

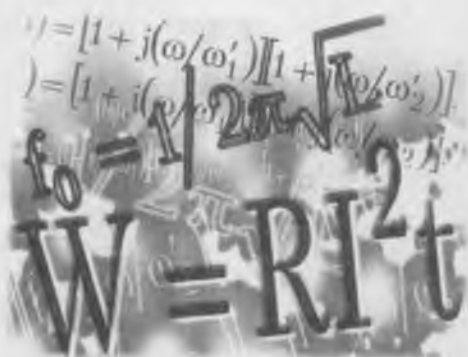
СПРАВОЧНИК ПО ЭЛЕКТРОНИКЕ



Богдан Грабовски

БОГДАН ГРАБОВСКИ

СПРАВОЧНИК ПО ЭЛЕКТРОНИКЕ



АМК
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Москва, 2009

УДК 621.3.01

ББК 32.85

Г75

Грабовски Б.

Г75 Справочник по электронике / Богдан Грабовски ; Пер. с фр. Хаванов А. В. – 2-е изд., испр. – М. : ДМК Пресс, 2009. – 416 с. : ил.

ISBN 978-5-94074-472-6

Книга содержит информацию по наиболее важным разделам электроники: как теорию (описание радиотехнических цепей и сигналов, изложение теории электромагнитного поля, перечень основных единиц измерения СИ и т.д.), так и практические сведения (описание усилителей, генераторов, комбинационных схем, счетчиков, преобразователей, программируемой логики, МП и микроконтроллеров с типовыми примерами исполнения).

В настоящее издание вошли разделы по аналоговой и цифровой электронике, в том числе сведения о микропроцессорах и микроконтроллерах. Наглядный материал, включающий таблицы, рисунки и формулы, позволяет быстро производить необходимые расчеты.

Книга может служить справочным пособием для профессионалов и начинающих радиолюбителей, а также студентов технических вузов и колледжей.

УДК 621.3.01

ББК 32.85

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 2-10-004207-6 (фр.)

© DUNOD, Paris

© Перевод на русский язык, оформление. ДМК Пресс

ISBN 978-5-94074-472-6 (рус.)

© Издание на русском языке
ДМК Пресс, 2009

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие к русскому изданию	15
Глава 1. Единицы измерения физических величин	17
1.1. Основные законы и определения	17
1.1.1. Краткая историческая справка	17
1.1.2. Геометрические, кинетические и механические величины	17
1.1.3. Единицы измерения магнитных величин	19
1.1.4. Основные законы электричества	20
1.1.5. Температура. Тепловые цепи	25
1.1.6. Фотометрия	27
1.1.7. Неметрические единицы, применяемые в США и Великобритании	28
1.2. Математические понятия	28
1.2.1. Комплексные числа	28
1.2.2. Периодический сигнал. Ряды Фурье	32
1.2.3. Операционное исчисление	36
1.2.4. Погрешности	40
1.2.5. Распределение Гаусса	45
Глава 2. Электрорадиоматериалы и пассивные элементы	47
2.1. Проводники, диэлектрики и полупроводники	47
2.1.1. Электрон в вакууме	47
2.1.2. Проводники и диэлектрики	49
2.1.3. Полупроводники	50
2.1.4. Магнитные материалы	54
2.1.5. Проводники	55
2.2. Надежность компонентов. Общие положения	59
2.2.1. Определения	59
2.2.2. Основные соотношения	60
2.2.3. Корытообразная кривая	61
2.3. Линейное сопротивление	62
2.3.1. Общие характеристики	62
2.3.2. Типы резисторов	65
2.3.3. Сравнительные характеристики	66
2.3.4. Стандарты и коды для постоянных резисторов	67
2.4. Потенциометры	69
2.4.1. Общие характеристики	69
2.4.2. Применяемые типы и стандарты потенциометров	71

2.5. Нелинейные резисторы	72
2.5.1. Термистор	72
2.5.2. Варистор	73
2.6. Конденсаторы постоянной и переменной емкости	74
2.6.1. Общие характеристики	74
2.6.2. Различные технологии. неполярные конденсаторы	75
2.6.3. Различные технологии. Полярные конденсаторы	76
2.6.4. Применение конденсаторов в микроэлектронике	77
2.6.5. Конденсаторы переменной емкости	78
2.6.6. Стандарты и рекомендации	78
2.7. Катушки индуктивности	80
2.7.1. Общие характеристики	80
2.7.2. Расчет индуктивности простых обмоток	81
2.7.3. Добротность Q и потери в обмотках	82
2.7.4. Разновидности ферритовых сердечников	83
2.7.5. Спецификации и стандарты	84
2.8. Кварц	85
2.8.1. Кристалл	85
2.8.2. Эквивалентная схема	86
2.8.3. Основные технологии и стандарты	87
Глава 3. Электрические цепи и фильтры	89
3.1. Элементарные электрические цепи	89
3.1.1. Источники тока и напряжения	89
3.1.2. Элементарные схемы фильтров низких и высоких частот	91
3.1.3. Асимптотические приближения	95
3.1.4. Полуинтегратор и полудифференциатор	97
3.1.5. Простейшие резонаторы	97
3.2. Анализ схем	100
3.2.1. Основные теоремы	100
3.2.2. Элементы электрических цепей и определения	104
3.2.3. Составление уравнений для замкнутой цепи	106
3.2.4. Построение матрицы проводимостей	108
3.2.5. Построение матрицы импедансов	108
3.2.6. Составление уравнений открытой цепи	108
3.3. Пассивные четырехполюсники	109
3.3.1. Матрицы импедансов и проводимостей	109
3.3.2. Матрицы $[h]$ и $[g]$	112
3.3.3. Матрица цепи	113

