потока** — магнитная индукция. Магнитный аналог электрического поля. Символ —  $B$ . Единица плотности магнитного потока — тесла [ $T$ ] или вебер на квадратный метр [ $Вб \cdot м^{-2}$ ].

**Плотность упаковки** — количество транзисторов или логических схем, приходящихся на единицу площади чипа интегральной схемы.

**Подвижная катушка** — катушка индуктивности, изменяющая свое положение благодаря току, протекающему через ее обмотку, при нахождении в магнитном поле.

**Подвывание** — жаргонное выражение, обозначающее нелинейные искажения звукового сигнала, обусловленные электрической или акустической обратной связью.

**Показатель преломления** — отношение скорости света в вакууме к скорости света в материале.

**Поле** — 1) *физическое поле* — особая форма материи, характеризующаяся непрерывным распределением физических величин в пространстве; 2) *электромагнитное поле* — физическое поле, благодаря которому реализуется взаимодействие электрически заряженных частиц; 3) набор битов, формирующих единицу данных для ее последующей обработки; 4) набор строк, образующих телевизионную картинку.

**Полевой транзистор** — полупроводниковый прибор с тремя электродами (сток, исток и затвор). В полевом транзисторе проводимость канала, расположенного между стоком и истоком, определяется полем, создаваемым напряжением на затворе. Входное сопротивление полевых транзисторов гораздо больше, чем у биполярных транзисторов. По способу управления эти приборы делятся на два класса: транзисторы с управляющим *p-n*-переходом и МОП-транзисторы.

**Полевой транзистор с изолированным затвором** — полевой транзистор, затвор которого отделен от области канала диэлектриком, вследствие чего ток затвора полностью отсутствует. Входное сопротивление такого транзистора намного выше, чем у транзистора с *p-n*-переходом в качестве затвора. Синонимы — МОП-транзистор, МДП-транзистор.

**Полная проводимость** — параметр, обратный импедансу (полному сопротивлению). Символ —  $G$ . Единица проводимости — сименс [См].

**Положительная обратная связь** — процедура управления, при которой часть выходного сигнала системы передается обратно на вход таким образом, что входной сигнал схемы усиливается (обеспечивается совпадение по фазе сигнала ПОС и входного сигнала). Увеличение входного сигнала приводит к увеличению выходного, что, в свою очередь, приводит к увеличению сигнала обратной связи и т.д. В результате такой раскачки возникает генерация колебаний. Обычно ПОС применяется в генераторах.

**Полоса** — 1) окрашенное кольцо (*band*) на электронном компоненте; 2) диапазон частот, входящий в сплошной спектр частот и используемый для передачи информации. Например, полоса пропускания, полоса задерживания.

**Полоса заграждения (фильтра)** — полоса частот, сигналы из которой не пропускаются фильтром.

**Полоса пропускания** — диапазон частот, в пределах которого радиотехническое устройство передает сигнал без существенных искажений и уменьшения амплитуды.

**Полосовой фильтр** — фильтр, пропускающий сигналы из некоторой полосы частот (полосы пропускания) и подавляющий сигналы всех остальных частот.

**Полудуплексная связь (поочередная двусторонняя связь)** — пара двусторонних каналов передачи, по каждому из которых можно осуществлять связь в обе стороны, но одновременно может работать только какой-либо один из этих каналов.

**Полупроводник *n*-типа** — полупроводниковый материал, в котором концентрация отрицательных носителей заряда, т.е. электронов, выше, чем положительных, т.е. дырок.

**Полупроводник *p*-типа** — полупроводниковый материал, в котором концентрация положительных носителей заряда, т.е. дырок, выше, чем отрицательных, т.е. электронов (см. **Дырка**).

**Полупроводниковый материал** — материал, электропроводность которого зависит от очень маленького количества введенных атомов примеси. В отличие от металлов проводимость полупроводников увеличивается с ростом температуры.

**Полупроводниковый прибор** — прибор, работа которого основана на свойствах полупроводникового материала.

**Полусумматор** — элементарная цифровая схема, состоящая из логических элементов и реализующая функцию сумматора, но не имеющая входа переноса (см. **Сумматор**).

**Полярный** — термин, используемый для описания любого компонента или прибора, который может быть введен (включен) в систему только определенным образом (в соответствии с его полярностью), например электролитический конденсатор может быть включен в схему только при соблюдении полярности, указанной на нем.

**Помехи** — искажения любого сигнала в системе, вызванные добавленными нежелательными сигналами. Помехи могут возникать как в результате некоторых природных явлений, так и вследствие деятельности человека (см. **Перекрестные помехи**, **Гудение**, **Зеркальная частота**).

**Порог слышимости** — уровень звукового давления или интенсивность звука, присущая едва слышному для слушателя со средним уровнем слуха звуку. Для неискаженного синусоидального сигнала частотой 1000 Гц этот порог соответствует среднеквадратическому значению звукового давления, равному  $2 \cdot 10^{-5}$  Па.

**Последовательная передача** — метод связи, при котором символы передаются по одной линии связи поочередно.

**Последовательное соединение** — соединение нескольких компонентов в цепь, в которой через все компоненты протекает один и тот же ток.

**Постоянная память** — см. Энергонезависимая память.

**Постоянное запоминающее устройство (ПЗУ)** — устройство памяти компьютера, данные из которого можно только считать, но не изменять или записывать новые. Информация, хранящаяся в ПЗУ, обычно необходима для нормального функционирования компьютера и записывается в процессе изготовления ПЗУ.

**Постоянный ток** — электрический ток, не изменяющий полярность с течением времени. В технической литературе используется аббревиатура «DC» или «dc» (от английского «*direct current*»). Символ —  $I_{DC}$  или  $I(DC)$ .

**Потенциометр** — переменный резистор с тремя контактами. Два внешних контакта подключают к источнику напряжения, а третий (скользящий) контакт может двигаться по длине резистора, изменяя свой потенциал относительно внешних контактов.

**Потери** — рассеяние мощности на резистивных элементах цепи.

**ППЗУ** — см. Программируемое ПЗУ.

**Правило левой руки** — если расположить ладонь левой руки так, чтобы магнитные силовые линии входили в ладонь, а выпрямленные четыре пальца совпадали с направлением тока, то отогнутый большой палец укажет направление действия силы.

**Правило правой руки** — если расположить ладонь правой руки так, чтобы магнитные силовые линии входили в ладонь, а отогнутый большой палец указывал направление движения проводника, то остальные выпрямленные пальцы будут показывать направление тока.

**Представление (чисел) с плавающей точкой** — средство выражения и обработки чисел в компьютере с помощью мантиссы и экспоненты.

**Предусилитель** — часть усилительной системы, усиливающая входной сигнал небольшого уровня (обычно только амплитуду напряжения входного сигнала).

**Преобразователь** — любой прибор, который преобразует один параметр в другой, причем один из этих параметров является электрическим сигналом. В некоторых случаях преобразователи называются датчиками, иногда сенсорами. Например,

преобразователь, осуществляющий преобразование энергии механического давления в электрический сигнал, называется тензодатчиком и т.п.

**Преобразователь частоты** — см. **Смеситель**.

**Прибор** — электронный компонент (или система), который содержит, по крайней мере, один активный элемент.

**Прибор с зарядовой связью (ПЗС)** — полупроводниковая память, состоящая из ячеек памяти, каждая из которых может удерживать заряд. Каждый заряд передается от ячейки к ячейке, благодаря чему прибор получил второе наименование — «пожарная цепочка» (*bucket-brigade*).

**Прибор с точечным контактом** — прибор, в котором *p-n*-переход образован с помощью контакта между металлическим контактным волоском (контактной пружиной) и полупроводниковым материалом. Диоды с точечным контактом в некоторых случаях применения имеют преимущество перед другими типами диодов.

**Приемник** — часть системы связи, принимающая закодированную информацию от передатчика и декодирующая ее в требуемую форму.

**Примеси** — атомы неполупроводникового материала, добавляемого в полупроводник. Примеси могут попадать в материал естественным путем, а могут быть введены намеренно (для придания специальных свойств). Как правило, в полупроводники добавляют атомы элементов III или V группы таблицы Менделеева (см. **Легирование**).

**Принтер** — периферийная компьютерная система, печатающая буквы и другие символы на бумаге.

**Пробой (*p-n*-перехода)** — резкое увеличение тока обратносмещенного *p-n*-перехода при превышении определенного значения обратного напряжения, называемого пробивным напряжением.

**Проводник** — материал, обладающий высокой электропроводностью.

**Программа** — полный набор команд, с помощью которых можно управлять действиями компьютера.

**Программируемое ПЗУ (ППЗУ)** — компьютерная память, которую можно запрограммировать, т.е. однократно ввести в нее данные. После записи такая память становится постоянной (доступной только для чтения, т.е. данные, содержащиеся в ней, не могут быть изменены).

**Промежуточная частота (ПЧ)** — частота сигнала, который формируется в гетеродинном радиоприемнике, когда пришедший радиосигнал комбинируется с сигналом гетеродина.

**Противофаза** — колебания находятся в противофазе, если их фазы полностью не совпадают, т.е. различаются на  $180^\circ$ . Фаза волны, сдвинутая относительно фазы другой волны на  $180^\circ$ .

**Пульсации** — небольшой сигнал переменного тока, который накладывается на сигнал постоянного тока или напряжения и обычно присутствует на выходе источника питания постоянного тока, где частота пульсаций — это частота сети переменного тока, т.е. 50 Гц (или иногда удвоенное значение этой частоты).

**ПЧ** — см. Промежуточная частота.

**Пьезоэлектрический кристалл** — кристалл, обладающий пьезоэлектрическими свойствами.

**Пьезоэлектрический эффект** — эффект, наблюдаемый в некоторых материалах, когда под воздействием механического давления между противоположными поверхностями материала возникает электрическое напряжение.

**Работа в режиме реального времени** — режим обработки данных, при котором обеспечивается взаимодействие компьютерной системы с внешними процессами в темпе, соизмеримом со скоростью протекания этих процессов.

**Рабочая точка** — точка на кривой характеристики полупроводникового прибора, по которой можно судить об электрических параметрах прибора при определенных условиях.

**Радиовещание** — беспроводная передача информации с помощью электромагнитного излучения в диапазоне частот от 3 кГц до 300 ГГц.

**Радиоволна** — любое электромагнитное излучение в диапазоне частот от 3 кГц до 300 ГГц.

**Радиолокация** — определение местонахождения удаленного объекта и расстояния до него с помощью отраженных радиоволн.

**Радиолюбитель** — разговорный термин, обозначающий человека, увлекающегося, а не занимающегося профессионально радиоприемом, радиопередачей, конструированием радиоустройств и т.п.

**Развертка изображения** — процесс управления пучком электронов в ЭЛТ, при котором пучок проходит весь экран электронно-лучевой трубки горизонтально поперек и вертикально вниз.

**Разделительный конденсатор** — конденсатор, используемый в электронной схеме для воспрепятствования прохождению постоянного тока из одной ее части в другую.

**Размах** — разность между максимальным и минимальным значениями сигнала при периодических колебаниях, иными словами, удвоенное значение амплитуды.

**Разность потенциалов** — напряжение между двумя точками.

**Разность фаз** — разность положения на оси времени двух синусоидальных волн одинаковой частоты.

**Разрешающий сигнал** — сигнал, активизирующий схему или прибор.

**Разъем** — пара соединителей (штекер и розетка), позволяющая быстро и легко произвести соединение с входом или выходом электрической схемы или системы. Существуют разъемы разных размеров и типов.

**Распределительная коробка** — закрытый контейнер, в котором провода или выводы схем могут быть соединены с помощью винтов, зажимных контактов или другими способами.

**Рассогласование** — несовпадение импедансов схемы и подключенной к ней нагрузки.

**Растр** — термин, характеризующий эталонное изображение из строк, постоянно присутствующее на экране телевизионного типа.

**Реактивная нагрузка** — нагрузка, обладающая реактивным сопротивлением, из-за чего возникает несовпадение фаз возникающего на ней напряжения и протекающего через нее тока.

**Реактивное сопротивление** — в цепях переменного тока часть полного сопротивления (импеданса), возникающая благодаря реактивным компонентам (конденсаторам и катушкам индуктивности), но не резистивным. Реактивное сопротивление приводит к несовпадению фаз тока и напряжения (в схемах, обладающих только резистивным сопротивлением, фазы тока и напряжения совпадают). Единица реактивного сопротивления — [Ом], символ —  $X$ .

**Реактивный элемент** — элемент с реактивным сопротивлением: катушка индуктивности, конденсатор.

**Реверберация** — сохранение звука внутри какой-либо камеры (полости, замкнутого пространства) вследствие многократных отражений от внутренних поверхностей этой камеры.

**Регистр** — устройство быстродействующей памяти в центральном процессоре, служащее для временного хранения результатов действий и вычислений, выполненных процессором.

**Регулировка усиления** — регулировка, которую можно использовать для изменения коэффициента усиления схемы.

**Регулируемый резистивный диод,  $p-i-n$ -диод** — диод, который содержит слой собственного (беспримесного) полупроводника между  $p$ - и  $n$ -слоями. Название происходит от английского  *$p-i-n$  diode*.

**Регулятор тембра низких частот** — устройство регулировки усиления или ослабления низких звуковых частот в звуковом усилителе.

**Режекторный (заграждающий) фильтр** — фильтр, подавляющий сигналы из некоторой полосы частот (полосы задерживания) и пропускающий сигналы всех остальных частот.

**Резервирование** — 1) использование дополнительных (избыточных) компонентов в схеме или системе для того, чтобы выход из строя одного из компонентов не повлиял на работу всей схемы или системы. Это метод повышения надежности; 2) включение дополнительной информации в передаваемый сигнал таким образом, что частичная потеря сигнала не приводит к потере основной информации.

**Резистор** — компонент электронной схемы, имеющий омическое сопротивление. Идеальный резистор не обладает ни емкостью, ни индуктивностью, однако на практике все резисторы имеют небольшую емкость или индуктивность. Обычно их величины настолько незначительны, что в большинстве случаев ими пренебрегают.

**Резонанс** — явление, возникающее в схеме или системе, когда на некоторой конкретной частоте, называемой резонансной, происходит резкое возрастание амплитуды входного сигнала, т.е. при малой величине входного сигнала вырабатывается относительно большой выходной сигнал.

**Резонансная частота** — частота, при которой в резонансной схеме возникает резонанс.

**Рекомендуемые номиналы** — заранее определенные (заданные) значения параметров компонентов. Использование рекомендуемых номиналов упрощает производство компонентов, поскольку позволяет выпускать приборы только с некоторыми конкретными значениями параметров, а не со всеми возможными.

**Релаксационный генератор** — генератор периодических электрических сигналов, работа которого зависит от увеличения и уменьшения тока или напряжения в каждом периоде колебательного процесса.

**Реле** — электромагнитный прибор, в котором поступающий ток или напряжение на контактах управляет переключающим механизмом. Контакты переключающего механизма могут быть изолированы от электромагнита, что обеспечивает переключенные схем способом, при котором схема и управляющий элемент электрически не связаны друг с другом. Современные реле, выполняющие те же функции, изготавливаются из полупроводниковых материалов.

**Реостат** — переменный резистор, используемый для изменения тока в цепи.

**Ретранслятор** — устройство, которое усиливает, регенерирует или восстанавливает первоначальные параметры сигнала телекоммуникационной системы, изменившиеся вследствие передачи на расстояние.

**Рокот** — 1) (моторный шум) — термин, используемый для описания звуков, возникающих в усилителях низкой звуковой частоты и напоминающих звук работающего двигателя; 2) (шумы из-за вибрации диска проигрывателя) — помехи низкой частоты, прослушиваемые в *Hi-Fi*-системе, вызванные механической вибрацией в электропроигрывателе (проигрывателе виниловых дисков).

**Рыскание (перерегулирование)** — колебания системы около требуемого значения, вызванные перерегулировкой.

**Сбалансированная линия связи** — двухпроводная линия передачи, каждый провод которой имеет одинаковое сопротивление относительно земли.

**СВ** — см. **Средние волны, Средние частоты.**

**Светимость** — физическая величина, характеризующая излучательную способность поверхности. Определяется как отношение светового потока, испускаемого светящейся поверхностью к ее площади. Символ — *M*. Единица светимости — люмен на квадратный метр [ $\text{лм}\cdot\text{м}^{-2}$ ].

**Световое перо** — устройство, используемое совместно с компьютером для вывода данных на экран электронно-лучевой трубки таким же образом, как пишут обычной ручкой на бумаге. Компьютер фиксирует положение пера на экране и запоминает образ этой точки. Когда перо передвигается по экрану, множество образов объединяются, чтобы создать на экране некоторую форму, например линию.

**Светоизлучающий диод (СИД)** — полупроводниковый диод, который излучает свет в результате электролюминесцентного

эффекта. Когда электрон и дырка рекомбинируют вблизи  $p$ - $n$ -перехода, высвобождается достаточное количество энергии, чтобы образовался квант света. Излученный свет имеет определенную частоту и, соответственно, определенный цвет. В зависимости от материала светодиода могут излучать красный, желтый, оранжевый, зеленый и синий цвета. Также существуют светодиоды с невидимым инфракрасным излучением.

**Светочувствительный прибор** — см. **Фотоприемник**.

**Свинцовый аккумулятор** — см. **Кислотный аккумулятор**.

**Сглаживающий фильтр** — схема, предназначенная для уменьшения пульсаций сигнала постоянного тока или напряжения.

**Сдвиговый регистр** — цифровое устройство хранения информации, в котором при поступлении сдвигового импульса информация перемещается на один разряд в заданном направлении.

**СЕКАМ (SECAM)** — система цветного телевидения, принятая в России, Франции, а также в странах СНГ и в некоторых странах Азии и Африки (всего в 56 государствах мира). Название эта система получила от французского «*Sequential couleur a memoire*», что означает «система цветного телевидения с чередованием строк».

**Сеть (электросеть питания)** — общегосударственная электроэнергетическая система для обеспечения бытового электропитания. В России ее напряжение составляет 220 В переменного тока частотой 50 Гц. Для примера, в Великобритании — 240 В переменного тока частотой 50 Гц. Такое напряжение можно получить от любой розетки электропитания по всей территории страны.

**Сигнал** — обобщенное название физической величины, несущей какую-либо информацию.

**СИД** — см. **Светонзлучающий диод**.

**Сила света** — одна из основных величин международной системы единиц СИ. Символ —  $I$ . Единица силы света — кандела [кд].

**Сименс** — единица электрической проводимости. Обозначение — [См].

**Симметричный (двунаправленный) диодный тиристор (динистор, диак)** — диод с двухполярным (симметричным) пробивным напряжением, который пропускает ток, если напряжение превышает пробивное. Обычно используется в управляющих цепях переменного тока.

**Симплексная связь** — канал связи, работающий только в одном направлении. Синоним — односторонняя связь.

**Синусоидальный (сигнал)** — сигнал, изменяющийся по закону синуса.

**Синхронный** — тактируемый, управляемый при помощи тактовых импульсов.

**Система команд** — полный список операций, которые могут быть выполнены центральным процессором компьютера.

**Система оповещения по трансляционной сети (система громкой связи)** — система воспроизведения звука, используемая для его усиления и передачи информации большому количеству людей на большой площади.

**Сканер** — периферийное устройство ввода в компьютер, которое может преобразовывать символы, написанные, напечатанные и пр. на бумаге, в цифровые сигналы.

**Скорость нарастания выходного напряжения** — скорость изменения выходного сигнала, измеряемая в вольтах на единицу времени.

**Скремблирование (шифрование)** — специальная обработка сигнала связи (например, путем перестановки и инвертирования участков спектра или групп символов), после которой приемник не может принимать его до тех пор, пока этот сигнал не будет обработан дескремблером. С помощью такого процесса реализуется, в частности, шифрование телевизионных программ и т.п.

**Слово** — последовательность битов, соответствующая единице информации в цифровой схеме.

**Смеситель (преобразователь частоты)** — 1) звуковая схема, выполняющая сложение двух или более сигналов, выходной сигнал которой является просто суммой входных сигналов; 2) высокочастотная схема, предназначенная для объединения двух или более сигналов и формирования выходного сигнала, частота которого есть разность частот входных сигналов.

**Смещение** — для нормальной работы транзистора требуется, чтобы на эмиттере, базе и коллекторе были надлежащие потенциалы, заданные заранее. Обычно термин «смещение» определяет напряжение, которое требуется подать на базу, чтобы сдвинуть рабочую точку транзистора в линейную область вольт-амперной характеристики. Для германиевых транзисторов смещение относительно эмиттера обычно задают равным 0,3 В, для кремниевых транзисторов — по крайней мере, 0,6 В.

**Собственная частота** — частота собственных колебаний, возникающих в резонансных электрических, электронных и механических системах.

**Согласование импедансов** — при соединении друг с другом двух и более электрических схем необходимо согласование их импедансов для того, чтобы обеспечить максимальную передачу энергии сигнала от одной схемы к другой.

**Согласованная нагрузка** — нагрузка, которая, будучи присоединенной к электрической схеме или системе, поглощает максимально возможную мощность.

**Сопротивление** — физическая величина, характеризующая свойство материала противостоять электрическому току и преобразовывать электрическую энергию в тепловую. Сопротивление материала определяют как отношение приложенного напряжения к току, вызванному этим напряжением. Символ сопротивления —  $R$ . Единица сопротивления — ом [Ом].

**Сопротивление измерительного прибора** — внутреннее сопротивление измерительного прибора.

**Сопротивление нагрузки** — сопротивление, которое нагрузка оказывает выходному сигналу схемы или системы.

**Спектр частот** — график, диаграмма или таблица, показывающие частоты всех электромагнитных волн, разделенных по видам. Например, рентгеновское излучение, видимый свет, радиоволны.

**Спектр электромагнитных колебаний** — полный частотный диапазон колебаний электромагнитной природы.

**Спутник** — искусственный объект на околоземной орбите, обеспечивающий связь с Землей. Связь может быть односторонняя, когда станция только принимает сигналы со спутника, и двухсторонняя, когда сигналы идут с Земли на спутник и обратно.

**Среднеквадратическое (действующее) значение** — термин, используемый для описания действующего значения сигнала переменного тока. Это значение определяют как квадратный корень из среднего значения квадратов мгновенных значений сигнала. В случае синусоидального сигнала среднеквадратическое значение равно его максимальному значению, деленному на  $\sqrt{2}$ . В технической литературе используется аббревиатура RMS (от английского *root mean square*).

**Средние волны** — радиоволны, частоты которых находятся в диапазоне средних частот (длина волны от 100 м до 1 км).

**Средние частоты (СЧ)** — частоты радиосигналов в диапазоне от 300 кГц до 3 МГц (длина волны между 100 м и 1 км). Его называют также диапазоном СВ (средних волн).