3.3.4. Соединение четырехполюсников	114
3.3.5. Постоянная передачи	115
3.4. Резистивные цепи	116
3.4.1. Цепь $R/2R$	116
3.4.2. Схемы несогласованных аттенюаторов	118
3.4.3. Схемы согласованных аттенюаторов	119
3.4.4. Допуски на величину погрешности параметров элементов	119
3.4.5. Резистивный мост (мостик Уинстона)	120
3.5. Фильтры второго и более высокого порядка	120
3.5.1. Типичные коэффициенты передачи и отклики	120
3.5.2. Операционный анализ фильтров	123
3.5.3. Пассивные фильтры	125
3.6. Связанные контуры	129
3.6.1. Индуктивная связь	129
3.6.2. Связь в общем случае	131
Глава 4. Нелинейные двухполюсники	132
4.1. Различные модели нелинейных двухполюсников	132
4.1.1. Основные разновидности	132
4.1.2. Соединение двухполюсника-источника и нагрузочного двухполюсника	133
4.2. Плоскостной диод	134
4.2.1. Упрощенная модель. Статический режим	134
4.2.2. Диод в динамическом режиме. Емкость p-n перехода	135
4.2.3. Переходный режим	137
4.2.4. Частично линейные характеристики	138
4.2.5. Используемые эквивалентные схемы	138
4.3. Диоды, чувствительные к различным физическим эффектам	139
4.3.1. Фотогальванический эффект	139
4.3.2. Температурный эффект	141
4.4. Технологические разновидности	141
4.4.1. Общая таблица разновидностей диодов	141
4.4.2. Предельные характеристики и основные параметры	142
4.4.3. Стандарты и рекомендации	146
4.5. Элементы с отрицательным сопротивлением и управляемые двухполюсники	146
4.5.1. Туннельный диод	146
4.5.2. Тиристоры	147
4.5.3. Симистор и симметричный динистор	149
4.5.4. Специальные и высокочастотные диоды	150

Глава 5. Активные трехполюсники	152
5.1. Идеальные модели активных трехполюсников	152
5.1.1. Биполярный транзистор	152
5.1.2. Режим постоянного тока	154
5.1.3. Входная и выходная характеристики	155
5.1.4. Разновидности активных трехполюсников	157
5.1.5. Динамический режим (малосигнальная модель)	158
5.1.6. Три схемы включения транзисторов	159
5.1.7. Схема включения (ОЭ)	159
5.2. Реальные модели	160
5.2.1. Статические модели	160
5.2.2. Динамический режим	161
5.2.3. Неопределенная матрица для транзисторов различных типов	163
5.3. Предельные величины и параметры	164
5.3.1. Статический режим. Биполярный транзистор	164
5.3.2. Статический режим. Полевой транзистор	165
5.3.3. Динамический режим. Биполярный транзистор	165
5.3.4. Динамический режим. Полевой транзистор	166
5.3.5. Параметры в переходном режиме	166
5.4. Стандарты и рекомендации	167
5.5. Статические характеристики полевых транзисторов	167
5.5.1. Полевые транзисторы с каналом n-типа	167
5.5.2. Полевые транзисторы с каналом p-типа	170
5.5.3. Стандарты и рекомендации	171
5.6. Транзисторы на арсениде галлия	171
Глава 6. Диодные схемы	172
6.1. Выпрямление	172
6.1.1. Последовательное и параллельное соединения	172
6.1.2. Тепловой пробой	173
6.1.3. Однополупериодный выпрямитель	174
6.1.4. Двухполупериодные выпрямители	176
6.1.5. Перегрузка по току и обратному напряжению	177
6.2. Пороговые устройства	178
6.2.1. Диодные логические схемы	178
6.2.2. Диодные ограничители	182
6.2.3. Нелинейные ограничители	184
6.3. Схемы стабилизаторов и их применение в термометрии	186
6.3.1. Простые стабилизаторы	186
6.3.2. Стабилизатор с температурной компенсацией	187
6.3.3. Температурный датчик	188