**Средний срок службы (средний технический ресурс)** — среднее время безотказной работы компонента, электрической схемы или системы.

**Стабилизатор** — устройство, поддерживающее фиксированное значение выходного тока или напряжения вне зависимости от изменения входного тока или напряжения.

**Стабилитрон** — диод, стабилизирующий напряжение. Обратное напряжение пробоя  $p$ - $n$ -перехода этого диода точно определено. В рабочих условиях — после наступления пробоя большое увеличение тока приводит лишь к незначительному приросту напряжения.

**Стирание** — удаление хранимой информации.

**Сток** — один из трех электродов полевого транзистора.

**Стробирующий сигнал (строб-импульс)** — сигнал, подаваемый на логическую схему с целью управления выходом. Выход может быть либо включен (и тогда выдается выходной сигнал, который является некоторой функцией другого входа), либо выключен (на выходе нет сигнала).

**Строки** — физические пути, по которым следует поток электронов в телевизионной электронно-лучевой трубке, создавая картинку на экране. В системе СЕКАМ составляет 625 строк.

**Сумматор** — устройство (схема) в цифровом компьютере, выполняющее операцию сложения.

**Сухая батарея** — батарея, состоящая из двух или более сухих гальванических элементов.

**Сухой гальванический элемент** — гальванический элемент, не содержащий жидкой фазы.

**Схема (система и пр.) без потерь** — схема или система, в которой теоретически отсутствуют потери мощности.

**Схема (система и пр.) с потерями** — схема или система, в которой имеются большие потери мощности на резистивных элементах.

**СЧ** — см. **Средние частоты**.

**Считывать** — извлекать данные, ранее сохраненные в компьютерной памяти.

**Тактовый генератор** — микросхема (или прибор), генерирующая периодический сигнал (как правило, прямоугольные импульсы) для синхронизации операций цифровой системы.

**Твердотельная (полупроводниковая) схема** — схема, в которой ток протекает в твердом материале, а не в газе или вакууме (как, например, в электронных лампах); в частности, интегральная

схема.

**Телевидение** — передача видео- и звуковой информации с помощью электромагнитного излучения.

**Телеграф Морзе** — электрический телеграф, передающий сообщения с помощью азбуки Морзе.

**Телекоммуникация (дальняя связь)** — передача информации с помощью электромагнитных волн с использованием проводных, оптических и радиосистем.

**Телеметрия** — дистанционные измерения каких-либо величин электромагнитными способами.

**Телефония** — передача речи и других звуковых сигналов электромагнитным способом.

**Теорема Тевеннна-Гельмгольца** — см. Метод эквивалентного генератора.

**Тепловое излучение в видимом диапазоне волн** — излучение видимого света телом, нагретым до высоких температур.

**Тепловой дрейф** — полупроводниковые материалы очень чувствительны к температуре (германий более чувствителен, чем кремний). Это следует учитывать при проектировании схемы, включая в ее состав дополнительные компоненты для предотвращения роста тока вследствие нагревания. Без такой защиты повышение температуры вызывает увеличение тока, которое приводит к дальнейшему росту температуры, что, в свою очередь, ведет к еще большему росту тока и т.д. Этот процесс известен как тепловое убежание (дрейф), которое может привести к разрушению полупроводникового прибора (см. Теплоотвод).

**Тепловой шум** — разновидность шума, возникающего из-за хаотического движения электронов в резистивных составляющих схемы вследствие нагрева.

**Теплоотвод (радиатор)** — металлическая конструкция, механически соединенная с элементом электрической цепи, выделяющим тепло (например, с силовым транзистором). Теплоотвод отводит тепло от элемента, тем самым предотвращая его разрушение из-за перегрева.

**Термистор** — полупроводниковый прибор, сопротивление которого зависит от температуры. Некоторые из этих приборов имеют отрицательный температурный коэффициент, т.е. их сопротивление падает с увеличением температуры, а другие — положительный температурный коэффициент. Обычно термисторы используют для компенсации эффекта повышения температуры при работе схемы.

**Термоэлектронная эмиссия** — эмиссия электронов с поверхности тела, возникающая вследствие его нагревания.

**Тестер (меггер, мегомметр)** — портативный измерительный прибор с автономным питанием.

**Технический ресурс** — см. **Срок службы**.

**Типовые обозначения приборов** — по цифрам в маркировке транзистора редко можно судить о каких-либо его характеристиках. Например, в серии «2N» транзисторы с соседними номерами часто являются совершенно различными приборами. В европейских странах транзисторы часто маркируются с помощью букв: первая буква обозначает тип материала: А — германий, В — кремний, а вторая буква — тип прибора, где:

А — диод

С — маломощный, звуковой частоты

D — мощный (силовой), звуковой частоты

Е — туннельный диод

F — маломощный, высокочастотный

L — мощный (силовой), высокочастотный

P — фото

S — маломощный, переключающий

U — мощный (силовой), переключающий

Y — мощный (силовой) диод

Z — стабилитрон

**Тиристор** — полупроводниковый прибор с тремя *p-n*-переходами, который открывается импульсом, подаваемым на управляющий электрод, либо когда напряжение на нем достигает значения пробоя. После запуска он остается открытым до тех пор, пока напряжение на нем не станет равным нулю.

**Ток покоя** — ток, протекающий через компонент или часть схемы в отсутствие входного сигнала.

**Ток утечки** — см. **Утечка**.

**Торцевой разъем** — разъем, который сформирован на торце печатной платы. Дорожки на плате подведены к торцу, образуя контактное соединение.

**Точка покоя** — точка на характеристике полупроводникового прибора, которая указывает значения параметров этого прибора в отсутствие сигнала на входе (см. **Рабочая точка**).

**Транзистор** — полупроводниковый прибор, предназначенный для усиления и преобразования сигналов, в котором ток, протекающий между двумя электродами, может модулироваться напряжением или током, поступающим на третий электрод.

**Трансформатор** — устройство, предназначенное для преобразования переменного напряжения по величине (без изменения частоты), а также для электрического разделения цепей и преобразования сопротивлений по величине.

**Триак, симистор** — двунаправленный тиристор.

**Триггер** — см. **Бистабильный мультивибратор**.

**Триггер Шмитта** — схема с двумя устойчивыми состояниями, в которой двоичный выходной сигнал определяется значением (амплитудой) входного сигнала таким образом, что в схеме проявляется гистерезис: состояние на выходе изменяется, если входной сигнал превышает верхний заранее определенный уровень (верхний порог срабатывания), и изменяется на обратное (возвращается в исходное состояние), если входной сигнал становится меньше нижнего заранее определенного уровня (нижнего порога срабатывания).

**Туннельный диод** — полупроводниковый диод на основе сильно легированного материала, имеющий вольт-амперную характеристику с участком отрицательного сопротивления, т.е. на этом участке характеристики увеличение напряжения смещения ведет к уменьшению протекающего тока.

**Угловая (круговая) частота** — скорость изменения фазы периодических колебаний. Символ —  $\omega$ . Единица измерения —  $[с^{-1}]$ . Частота и угловая частота связаны между собой соотношением:  $\omega = 2\pi f$ .

**Удельное сопротивление** — параметр, описывающий зависимость сопротивления материала от площади его поперечного сечения и длины. Удельное сопротивление материала рассчитывается по формуле:

$$\rho = \frac{RA}{L},$$

где  $\rho$  — удельное сопротивление  $[Ом \cdot м]$ ,

$R$  — сопротивление материала  $[Ом]$ ,

$A$  — площадь сечения  $[м^2]$ ,

$L$  — длина материала  $[м]$ .

**Удерживающий ток (ток удержания)** — ток, при поддержании которого тиристор находится в открытом состоянии. Если ток, протекающий через тиристор, падает ниже удерживающего, тиристор запирается (перестает проводить).

**Узел** — всякая точка передающей линии, в которой стоячая волна равна нулю.

**Ультразвук** — колебания, частота которых превышает верхний предел диапазона частот, воспринимаемых человеческим ухом (обычно к ультразвуку относят колебания с частотой свыше 20 кГц).

**Ультрафиолетовое излучение** — электромагнитное излучение с длинами волн, находящимися между длинами волн видимого света и рентгеновским излучением.

**Уплотнение (мультиплексная передача)** — объединение двух и более сигналов таким образом, что вновь образованный сигнал может быть передан и позднее разделен на первоначальные сигналы.

**Уровень громкости** — сравнение громкости какого-либо звука со стандартной громкостью звука. Стандартный звук — это определенная нота (синусоидальный сигнал) с частотой 1000 Гц. Единица уровня громкости — фон.

**Усиление** — повышение уровня сигнала, при помощи специального устройства — усилителя. Величину усиления характеризует коэффициент усиления — отношение напряжения (тока, мощности) на выходе к напряжению (току, мощности) на входе усилителя.

**Усилитель** — электронное устройство, предназначенное для усиления напряжения, тока или мощности сигнала, поступающего на его вход. Усиление происходит за счет энергии источника, питающего усилитель.

**Усилительный каскад** — единичный усилительный блок в составе электронного оборудования, предназначенного для усиления электрических сигналов.

**Утечка (ток утечки)** — ток, протекающий через схему или компонент из-за дефекта изоляции.

**Фаза** — величина, на которую периодическая переменная передвигается на оси времени по отношению к опорной точке. Фаза может быть измерена в градусах или радианах. О двух периодических переменных (с одинаковой частотой и формой волны) говорят, что они находятся в фазе (их фазы совпадают), если они одновременно достигают одной и той же стадии процесса. Если же такого совпадения нет, говорят, что переменные — не в фазе.

**Фазовая манипуляция** — простая фазовая модуляция цифрового сигнала.

**Фазовая модуляция (ФМ)** — модуляция, при которой фаза несущей изменяется пропорционально амплитуде информационного сигнала.

**Фазоимпульсная модуляция (ФИМ)** — модуляция, при которой положение каждого импульса связано с информационным сигналом.

**Факс** — см. **Факсимильная связь**.

**Факсимильная связь (Факс)** — система передачи изображения, с помощью которой по обычной линии связи может быть передано изображение.

**Фарад** — единица электрической емкости. Обозначение — [Ф].

**ФВЧ** — см. **Фильтр верхних частот**.

**Фильтр** — электрическая схема, которая пропускает только сигналы определенных частот, ограничивая в то же время прохождение сигналов на остальных частотах.

**Фильтр верхних частот (ФВЧ)** — фильтр, пропускающий без ослабления сигналы, частота которых выше определенной граничной частоты (частоты среза). Сигналы, частота которых ниже граничной частоты, ослабляются (подавляются).

**Фильтр нижних частот (ФНЧ)** — фильтр, пропускающий без ослабления сигналы, частота которых ниже определенной граничной частоты (частоты среза). Сигналы, частота которых выше граничной частоты, ослабляются (подавляются).

**ФИМ** — см. **Фазоимпульсная модуляция**.

**Фликкер-шум (шум мерцаний)** — см. **Шум**.

**ФМ** — см. **Фазовая модуляция**.

**ФНЧ** — см. **Фильтр нижних частот**.

**Фон от сети переменного тока** — см. **Гудение**.

**Фоновый (флуктуационный) шум** — колебания токов и напряжений в электронных компонентах приборов и устройств, носящие случайный характер и обусловленные природой электричества и свойствами материалов.

**Формат изображения (кадра)** — отношение ширины телевизионного изображения к его высоте. Типичное значение — 4:3.

**Фотодиод** — полупроводниковый диод, в котором протекающий ток пропорционален его освещенности.

**Фотолитография** — фотографическая процедура в производстве интегральных схем. Перенос изображения компонентов схемы с фотошаблона на поверхность полупроводниковой пластины.

**Фотоприемник (светочувствительный прибор)** — на проводимость  $p$ - $n$ -перехода влияют как свет, так и тепло. Чтобы использовать это свойство, фотоприемник построен таким образом,

что  $p$ - $n$ -переход доступен свету. Свет (или инфракрасное излучение) падает на  $p$ - $n$ -переход, что вызывает образование носителей тока, и проводимость прибора увеличивается.

**Фоторезист** — фоточувствительный материал, который под действием света изменяет свои свойства на молекулярном уровне. Фоторезист используется в производстве полупроводниковых приборов, интегральных схем и печатных плат.

**Фотоэлемент** — прибор, преобразующий энергию света в электрическую.

**Фронт импульса** — участок импульса, на котором напряжение (или ток) нарастает от начального уровня до максимального значения (передний фронт) или спадает от максимального значения до начального уровня (задний фронт).

**Холостой ход** — термин, определяющий состояние схемы или системы, к выходу которой не подключена какая-либо последующая схема или система, т.е. нагрузка на выходе отсутствует. Измерение электрических параметров схемы, проводимое при таком условии, называется измерением в режиме холостого хода или в схеме при отсутствии нагрузки.

**Цветовое кодирование** — способ маркировки электронных компонентов, содержащий информацию о номинальной величине и допуске маркируемых объектов, а также другие сведения, представляющие интерес для потребителя.

**Центральный процессор (ЦП, ЦПУ)** — часть компьютера, непосредственно выполняющая машинные команды, из которых состоят программы. ЦПУ осуществляет управление работой компьютера.

**Цикл** — процесс изменений состояния сигнала, в результате которого его параметры принимают исходные значения, после чего процесс повторяется.

**Цифровое устройство** — электронная схема или система, вырабатывающая и реагирующая на сигналы в виде дискретных импульсов напряжения с фиксированной амплитудой. Если схемы или системы в процессе работы используют сигналы только двух уровней, их называют двоичными цифровыми схемами.

**Цифровой вольтметр** — вольтметр, который показывает измеренные величины напряжений в цифровом виде в десятиричной системе счисления.

**Цифровой компьютер** — см. Компьютер.

**Цифровой мультиметр** — универсальный измерительный

прибор, который измеряет и показывает значения электрических величин в цифровом виде в десятичной системе счисления.

**ЦМД** — см. *Память на цилиндрических магнитных доменах*.

**Частота** — количество полных колебаний или циклов периодического сигнала в секунду. Символ —  $f$ . Единица частоты — герц [Гц]. Частота связана с длиной волны ( $\lambda$ ) и скоростью распространения сигнала ( $v$ ) соотношением:  $v = f \cdot \lambda$ .

**Частота зеркального канала** — частота помехи на входе радиоприемника, вызванной паразитным выходным сигналом.

**Частота среза (граничная частота, частота отсечки)** — частота, при которой выходной сигнал уменьшается на определенную величину от максимальной (обычно это 0.5 от максимальной величины).

**Частотная модуляция (ЧМ)** — тип модуляции, при которой частота несущей изменяется пропорционально мгновенным значениям модулирующего сигнала, а амплитуда несущей остается неизменной.

**Частотное уплотнение** — система, в которой несколько информационных сигналов объединяются в один. Каждый информационный сигнал модулируется на отдельную несущую, так что существует сразу несколько частотных каналов.

**Частотный диапазон** — диапазон частот, которому присвоено определенное название. Например, диапазон частот 300...30000 кГц называют диапазоном СВ (средних волн). Также частотным диапазоном называется полоса частот, в которой работает схема.

**Чересстрочная развертка** — метод развертки, используемый в ТВ-системах и состоящий в том, что четные и нечетные строки одного кадра передаются раздельно. Вывод изображения ускоряется, но снижается качество.

**Черный ящик** — любая функционально законченная схема или часть системы, которая может рассматриваться как самостоятельная единица. В этом случае потребитель или конструктор может не знать устройство «черного ящика» — достаточно понимать его влияние на внешние цепи.

**Чип** — 1) небольшая пластинка полупроводникового материала, квадратной или прямоугольной формы, содержащая в себе электронный компонент или электронную схему. Синоним — кристалл; 2) с некоторых пор чипом стали именовать твердотельную интегральную микросхему.

**Числовое программное управление (ЧПУ)** — тип автоматической системы управления, в которой код, генерируемый управля-

ющим устройством, сравнивается с кодом, генерируемым другим (управляемым) устройством. Разность между двумя кодами распознается управляющим устройством и используется для выработки управляющего сигнала.

**ЧМ** — см. **Частотная модуляция**.

**ЧПУ** — см. **Числовое программное управление**.

**Чувствительность** — 1) изменение на выходе прибора, вызванное единичным изменением на его входе; 2) способность радиоприемника воспринимать слабые входные сигналы.

**ШИМ** — см. **Широтно-импульсная модуляция**.

**Шина** — 1) проводник между двумя или более частями схемы, обычно способный проводить большие токи; 2) группа проводников, соединяющих различные части компьютерной системы.

**Ширина полосы частот** — диапазон частот, сигналы которых пропускаются схемой без уменьшения амплитуды до определенного уровня (обычно до 0.5 от максимальной амплитуды).

**Широтно-импульсная модуляция (ШИМ)** — модуляция, при которой длительность каждого импульса модулируется информационным сигналом.

**Шифратор** — прибор, выходной сигнал которого является преобразованным (закодированным) входным сигналом.

**Шум (помехи)** — нежелательные сигналы, имеющие место в электронной системе, вызываемые ложными сигналами как естественного, так и искусственного происхождения. Существует множество типов шумов, название которых основывается на их происхождении, например тепловой шум, атмосферный шум, белый шум, импульсный шум и т.п.

**Шум-фактор** — отношение соотношения сигнал/шум на входе электрической схемы к такому же соотношению на выходе.

**Шунт** — компонент, включенный параллельно с некоторой схемой или другим компонентом.

**ЭДС** — см. **Электродвижущая сила**.

**Эквалайзер (схема коррекции (компенсации))** — схема или прибор, устраняющие помехи, создаваемые системой.

**Эквивалентная П-образная схема** — эквивалентная схема, используемая для демонстрации работы транзистора, выполненная в виде четырехполюсника типа «П» и состоящая из различных компонентов.

**Эквивалентная схема** — схема замещения, включающая в себя простые (обычно пассивные) элементы и используемая для моделирования работы замещаемой схемы в заданных режимах.

**Экран** — 1) поверхность электронно-лучевой трубки; 2) экранирующая сетка для защиты от электромагнитных помех.

**Электрическая емкость** — свойство изолированных проводников (в том числе конденсаторов) удерживать электрический заряд. Количественно емкость равна отношению удерживаемого заряда к потенциалу проводника. Символ —  $C$ . Единица емкости — фарад [Ф].

**Электрические силовые линии** — характеризующие электрическое поле воображаемые линии, направление которых в любой точке представляет направление поля в этой точке.

**Электрический ток** — упорядоченное движение носителей заряда. В электротехнике и электронике принято, что направление электрического тока противоположно направлению движения электронов. Количественно электрический ток характеризуют силой тока. Символ —  $I$ . Единица силы электрического тока — ампер [А].

**Электрод** — элемент прибора, являющийся проводником для носителей заряда.

**Электродвижущая сила (ЭДС)** — разность потенциалов, создаваемая источником электрической энергии. Символ —  $E$ . Единица ЭДС — вольт [В].

**Электролиз** — изменение химического состава, вызванное электрическим током, проходящим через электролит.

**Электролит** — материал (жидкость), обладающий электропроводностью благодаря разделению (диссоциации) молекул на ионы.

**Электролитический конденсатор** — конденсатор, в котором диэлектриком служит оксидная пленка алюминиевой обкладки, а второй обкладкой является электролит.

**Электромагнит** — устройство, которое приобретает магнитные свойства только при протекании через него электрического тока.

**Электрон** — элементарная частица массой  $9.109 \cdot 10^{-31}$  кг, несущая отрицательный заряд величиной  $1.602 \cdot 10^{-19}$  Кл. Упорядоченное движение электронов, например в металле, представляет собой электрический ток.

**Электрон-вольт** — единица энергии, удобная для измерения малых значений энергии. Электрон-вольт называют энергией, которую приобретает электрон, проходя в электрическом поле разность потенциалов 1 В. Обозначение — [эВ]. 1 эВ равен  $1.602 \cdot 10^{-19}$  Дж.

**Электронная пушка** — устройство, излучающее поток электронов в электронно-лучевой трубке или подобных ей приборах.

**Электронно-лучевая трубка** — стеклянная вакуумная трубка, позволяющая генерировать, фокусировать и фиксировать на своей поверхности (экране) поток электронов. Такими трубками оснащают телевизоры, электронно-лучевые осциллографы и мониторы компьютеров. Часто используется сокращение — ЭЛТ.

**Электронно-лучевой осциллограф** — прибор для исследования сигналов. Осциллограф позволяет отразить сигнал на своем экране как график зависимости напряжения от времени. Часто используется сокращение — ЭЛО.

**Электронный луч** — поток (пучок) электронов, вылетающих из электронной пушки, обычно расположенной в электронно-лучевой трубке.

**Элемент** — термин, которым характеризуют вещество, содержащее только одноименные атомы.

**Элемент изображения (пиксель)** — самая малая часть разрешения графического или пиктографического экрана системы.

**Элемент Лекланше (марганцево-цинковый элемент)** — первичный элемент (батарея), содержащий угольный анод и цинковый катод, помещенные в жидкий электролит (нашатырь). Также существует такой элемент с пастообразным электролитом, который называется сухим, и он является основой для большого числа разнообразных элементов, которые используются в качестве бытовых источников тока.

**ЭЛО** — см. **Электронно-лучевой осциллограф**.

**ЭЛТ** — см. **Электронно-лучевая трубка**.

**Эмиттер** — один из трех выводов биполярного транзистора

**Эмиттерно-связанная логика (ЭСЛ)** — технология, используемая в микросхемах с высокой скоростью переключения элементов (0.5...2 нс).

**Эмиттерный повторитель** — каскад транзисторного усилителя, у которого выход находится между эмиттером и землей.

**Энергетическая зона** — теоретическое значение энергии, которой может обладать электрон или атом, находящийся в твердом теле. В теории твердого тела (в частности, в физике полупроводников) так называют спектр уровней энергии, запрещенных или разрешенных для нахождения на них электронов (соответственно, запрещенная или разрешенная энергетическая зона).

**Энергонезависимая память** — запоминающее устройство, содержимое которого не пропадает после выключения питания, например ПЗУ, ППЗУ, ЭСППЗУ.

**ЭППЗУ** — электрически перепрограммируемое ПЗУ.

**ЭСЛ** — см. **Эмиттерно-связанная логика**.

**ЭСППЗУ** — электрически стираемое программируемое ПЗУ.

**Эффект Холла** — возникновение поперечного электрического поля и разности потенциалов в полупроводнике, по которому течет ток, при его помещении в магнитное поле, перпендикулярное направлению тока.

**Язык** — укороченное наименование для термина «язык программирования».

**Язык программирования** — любая система символов, которая воспринимается как человеком, так и компьютером. В конечном счете компьютеру необходимы команды в машинном коде, т.е. машинный код — это простейший язык программирования. Однако человеком такой язык воспринимается с большими усилиями. Языки программирования *низкого уровня* походят на машинный код и, следовательно, трудны для человека. Языки программирования *высокого уровня* схожи с человеческими и, соответственно, более легки для понимания.