6.4. Детектирование и сглаживание сигнала	189
6.4.1. Диодные детекторы	189
6.4.2. Сглаживание	189
6.4.3. Выбор постоянной времени	190
Глава 7. Усилительные каскады	191
7.1. Типы усилителей	191
7.1.1. Классификация	191
7.1.2. Каскадирование усилителей	199
7.2. Элементарные схемы транзисторных усилителей	204
7.2.1. Питающие напряжения активного трехполюсника	204
7.2.2. Влияние температуры на параметры усилительного каскада	209
7.2.3. Схема типа G	211
7.2.4. Схемы типа R или схемы с проходным сопротивлением	213
7.2.5. Усилители-повторители	215
7.2.6. Источник тока и активная нагрузка	217
7.2.7. Дифференциальные усилители	219
7.3. Соединение элементарных схем	222
7.3.1. Схема усилителя типа V	222
7.3.2. Схема усилителя тока	226
7.3.3. Каскодная схема	229
7.3.4. Двойная дифференциальная схема каскодной структуры, использующая каскодную конфигурацию	231
Глава 8. Обратная связь	233
8.1. Общие сведения	233
8.1.1. Составные элементы	233
8.1.2. Сигнальный граф	234
8.2. Отрицательная обратная связь	235
8.2.1. Принцип	235
8.2.2. Сложение сигналов	236
8.3. Четыре разновидности отрицательной обратной связи	239
8.3.1. Базовые схемы	239
8.3.2. Основные формулы	240
8.4. Четырехполюсники в цепи ОС	242
8.4.1. Преобразования четырехполюсников	242
8.4.2. Пассивные цепи	242
8.4.3. Цепь напряжение–ток	244
Глава 9. Операционные усилители	247
9.1. Характеристики при разомкнутой ОС и замкнутой ОС	247
9.1.1. Характеристики при разомкнутой петле ОС	247
9.1.2. Характеристики при замкнутой петле ОС	251

9.2. Схемы усилителей	253
9.2.1. Усилитель типа (R) и типа (V)	253
9.2.2. Активная проходная проводимость	255
9.2.3. Дифференциальная схема	256
9.2.4. Динамический режим при замкнутой петле ОС	257
9.3. Преобразователи импеданса	259
9.3.1. Преобразователи отрицательного импеданса NIC	259
9.3.2. Обобщенный преобразователь импеданса	260
9.3.3. Гиратор	261
9.4. Активные фильтры	265
9.4.1. Схема Рауха	265
9.4.2. Схема Саллена-Ки	267
9.4.3. Режекторный фильтр	268
9.4.4. Фазовый фильтр или фазовращатель	268
9.4.5. Корректирующие фильтры и интеграторы	270
9.5. Стандарты	271
9.5.1. Стандарты NF C	271
9.5.2. Сравнительные характеристики некоторых ОУ	272
9.5.3. Назначение выводов и типы корпусов	273
9.6. Характеристики ОУ при высоком уровне сигнала	273
9.6.1. Измерительная схема	273
9.6.2. Измеряемые параметры	274
9.6.3. Микромощные ОУ	275
Глава 10. Пороговые устройства	276
10.1. Основные разновидности	276
10.2. Симметричный ограничитель	277
10.2.1. Характеристики. Ограничитель с выходным током	277
10.2.2. Схемы пороговых устройств	278
10.3. Компаратор	280
10.3.1. Принципиальные схемы компараторов	280
10.3.2. Характеристики и разновидности компараторов	281
10.3.3. Применение	282
10.4. Соединение операционных усилителей и диодов	283
10.4.1. Использование отрицательного проходного сопротивления	283
10.4.2. Идеальный выпрямитель	284
10.4.3. Пиковый детектор	284
Глава 11. Умножители и потенцирующие схемы	286
11.1. Основные характеристики	286
11.1.1. Разновидности умножителей	286
11.1.2. Схемы умножителей	287