**Язык программирования высокого уровня** — язык программирования, более похожий на язык общения людей или на математическое описание, чем на машинный код, используемый центральным процессором компьютера.

**Язык программирования низкого уровня** — язык программирования, который содержит команды для компьютера в машинном коде (т.е. в двоичном коде), который компьютер может воспринимать непосредственно.

**Яркость (кажущаяся или субъективная яркость)** — яркостью поверхности называют такое свойство поверхности, благодаря которому кажется, будто поверхность испускает свет в направлении наблюдателя. Яркость — субъективная величина.

**Ячейка памяти** — единичный элемент для хранения информации с собственным только для нее предназначенным адресом.

**Hi-Fi** — повсеместно используемая аббревиатура, обозначающая высококачественную аппаратуру воспроизведения звука (от английского — *high fidelity*).

**JK-триггер** — тип триггера.

**LC-цепь** — резонансная электрическая схема (контур), содержащая катушку индуктивности и конденсатор.

**n-p-n-транзистор** — биполярный транзистор, созданный из трех слоев полупроводникового материала — двух слоев n-типа и слоя p-типа между ними.

***n*-канал** — проводящий канал полевого *n*-канального транзистора.

***p-n-p*-транзистор** — биполярный транзистор, сформированный из трех слоев полупроводникового материала — двух слоев материала *p*-типа и слоя материала *n*-типа между ними.

***p-n*-переход** — переход между двумя слоями полупроводника — *p*-типа и *n*-типа проводимости.

***p*-канал** — проводящий канал полевого *p*-канального транзистора.

**RC-цепь** — любая электрическая схема, состоящая преимущественно из резисторов и конденсаторов.

## 4.2. КРАТКИЙ АНГЛО-РУССКИЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

**Absorption coefficient** — коэффициент поглощения

**Access time** — время доступа

**Accumulator** — аккумулятор

**AC (alternating current)** — переменный ток

**Acoustic feedback** — акустическая обратная связь

**Acoustic wave** — акустическая (звуковая) волна

**Adder** — сумматор

**Address** — адрес

**Admittance** — полная проводимость

**Aerial** — антенна

**AFC (automatic frequency control)** — автоматическая подстройка частоты (АПЧ)

**Alphanumeric** — алфавитно-цифровой или буквенно-цифровой (например, код, знак, данные и т.п.)

**Alternating current** — переменный ток

**AM (amplitude modulation)** — амплитудная модуляция

**Ammeter** — амперметр

**Ampere** — ампер

**Amplify** — усиливать

**Amplifier** — усилитель

**Amplifier stage** — усилительный каскад

**Amplitude** — амплитуда

**Amplitude modulation** — амплитудная модуляция

**Analogue** — аналог, аналоговый

**Analogue-to-digital converter, ADC** — аналого-цифровой преобразователь (АЦП)

**AND gate** — логический элемент И

- Angular frequency** — угловая (круговая) частота
- Anode** — анод
- Antenna** — антенна
- Antiphase** — противофаза
- Aspect ratio** — формат изображения
- Assembler** — ассемблер (язык программирования)
- Astable multivibrator** — несинхронизированный мультивибратор, мультивибратор без устойчивых состояний (генератор прямоугольных импульсов)
- Asynchronous** — асинхронный
- Attenuation** — ослабление, затухание
- Attenuator** — аттенюатор
- Audio frequency** — звуковая частота
- Automatic frequency control** — автоматическая подстройка частоты (АПЧ)
- Automatic gain control** — автоматическая регулировка усиления (АРУ)
- Automatic volume control** — автоматическая регулировка громкости (АРГ). Синоним — автоматическая регулировка усиления (АРУ)
- Avalanche breakdown** — лавинный пробой
- Background noise** — фоновый (флуктуационный) шум
- Balanced** — сбалансированная (например, линия связи)
- Band** — полоса, диапазон
- Band-pass filter** — полосовой фильтр
- Band-stop filter** — режекторный фильтр
- Bandwidth** — ширина полосы частот, диапазон частот
- Base** — база (транзистора)
- BASIC (Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code)** — Бейсик (язык программирования)
- Bass** — регулятор тембра низких частот
- Batch processing** — пакетная обработка
- Battery** — батарея (аккумуляторов)
- Baud** — бод (единица скорости (частоты) передачи информации)
- Beat** — биения
- Bel** — бел, Б
- Beta** — бета,  $\beta$  (коэффициент усиления)
- Bias** — смещение
- Bias voltage** — напряжение смещения
- Binary code** — двоичный код

**Bipolar transistor** — биполярный транзистор

**Bistable** — бистабильный мультивибратор (триггер), схема с двумя устойчивыми состояниями

**Bit** — бит

**Black box** — черный ящик

**Blocking capacitor** — разделительный конденсатор

**Bode diagram** — диаграмма Боде

**Breadboard** — макет, макетирование

**Breakdown** — пробой

**Bridge** — мостовая схема

**Bridge rectifier** — мостовой выпрямитель

**Brightness** — яркость

**Broadcast** — передача (вещательная)

**Bubble memory** — память на цилиндрических магнитных доменах

**Bucket-brigade** — пожарная цепочка (жаргонное название прибора с зарядовой связью ПЗС)

**Buffer** — буфер, буферная схема, буферный каскад

**Bug** — сбой, ошибка в программе

**Bus** — шина

**Byte** — байт

**Cable** — кабель

**Capacitance** — электрическая емкость

**Capacitor** — конденсатор

**Carrier** — несущая частота

**Cathode** — катод

**Cathode ray** — катодный луч

**Cathode ray oscilloscope** — электронно-лучевой осциллограф

**Cathode ray tube** — электронно-лучевая трубка

**CCITT (International Telegraph and Telephone Consultative Committee)** — Международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии (МККТТ)

**Ceefax** — телетекст

**Cell** — ячейка, гальванический элемент

**Central processing unit** — центральный процессор (ЦП, ЦПУ)

**Channel** — канал

**Charge carrier** — носитель заряда

**Charge coupled device** — прибор с зарядовой связью (ПЗС)

**Chip** — чип (кристалл, микросхема)

**Clock** — тактовый генератор

**CMOS (complementary metal oxide semiconductor)** — КМОП-

структура

**Coax (coaxial cable)** — сокращенное наименование коаксиального кабеля

**Coaxial cable** — коаксиальный кабель

**Coil** — обмотка, катушка индуктивности

**Collector** — коллектор

**Color code** — цветовой код (маркировка электронных компонентов)

**Complementary pair** — комплементарная пара

**Computer** — компьютер

**Conductor** — проводник

**CPU (central processing unit)** — центральный процессор (ЦП, ЦПУ)

**CRO (cathode ray oscilloscope)** — электронно-лучевой осциллограф

**Crosstalk** — перекрестные помехи

**CRT (cathode ray tube)** — электронно-лучевая трубка

**Current** — электрический ток

**Cut-off frequency** — частота среза, граничная частота, частота отсечки

**Cycle** — цикл, период

**Darlington pair** — пара Дарлингтона

**dB** — дБ (децибел)

**D.C. (direct current)** — постоянный ток

**D.C. voltage** — напряжение постоянного тока

**Debug** — отладка программы

**Decibel (dB)** — децибел (дБ)

**Demodulation** — демодуляция, детектирование

**Demodulator** — демодулятор, детектор

**Demultiplexer** — демультиплексор

**Detector** — детектор, демодулятор

**Device** — прибор

**Diac** — симметричный диодный тиристор

**Dielectric** — диэлектрик

**Dielectric constant** — диэлектрическая постоянная

**Differential amplifier** — дифференциальный усилитель

**Differentiator** — дифференцирующее устройство, дифференциатор

**Digital** — цифровой

**Digital computer** — цифровой компьютер

**Digital multimeter** — цифровой мультиметр

- Digital voltmeter** — цифровой вольтметр
- DIP** — см. **dial-in-line package**
- Diode** — диод
- Diode transistor logic** — диодно-транзисторная логика
- Dioptre** — диоптрия (единица измерения оптической силы)
- Dipole aerial** — диполь (симметричная антенна)
- Direct current** — постоянный ток
- Direct voltage** — напряжение постоянного тока
- Distortion** — искажение
- Doping** — легирование
- Double pole switch** — двухполюсный переключатель
- Drain** — сток (электрод полевого транзистора)
- Drift** — дрейф
- Dry battery** — сухая батарея
- Dry cell** — сухой гальванический элемент
- Dry joint** — непропаиваемое соединение
- DTL (diode transistor logic)** — диодно-транзисторная логика
- Dual-in-line package (DIP)** — корпус с двухрядным расположением выводов
- Duplex** — дуплексный канал, двусторонний режим связи
- DMM (digital multimeter)** — цифровой мультиметр
- DVM (digital voltmeter)** — цифровой вольтметр
- EAROM (electrically alterable read)** — электрически программируемое ПЗУ (ЭППЗУ)
- Earphone** — головной телефон
- Earth** — заземление (земля)
- Earth current** — ток замыкания на землю
- Earth fault** — короткое замыкание на землю
- ECL (emitter coupled logic)** — эмиттерно-связанная логика (ЭСЛ)
- Edge connector** — торцевой разъем
- EEPROM, E<sup>2</sup>ROM (electrically erasable read only memory)** — электрически стираемое программируемое ПЗУ (ЭСППЗУ)
- EHT (extra high tension)** — сверхвысокое напряжение
- Electron gun** — электронная пушка
- Electrically alterable read only memory** — электрически программируемое ПЗУ (ЭППЗУ)
- Electrically erasable read only memory** — электрически стираемое программируемое ПЗУ (ЭСППЗУ)
- Electrode** — электрод
- Electrolysis** — электролиз

- Electrolyte** — электролит
- Electrolytic capacitor** — электролитический конденсатор
- Electromagnet** — электромагнит
- Electromagnetic spectrum** — спектр электромагнитных волн
- Electromotive force** — электродвижущая сила (ЭДС)
- Electron** — электрон
- Electron beam** — электронный луч (пучок)
- Electronvolt** — электрон-вольт
- Element** — элемент
- EMF (electromotive force)** — электродвижущая сила (ЭДС)
- Emitter** — эмиттер (электрод биполярного транзистора)
- Emitter follower** — эмиттерный повторитель
- Enable** — разрешающий сигнал или вход
- Encoder** — шифратор
- Energy bands** — энергетическая зона
- Equalization** — компенсация, коррекция
- Equalizer** — эквалайзер, корректор, компенсатор
- Equivalent circuit** — эквивалентная схема
- Erase** — стирание (магнитной записи)
- Error** — ошибка
- Exclusive OR gate** — логический элемент Исключающее ИЛИ
- Facsimile** — факсимильная связь
- Failure** — отказ, выход из строя, сбой программы
- Failure rate** — интенсивность отказов
- Fall-time** — время спада
- Fan-out** — коэффициент разветвления по выходу
- Farad** — фарад
- Feedback** — обратная связь
- FET (field effect transistor)** — полевой транзистор
- Fibre optic** — оптоволоконный кабель
- Field** — поле (электрическое, магнитное)
- Field effect transistor** — полевой транзистор
- Filter** — фильтр
- Fleming's left-hand rule** — правило левой руки
- Fleming's right-hand rule** — правило правой руки
- Flicker** — мерцания, мелькания
- Flicker noise** — фликкер-шум
- Flip-flop** — триггер, бистабильный мультивибратор
- Floating** — неподключенная часть схемы
- Floating point representation** — представление с плавающей за-

**Floppy disk** — дискета, гибкий диск

**FM (frequency modulation)** — частотная модуляция

**Forward bias** — прямое смещение, напряжение прямого смещения

**Frame** — кадр

**Frequency** — частота

**Frequency division multiplex** — частотное уплотнение

**Frequency modulation** — частотная модуляция

**Frequency range** — диапазон частот

**Frequency response** — амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)

**Frequency spectrum** — спектр частот

**FSD** — см. **full scale deflection**

**Full scale deflection** — отклонение на полную шкалу

**Full wave rectifier** — двухполупериодный выпрямитель

**Function generator** — генератор функций

**Fundamental frequency** — основная частота

**Fuse** — плавкая перемычка

**Fusible link memory** — ПЗУ, программируемое плавкими перемычками

**Gain** — коэффициент усиления

**Gain control** — регулировка усиления

**Ganged** — групповое управление, управление от одной ручки

**Gate** — 1) затвор (электрод полевого транзистора); 2) логический элемент (схема, выполняющая логическую функцию); 3) управляющий электрод тиристора; 4) стробирующий импульс

**Gating signal** — селекторный (стробирующий) сигнал

**Geostationary orbit** — геостационарная орбита

**Geosynchronous orbit** — геосинхронная орбита

**Germanium** — германий

**Giga-** — гига-, Г (приставка, означающая увеличение в  $10^9$  раз)

**Graphics** — графика

**Ground** — заземление

**Guard band** — защитная полоса

**Half-adder** — полусумматор

**Half-duplex** — полудуплексная (поочередная двусторонняя)

связь

**Half-wave rectifier** — однополупериодный выпрямитель

**Hall effect** — эффект Холла

**Ham** — радиолюбитель

**Hardware (HW)** — аппаратное обеспечение, совокупность физических устройств компьютера (принтер, клавиатура, монитор и др.)

**Harmonic** — гармоника

**Head** — магнитная головка

**Headset** — наушники, гарнитура (пилота, телефонистки и т.п.)

**Heatsink** — теплоотвод, радиатор

**Henry** — генри (единица индуктивности)

**Hertz** — герц (единица частоты)

**Heterodyne** — гетеродиширование

**HF (high frequency)** — высокая частота, диапазон КВ

**Hi-fi (high fidelity)** — высококачественная система воспроизведения звука

**High fidelity** — высококачественная система воспроизведения звука

**High level programming language** — язык программирования высокого уровня

**High logic level** — ВЫСОКИЙ логический уровень

**High pass filter** — фильтр верхних частот (ФВЧ)

**High tension (HT)** — высокое напряжение (напряжение в диапазоне 50...250 В)

**Holding current** — удерживающий ток

**Hole** — дырка (носитель заряда в полупроводнике)

**Hole current** — дырочный ток (ток в полупроводнике, обусловленный перемещением дырок)

**Howl** — подвывание (термин, обозначающий нелинейные искажения звукового сигнала, обусловленные электрической или акустической обратной связью)

**HT (high tension)** — высокое напряжение (напряжение в диапазоне 50...250 В)

**Hum** — звуковой фон переменного тока, гудение

**Hunting** — перерегулировка (рыскание)

**Hybrid integrated circuit** — гибридная интегральная схема

**Hybrid-π** — эквивалентная П-образная схема

**Hysteresis** — гистерезис

**Hz** — Гц (единица частоты)

**IC (integrated circuit)** — интегральная схема

**IEC (International Electrotechnical Commission)** — Международная электротехническая комиссия

**IEE (Institute of Electrical Engineers)** — Институт инженеров

по электротехнике

**IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers)** — Институт инженеров по электротехнике и электронике

**IF (intermediate frequency)** — промежуточная частота

**IGFET (insulated gate field effect transistor)** — полевой транзистор с изолированным затвором

**I<sup>2</sup>L (integrated injection logic)** — интегральная инжекционная логика

**Illuminance** — освещенность

**Image frequency** — зеркальная частота

**Image interference** — зеркальная радиопомеха

**Impedance** — импеданс

**Impedance matching** — согласование импедансов

**Impulse noise** — импульсный шум

**Impulse voltage** — импульсное напряжение

**Impurities** — примеси (в полупроводнике)

**Incandescence** — тепловое излучение в видимом диапазоне

волн

**Incandescent lamp** — лампа накаливания

**Index error** — коллимационная ошибка

**Indirect wave** — ионосферная радиоволна

**Induce** — индуцировать, наводить

**Inductance** — индуктивность

**Induction** — 1) электростатическая индукция; 2) электромагнитная индукция

**Inductor** — катушка индуктивности

**Information technology (IT)** — информационная технология

**Infrared radiation** — инфракрасное (ИК) излучение

**Injection** — инъекция

**Input** — вход, входной сигнал, ввод

**Input impedance** — входной импеданс

**Input/output** — вход/выход, ввод/вывод

**Instantaneous value** — мгновенная величина

**Institute of Electrical and Electronic Engineers** — Институт инженеров по электротехнике и электронике

**Institute of Electrical Engineers** — Институт инженеров по электротехнике

**Instruction set** — набор (система) команд

**Insulate** — изолировать

**Insulated gate field effect transistor** — полевой транзистор с изолированным затвором

- Insulator** — изолятор
- Integrated circuit** — интегральная схема
- Integrated injection logic** — интегральная инжекционная логика
- Integrator** — интегрирующее устройство, интегратор
- Intelligent** — интеллектуальный
- INTELSAT (International Telecommunications Satellite Organization)** — Международная организация по спутниковой связи
- Intensity** — 1) интенсивность; 2) напряженность (магнитного или электрического поля)
- Interactive** — интерактивный, диалоговый
- Interference** — помехи
- Interlaced scanning** — чересстрочная развертка
- Intermediate frequency** — промежуточная частота (ПЧ)
- Internal resistance** — внутреннее сопротивление (источника)
- International Electrotechnical Commission** — Международная электротехническая комиссия
- International Radio Consultative Committee (CCIR)** — Международный консультативный комитет по радиосвязи (МККР)
- International Telecommunications Union** — Международный союз по телекоммуникациям (МСЭ)
- International Telegraph and Telephone Consultative Committee (CCITT)** — Международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии (МККТТ)
- Inversion** — инверсия
- Inverter** — инвертор
- I/O (input/output)** — вход/выход, ввод/вывод
- Ion** — ион
- ISO (International Standards Organisation)** — Международная организация по стандартизации
- Isolate** — изолировать
- ITU (International Telecommunications Union)** — Международный союз по телекоммуникациям (электросвязи) (МСЭ)
- Jack** — разъем
- Jam** — глушение (создание преднамеренных помех)
- JEDEC (Joint Electron Device Engineering Council)** — Объединенный технический совет по электронным приборам
- JFET (junction field effect transistor)** — полесвой транзистор с *p-n*-переходом в качестве затвора
- JK flip-flop** — JK-триггер

**Johnson noise** — тепловой шум

**Josephson junction** — переход Джозефсона

**JUGFET (junction field effect transistor)** — полевой транзистор с *p-n*-переходом в качестве затвора

**Junction** — 1) соединение; 2) *p-n*-переход

**Junction box** — распределительная коробка

**Junction capacitance** — емкость *p-n*-перехода

**Junction field effect transistor** — полевой транзистор с *p-n*-переходом в качестве затвора

**Junction transistor** — плоскостной транзистор

**Keyboard** — клавиатура

**Kilo-** — кило-, к

**Kirchhoff's laws** — законы Кирхгофа

**Klystron** — клистрон

**Lag** — 1) запаздывание, задержка; 2) отставание по фазе; 3) время задержки

**Lamination** — пластина сердечника

**Land** — контактная площадка

**Language** — короткое наименование термина «язык программирования»

**Large scale integration** — высокая степень интеграции

**Laser** — лазер

**Latch** — защелка, схема с фиксацией состояния

**LCD (liquid crystal display)** — дисплей на жидких кристаллах.

**LC network** — *LC*-цепь

**Lead** — 1) опережение по фазе; 2) вывод

**Lead-acid cell** — кислотный (свинцовый) аккумулятор

**Leading edge** — фронт импульса

**Leakage** — утечка

**Leakage current** — ток утечки

**Leclanche cell** — элемент Лекланше (марганцево-цинковый элемент)

**LED (light emitting diode)** — светоизлучающий диод (СИД)

**Light-pen** — световое перо

**Light sensitive devices** — фотоприемник (светочувствительный прибор)

**Linear** — линейная интегральная схема (ИС)

**Lines** — 1) строки (телевизионного экрана); 2) силовые линии

**Lines of flux** — магнитные силовые линии

**Lines of force** — электрические силовые линии

**Liquid crystal display** — дисплей на жидких кристаллах (жидкокристаллический экран)

**Load** — нагрузка

**Load characteristic** — нагрузочная характеристика

**Load impedance** — импеданс нагрузки

**Load line** — нагрузочная прямая (линия)

**Local oscillator** — гетеродин

**Logic circuit** — логическая схема

**Logic diagram** — логическая блок-схема

**Logic symbol** — логический символ (знак)

**Long-tailed pair** — дифференциальная пара

**Long wave** — диапазон длинных волн

**Loss** — потери, потери при передаче, затухание, ослабление

**Lossless** — схема (система и пр.) без потерь

**Lossy** — схема (система и пр.) с потерями

**Loudness** — громкость, уровень громкости

**Loudness level** — уровень громкости

**Loudspeaker** — громкоговоритель, акустическая система

**Low frequency** — низкая частота, диапазон длинных волн

**Low level programming language** — язык программирования низкого уровня

**Low logic level** — НИЗКИЙ логический уровень

**Low-pass filter** — фильтр нижних частот (ФНЧ)

**LSI (large scale integration)** — большая интегральная схема (БИС)

**Luminance** — 1) светимость; 2) яркость

**Luminous Intensity** — сила света

**Machine code** — машинный код

**Magnet** — магнит, магнетик

**Magnetic bubble memory** — память на цилиндрических магнитных доменах

**Magnetic circuit** — магнитная цепь

**Magnetic field** — магнитное поле

**Magnetic field strength** — напряженность магнитного поля

**Magnetic flux** — магнитный поток

**Magnetic flux density** — магнитная индукция

**Magnetism** — магнетизм, магнитные явления

**Mains** — электросеть питания

**Mains hum** — фон от сети переменного тока

**Make and break** — выключатель-автомат

**Man-made noise** — искусственные помехи

**Mark space ratio** — коэффициент заполнения

**Maser** — мазер

**Mask** — 1) фотошаблон; 2) маска, маскирующий слой

**Matched termination** — согласованная нагрузка

**Mean life** — срок службы

**Measurand** — измеряемая величина

**Medium frequency** — средняя частота, диапазон средних волн (СЧ)

**Medium wave** — диапазон средних волн, СЧ-радиоволна

**Mega-** — мега-, М

**Megger** — тестер

**Memory** — память, ПЗУ

**Memory location** — ячейка памяти

**Meter** — измерительный прибор

**Meter movement** — магнитоэлектрический измерительный прибор

**Meter resistance** — сопротивление измерительного прибора

**MF (medium frequency)** — средняя частота, диапазон средних волн (СЧ)

**Micro-** — микро-, мк

**Microcomputer** — микрокомпьютер, микроЭВМ

**Microphone** — микрофон

**Microprocessor** — микропроцессор

**Microwave** — диапазон сверхвысоких частот, СВЧ-диапазон

**Mike** — аббревиатура слова «microphone»

**Milli-** — мили-, м

**Mismatch** — рассогласование

**Mixer** — 1) смеситель; 2) преобразователь частоты

**Modem** — модем

**Modulation** — модуляция

**Monochromatic light** — монохроматический свет

**Monochromatic television** — черно-белое телевидение

**Monostable multivibrator** — мультивибратор, ждущий мультивибратор

**Morse code** — азбука Морзе

**Morse telegraphy** — телеграф Морзе

**MOSFET (metal oxide semiconductor field effect transistor)** — полевой транзистор с изолированным затвором, МОП-транзистор

**MOST — (metal oxide semiconductor transistor)** — полевой транзистор с изолированным затвором, МОП-транзистор

**Motorboating** — рокот (моторный шум)

- Moving coil** — подвижная катушка
- Multiplex** — уплотнение (например, линии связи), объединение (например, сигналов)
- Multiplexer** — мультиплексор
- Multivibrator** — мультивибратор
- NAND gate** — логический элемент И-НЕ
- Nano-** — нано-, н
- Natural frequency** — собственная частота
- N-channel** — *n*-канал
- Negative bias** — отрицательное напряжение смещения, отрицательное смещение
- Negative feedback** — отрицательная обратная связь
- Negative modulation** — негативная модуляция
- Neon indicator** — индикатор на неоновой лампе
- Neper (Np)** — непер
- Network** — схема, цепь, сеть
- Neutral** — нейтраль, нейтральный провод
- Neutralization** — нейтрализация
- Nicad (nickel cadmium)** — никель-кадмиевый гальванический элемент
- Nickel cadmium cell** — никель-кадмиевый гальванический элемент
- Node** — узел
- Noise** — шум
- Noise factor** — шум-фактор
- Noise figure** — коэффициент шума
- Non-linear** — нелинейный
- Nonvolatile memory** — энергонезависимая память
- NOR gate** — логический элемент ИЛИ-НЕ
- NOT gate** — логический элемент НЕ, инвертор
- NPN transistor** — *n-p-n*-транзистор
- NTSC (National Television System Committee)** — система цветного телевидения НТСЦ
- N-type semiconductor** — полупроводник *n*-типа
- Numerical control** — числовое программное управление (ЧПУ)
- Nyquist diagram** — диаграмма Найквиста
- OCR (optical character reader)** — сканер
- Octave** — октава
- Off-line** — автономный, независимый (режим)
- Ohm** — ом (единица электрического сопротивления)

- Ohmic** — омический
- Ohmmeter** — омметр
- Ohmmetre** — единица удельного сопротивления
- Ohm's law** — закон Ома
- One shot** — одновибратор
- On-line** — неавтономный режим работы, работа в реальном масштабе времени
- Opamp (operational amplifier)** — операционный усилитель (ОУ)
- Open circuit** — разомкнутая цепь, разомкнутый контур, режим холостого хода
- Operating point** — рабочая точка
- Operational amplifier** — операционный усилитель
- Optical character reader** — сканер (устройство оптического распознавания символов или автоматического чтения текста)
- OR gate** — логический элемент ИЛИ
- Oscillation** — колебания
- Oscillator** — генератор колебаний
- Oscilloscope** — осциллограф
- Output** — выход
- Output impedance** — выходной импеданс
- Overall efficiency** — коэффициент полезного действия (КПД)
- Overdamping** — избыточное демпфирование
- Overdriven** — перегрузка
- Oxidation** — окисление
- PA (public address system)** — громкоговорящая связь
- PABX (private automatic branch exchange)** — учрежденческая АТС с исходящей и входящей связью
- Packing density** — плотность упаковки
- Pair** — пара, двухпроводная линия
- PAL (phase alternation by line)** — система цветного телевидения ПАЛ
- РАМ (pulse amplitude modulation)** — амплитудно-импульсная модуляция (АИМ)
- Parallel** — параллельный
- Parallel circuit** — параллельная схема, схема с параллельным включением компонентов
- Parallel plate capacitor** — плоский конденсатор
- Parallel resonant circuit** — параллельный резонансный контур
- Parameter** — параметр
- Parametric amplifier** — параметрический усилитель

- Pascal** — паскаль, единица измерения давления
- Passive** — пассивный компонент
- P-channel** — *p*-канальный
- PCM (pulse code modulation)** — импульсно-кодовая модуляция (ИКМ)
- PD (potential difference)** — разность потенциалов, напряжение
- Peak-to-peak amplitude** — размах, удвоенная амплитуда (сигнала)
- Peak value** — максимальное значение, амплитуда
- Period** — период
- Periodic** — периодический
- Peripheral devices** — периферийное устройство
- Permanent memory** — постоянная память
- Phase** — фаза
- Phase alteration by line (PAL)** — построчное изменение фазы (система цветного телевидения ПАЛ)
- Phase difference** — разность фаз
- Phase modulation** — фазовая модуляция
- Phase shift keying** — фазовая манипуляция
- Photocell** — фотоэлемент
- Photodiode** — фотодиод
- Photoresist** — фоторезист
- Pick-up** — звукосниматель
- Pico-** — пико-, п
- Picture element** — элемент изображения (пиксель)
- Piezoelectric crystal** — пьезоэлектрический кристалл
- Piezoelectric effect** — пьезоэлектрический эффект
- PIN diode** — регулируемый резистивный диод, *p-i-n*-диод
- PM** — фазовая модуляция
- PN junction** — *p-n*-переход
- PNP transistor** — *p-n-p*-транзистор
- Point contact device** — прибор с точечным контактом
- Polarised** — поляризованный
- Positive feedback** — положительная обратная связь
- Pot** — потенциометр, переменный резистор
- Potential** — потенциал
- Potential difference** — разность потенциалов
- Potential divider** — делитель напряжения
- Potentiometer** — потенциометр
- Power** — сила, мощность
- Power ratio** — отношение мощностей

- Power supply** — источник питания
- Power transistor** — мощный (силовой) транзистор
- PPM (pulse position modulation)** — фазоимпульсная модуляция
- Preamp (preamplifier)** — предварительный усилитель, предусилитель
- Preamplifier** — предварительный усилитель, предусилитель
- Preferred values** — рекомендуемые номиналы
- Prestel** — система видеотекста (Великобритания)
- Primary cell** — первичный элемент питания, батарейка
- Printed circuit board** — печатная плата
- Printer** — принтер
- Program** — программа
- Programmable read only memory** — программируемое ПЗУ
- Programming language** — язык программирования
- PROM (programmable read only memory)** — программируемое ПЗУ
- P-type semiconductor** — полупроводник *p*-типа
- Public address system** — система оповещения по трансляционной сети, система громкой связи
- Pulse** — импульс
- Pulse amplitude modulation** — амплитудно-импульсная модуляция (АИМ)
- Pulse code modulation** — импульсно-кодовая модуляция (ИКМ)
- Pulse modulation** — импульсная модуляция
- Pulse position modulation** — фазоимпульсная модуляция (ФИМ)
- Pulse width modulation** — широтно-импульсная модуляция (ШИМ)
- Push-pull** — двухтактный (режим работы)
- Q-factor (quality factor)** — добротность
- Quadraphonic** — квадрафонический
- Quadrature** — квадратура, сдвиг по фазе на 90°
- Quality factor** — добротность
- Quantisation** — квантование, дискретизация
- Quartz** — кварц
- Quartz-crystal oscillator** — кварцевый генератор
- Quiescent current** — ток покоя
- Quiescent point** — точка покоя
- Radar** — радиолокация, радиолокатор
- Radiation** — излучение, радиация

- Radio** — радиовещание
- Radiowave** — радиоволна
- RAM (random access memory)** — оперативное запоминающее устройство (ОЗУ)
- Random access memory** — оперативное запоминающее устройство (ОЗУ)
- Raster** — растр
- Ratings** — паспортные данные
- RC (Resistor-capacitor)** — резистивно-емкостный
- RC network** — RC-цепь
- Reactance** — реактивное сопротивление
- Reactive load** — реактивная нагрузка
- Reactor** — реактивный элемент
- Read** — читать, считывать
- Read only memory** — постоянное запоминающее устройство (ПЗУ)
- Read write head** — головка считывания-записи, универсальная головка (записи-воспроизведения)
- Real time operation** — работа в режиме реального времени
- Receiver** — приемное устройство, приемник, радиоприемное устройство
- Record** — запись
- Rectifier** — выпрямитель
- Redundancy** — резервирование
- Refractive index** — показатель преломления
- Refresh** — регенерация, обновление, восстановление
- Regeneration** — положительная обратная связь
- Register** — регистр
- Regulator** — стабилизатор
- Rejection band** — полоса заграждения фильтра
- Relative permittivity** — относительная диэлектрическая проницаемость
- Relaxation oscillator** — релаксационный генератор
- Relay** — реле
- Reliability** — надежность
- Reluctance** — магнитное сопротивление
- Repeater** — ретранслятор, ретрансляционная станция
- Resistance** — сопротивление
- Resistivity** — удельное сопротивление
- Resistor** — резистор
- Resonance** — резонанс

- Resonant frequency** — резонансная частота
- Reverberation** — реверберация
- Reverberation time** — время реверберации
- Reverse bias** — обратное смещение
- Reverse voltage** — напряжение обратного смещения, обратное напряжение
- Rewrite** — см. **refresh**
- RF (radio frequency)** — радиочастота, высокая частота
- Rheostat** — реостат
- Ring** — «звон», переходный процесс в виде затухающих колебаний
- Ripple** — пульсации
- Rise time** — время нарастания
- RMS (root mean square)** — среднеквадратическое значение
- ROM (read only memory)** — постоянное запоминающее устройство (ПЗУ)
- Root mean square** — среднеквадратическое значение
- RS flip-flop (reset-set flip-flop)** — RS-триггер
- Rumble** — рокот (в проигрывателе виниловых дисков)
- Sampling** — дискретизация (выборка)
- Satellite** — спутник
- Saturation** — насыщение
- Sawtooth oscillator** — генератор пилообразного напряжения
- Scanning** — 1) сканирование; 2) развертка изображения
- Schmitt trigger** — триггер Шмитта
- Scramble** — скремблирование (шифрование, например, телепрограмм)
- Screen** — экран
- SCS (silicon controlled switch)** — тетродный тиристор
- SECAM** — система цветного телевидения СЕКАМ
- Secondary cell** — вторичный элемент питания, аккумулятор
- Secondary emission** — вторичная эмиссия
- Secondary voltage** — вторичное напряжение, напряжение на вторичной обмотке (трансформатора)
- Selectivity** — избирательность, селективность
- Semiconductor device** — полупроводниковый прибор
- Semiconductor material** — полупроводниковый материал
- Sensitivity** — чувствительность
- Sensor** — преобразователь, датчик, сенсор
- Serial transmission** — последовательная передача
- Series** — последовательное соединение

- Shift register** — сдвиговый регистр
- Short circuit** — короткое замыкание
- Short wave** — диапазон коротких волн
- Shunt** — шунт, шунтировать
- Siemens** — сименс (единица измерения проводимости)
- Signal** — сигнал
- Signal generator** — генератор сигналов
- Signal-to-noise ratio** — соотношение сигнал/шум
- Silicon** — кремний
- Silicon controlled rectifier** — кремниевый управляемый вентиль (тиристор)
- Simplex** — симплексная (односторонняя) связь
- Sinusoidal** — синусоидальный
- Slew rate** — скорость нарастания выходного напряжения
- Smoothing circuit** — сглаживающий фильтр
- Solid state circuit** — твердотельная (полупроводниковая) схема
- Super alpha pair** — пара Дарлингтона
- Synchronous** — синхронный
- Telecommunications** — телекоммуникации, электромагнитная связь
- Telemetry** — телеметрия
- Telephone** — телефон
- Television** — телевидение
- Thermal runaway** — тепловой дрейф (убегание)
- Thermionic emission** — термоэлектронная эмиссия
- Thermistor** — термистор
- Thevenin's theorem** — метод эквивалентного генератора, метод активного двухполюсника или метод холостого хода и короткого замыкания (теорема Тевенина)
- Threshold of hearing** — порог слышимости
- Thyristor** — тиристор
- Transducer** — преобразователь
- Transformer** — трансформатор
- Transistor** — транзистор
- Triac** — симметричный триодный тиристор, симмистор
- Tunnel diode** — туннельный диод
- Type numbers** — типовые обозначения приборов
- UHF (ultra high frequency)** — УВЧ (ультравысокая частота), диапазон ДМВ
- Ultrasonics** — ультразвук

**Ultraviolet radiation** — ультрафиолетовое излучение

**Unijunction transistor** — однопереходный транзистор, двухбазовый диод

**Valency** — валентность

**Varicap diode** — варикап

**VDU (visual display unit)** — монитор

**VHF (very high frequency)** — ОВЧ (очень высокая частота) диапазон МВ

**Voltage-dependent resistor** — варистор, нелинейный резистор

**Voltage drop** — падение напряжения

**Watt** — ватт (единица мощности)

**Wave** — волна

**White noise** — белый шум

**Word** — слово

**Wow** — низкочастотная детонация (в диапазоне частот ниже 10 Гц)

**Write** — запись, записывать

**Yagi aerial** — антенна Уда-Яги, директорная антенна, антенна «волновой канал»

**Zener diode** — стабилитрон (зенеровский диод)

## Предметный указатель

D-триггер	235
EIA 232	378
EIA 232p	378
EIA 449	379
JK-триггер	236
<i>p-n</i> -переход	21
RS-триггер	234
V24	381
аббревиатуры	298
Азия	389
аккумулятор	396
акцептор	20
аналого-цифровой преобразователь	258
арифметические и вычислительные схемы	241
арифметическое устройство	247
Африка	391
база	36
батарея	396
биполярный транзистор	36
блокинг-генератор	221
буквенное кодирование	26
Булева алгебра	229, 336
варикап	35
видеоусилитель	170
Вина мост	207
вольт-амперная характеристика	22
выпрямительный диод	33
высокочастотный усилитель мощности	165
гармоника	144
генератор	202
Колпитца	204
кварцевый	209, 210
прямоугольных импульсов	211, 220
с фазовым сдвигом	206
Хартли	205
германий	18
гиратор	290
датчик	260
десятичные множители и приставки	343
децибел	282
децибел таблица	372
дешифратор	244
диак	45

диод	33
светонзлучающий	263
туннельный	36
дисплей жидкокристаллический	267
дистанционное управление	278
дифференциальный усилитель	179, 188
дифференциатор	190
доли дюйма	325
донор	20
дроссель	30
дырка	19
Европа	389
емкость	27
ждуший мультивибратор	214
жидкокристаллический индикатор	267
закон Ома	22
затвор	39, 40
импульсный диод	33
инвертирующий усилитель	184
инвертор	184
индикатор	
жидкокристаллический	267
семисегментный	276
цифровой	276
индуктивно-емкостный фильтр	292
интегральный операционный усилитель	182
интегратор	189
интермодуляционные искажения	175
исток	39, 40
кабель	393
серии RG	393
серии UR	395
Карно карты	232
катушка индуктивности	29
кварцевый генератор	209, 210
классификация лазеров	272
коаксиальные разъемы	385
коллектор	36
Колпитца генератор	204
комбинационная логика	227
конденсатор	27
фольговый	28
электролитический	28
константы	313
коэффициент усиления	147
кремниевый управляемый клапан	43
кремний	18
кристаллическая структура	18
лазер	269
инжекционный	265
на <i>p-n</i> -переходе	265
лампа накаливания	266
лампа неоновая	267

логика	
комбинационная	329
отрицательная	226
положительная	226
эмиттерно-связанная	256
управляемая событиями	238
логические схемы на КМОП-транзисторах	254
логический элемент	69, 223
магнитное поле	16
Максвелла мост	141
малосигнальный усилитель	165
микросхемы СВЧ интегральные монолитные	199
многокаскадные усилители	156
молекула	15
монолитные СВЧ интегральные микросхемы	199
мост	
Вина	207
Максвелла	141
Уитстона	140
Хэя	142
Шеринга	143
мультивибратор	212
неинвертирующий усилитель	186
неоновая лампа	267
номинальные напряжения низковольтных сетей	389
одновибратор	214
однопереходный транзистор	43
Океания	392
Ома закон	16, 22
оптоволоконная связь	279
оптопара	275
оптоэлектроника	259
оптрон	275
острова Вест-Индии	390
отрицательная логика	226
отрицательная обратная связь	158
переменный резистор	24
период	146
повторитель напряжения	186
инвертор	195
полевой транзистор	39
положительная логика	226
полосовой фильтр	192
полупроводник n-типа	20
полупроводник p-типа	20
преобразование кратных и дольных единиц	318
преобразователь аналого-цифровой	258
преобразователь цифро-аналоговый	257
примесные полупроводники	20
размерности физических величин	314
разъемы	374, 384
SCART	388
для видеомagneитофонов, телеаппаратуры, теле/видеокамер	386

коаксиальные	385
регистр сдвиговый	249
режекторный фильтр	192, 283
резистор	16, 22
переменный	24
резонансный контур	172
ряд Фурье	145
светодиод	263
СВЧ монолитные интегральные микросхемы	199
связь оптоволоконная	279
сдвиговый регистр	249
Северная Америка	390
семисегментный индикатор	276
сенсор	260
сердечник	30
силовой трансформатор	30
символы ASCII	334
символьные обозначения	70
синхронный счетчик	246
согласующий трансформатор	30
соответствия кодов	327
сопротивление резистора	23
стабилитрон	34
сток	39, 40
структура атома	15
сумматор	185
схемы арифметические и вычислительные	241
цифровые	223
счетчик синхронный	246
таблица децибел	372
таймер	236
тиристор	43
транзистор биполярный	36
транзисторно-транзисторная логика	252
транзисторный усилитель	149
трансформатор	30
тока	32
триак	44
триггер Шмитта	194
туннельный диод	36
Уитстона мост	140
управление дистанционное	278
усилитель	143
дифференциальный	179, 188
звуковой частоты	159
инвертирующий	184
интегральный операционный	182
класса А	161
класса АВ	163
класса В	162
класса С	163
классов D и E	164

малосигнальный	165
многокаскадный	156
мощности	161
мощности высокочастотный	165
на интегральных схемах	177
переменного тока	143
постоянного тока	178
постоянного тока с прерывателем	181
с общей базой	37, 154
с общим коллектором	153
с общим эмиттером	38, 149
частотно-избирательный	171
фильтр	192
верхних частот	192, 295
нижних частот	192, 293
полосовой	192
режекторный	283
фольговый конденсатор	28
фотогальванический элемент	260
фотодиод	261
фоторезистор	260
фототранзистор	262
фотоэлемент	273
Фурье ряд	145
характеристика вольт-амперная	22
Хартли генератор	205
Хэя мост	142
цветовое кодирование	24
Центроникс	383
цифро-аналоговый преобразователь	257
цифровой индикатор	276
цифровые схемы	223
частота	146
частотно-избирательный усилитель	171
Шеринга мост	143
ширина полосы пропускания усилителя	148
шифратор	244
Шмитта триггер	194
шум	23
шум-фактор	200
электрический ток	15
электрическое поле	17
электrolитический конденсатор	28
электрон	15
элемент фотогальванический	260
эмиттер	36
эмиттерно-связанная логика	256
эмиттерный повторитель	153
Южная Америка	391

Книги издательства «ДМК Пресс» можно заказать в торгово-издательском холдинге «Планета Альянс» наложенным платежом, выслав открытку или письмо по почтовому адресу:

115487, г. Москва, 2-й Нагатинский пр-д, д. 6А

При оформлении заказа следует указать адрес (полностью), по которому должны быть высланы книги; фамилию, имя и отчество получателя.

Желательно также указать свой телефон и электронный адрес.

Эти книги вы можете заказать и в интернет-магазине: [www.aliants-kniga.ru](http://www.aliants-kniga.ru).

Оптовые закупки: тел. (499) 782-38-89

Электронный адрес: [books@aliants-kniga.ru](mailto:books@aliants-kniga.ru).

**Бриндли Кейт, Карр Джозеф**

Карманный справочник  
инженера электронной техники

Главный редактор *Мовчан Д. А.*  
[dmpkpress@gmail.com](mailto:dmpkpress@gmail.com)

Гарнитура «Петербург». Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 25,2. Тираж 100 экз.

Веб-сайт издательства ДМК Пресс: [www.dmpkpress.com](http://www.dmpkpress.com)

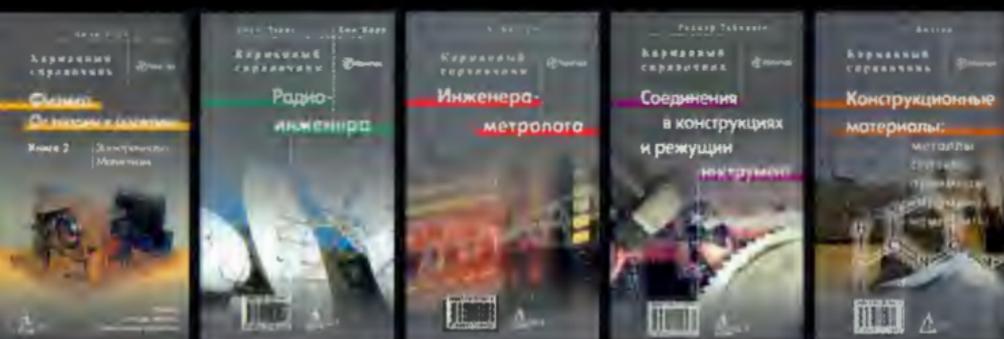


## Карманный справочник инженера электронной техники

В справочнике собраны сведения об основах современной электронной техники. Достаточно полно представлена элементная база полупроводниковой электроники, рассмотрены основы построения практически всех возможных узлов, образующих электронные схемы, приведены данные о функциональных назначениях и цоколевке интегральных схем популярных серий. Не обойдены вниманием основы оптоэлектроники — свето- и фотоэлектрические приборы, лазеры и оптические волноводы. Немалую часть книги занимает разнообразный справочный материал — физические величины, их единицы и коэффициенты преобразования этих единиц из одной системы в другую, аббревиатуры терминов, используемых в электронике, данные о радиотехнических кабелях и разъемах, выпускаемых промышленностью, и много других полезных сведений. Книгу завершают толковый и англо-русский словари, содержащие около 1400 терминов, используемых в электронике.

Справочник будет полезен разработчикам электронной аппаратуры, студентам соответствующих специальностей, а также всем, интересующимся основами современной электроники.

## КАРМАННЫЙ СПРАВОЧНИК серия переводных книг Издательского дома «Додэка-XXI»



ISBN 978-5-97060-110-5



9 785970 601105 >

Интернет-магазин: [www.dmkpress.com](http://www.dmkpress.com)

Книга-почтой: [orders@aliants-kniga.ru](mailto:orders@aliants-kniga.ru)

Оптовая продажа: "Альянс-книга".

(499)782-3889. [books@aliants-kniga.ru](mailto:books@aliants-kniga.ru)