11.2. Применение умножителей. Модуляторы и смесители	288
11.2.1. Модулятор Motorola MC-1496-B	288
11.2.2. Аналоговая амплитудная модуляция	290
11.2.3. Смеситель	291
11.2.4. Угловая модуляция	292
11.3. Детекторы	294
11.3.1. Амплитудные детекторы	294
11.3.2. Фазовый детектор	295
11.3.3. Частотный дискриминатор	296
11.4. Использование умножителей в аналоговых ЭВМ	297
11.4.1. Обратная функция	297
11.4.2. Вычисление квадратного корня	297
11.4.3. Деление	298
11.5. Автоматическая регулировка усиления	298
11.5.1. Схема	298
11.5.2. Математическая модель схемы АРУ	299
11.5.3. Использование дифференциальных схем	300
Глава 12. Генераторы сигналов	301
12.1. Общие сведения и базовая схема	301
12.1.1. Основные характеристики	301
12.1.2. Метод первой гармоники	301
12.1.3. Схема с положительной обратной связью	302
12.1.4. Генератор на элементе с отрицательным сопротивлением	303
12.2. Схемы генераторов с резистивно-емкостными связями	304
12.2.1. Генератор с мостом Вина	304
12.2.2. Генератор с фазосдвигающей цепью обратной связи	306
12.3. Схемы генераторов с индуктивно-емкостными связями	306
12.3.1. Схемы Колпитца и Хартли	306
12.3.2. Схема Клаппа	306
12.4. Генератор, управляемый напряжением	307
12.5. Пример микросхемы для генератора, управляемого напряжением	308
Глава 13. Реле постоянного тока и аналоговые ключи	310
13.1. Реле постоянного тока на биполярных транзисторах	310
13.1.1. Режим насыщения	310
13.1.2. Запуск по току и по напряжению	311
13.1.3. Логическая схема	312
13.1.4. Включение светового индикатора	313
13.1.5. Включение напряжения	313

13.2. Аналоговые ключи на полевых транзисторах	314
13.2.1. Переключатель на полевом плоскостном транзисторе	314
13.2.2. Переключатель на полевом МОП транзисторе	315
13.2.3. Мультиплексор на МОП транзисторе. Мультиплексирование по напряжению	315
13.2.4. Мультиплексирование по току	316
13.2.5. Схема «выборки-хранения»	317

Глава 14. Силовая электроника, стабилизаторы напряжения, усилители мощности

14.1. Стабилизатор напряжения	318
14.1.1. Общие сведения	318
14.1.2. Основные характеристики	318
14.1.3. Основные параметры	320
14.1.4. Принципиальная схема	320
14.1.5. Стандарты	324
14.2. Усилители мощности	326
14.2.1. Классы усиления	326
14.2.2. Полезная мощность и КПД	327
14.2.3. Оптимальный КПД	328
14.2.4. НЧ усилители мощности класса В	329
14.2.5. Схема класса В на операционном усилителе	331
14.2.6. Рассеиваемая мощность	332

Глава 15. Транзисторы на арсениде галлия. Применение в области СВЧ

15.1. Введение	333
15.2. Линии передачи	333
15.2.1. Основные параметры	333
15.2.2. Коэффициенты отражения	335
15.2.3. Матрица распределения	336
15.2.4. Усиление по мощности активного четырехполюсника	337
15.2.5. Стабильность	338
15.2.6. Соотношения между параметрами S_{ij} и y_{ij}	339
15.3. GaAs-транзисторы	339
15.3.1. Полевой транзистор с барьером Шотки: основные сведения	339
15.3.2. MESFET. Статические характеристики	340
15.3.3. Упрощенная эквивалентная схема	341
15.3.4. Усиление по мощности	342
15.3.5. Согласование	343
15.3.6. Усилитель с распределенным усилением	345
15.3.7. Коэффициент шума	346

15.4. Различные типы и характеристики полевых транзисторов	347
15.4.1. TEGFET и его разновидности	347
15.4.2. Примеры СВЧ транзисторов	348
15.5. Литература	350
Глава 16. Элементы логических схем	351
16.1. Комбинационные логические схемы	351
16.1.1. Основные определения. Булева алгебра	351
16.1.2. Основные логические операции	352
16.1.3. Дополнительные логические операции	352
16.1.4. Операция Исключающее ИЛИ	353
16.1.5. Специальные логические элементы	353
16.2. Последовательностные логические схемы	355
16.2.1. Определения	355
16.2.2. Логический ключ. Элементарная бистабильная ячейка	355
16.2.3. Последовательностные логические микросхемы	356
16.2.4. Запоминающие устройства	360
16.3. Логические семейства	361
16.3.1. Статические параметры	361
16.3.2. Динамические параметры	362
16.3.3. Стандарты	364
16.3.4. Логические микросхемы для коммерческого использования	364
Глава 17. Введение в цифровую обработку сигналов	367
17.1. Представление числовой информации и основные операции	367
17.1.1. Системы счисления	367
17.1.2. Сложение двоичных чисел	368
17.1.3. Вычитание двоичных чисел	368
17.2. Методы кодирования чисел	369
17.2.1. Двоичные коды	369
17.2.2. Двоично-десятичный код	369
17.2.3. Код DCB с избытком 3	369
17.2.4. Десятичные сбалансированные самодополняющиеся коды	369
17.2.5. Циклические коды. Код Грея	369
17.2.6. Код ASCII	370
17.2.7. Помехоустойчивые коды с обнаружением ошибок	370
3. Синтез комбинационных логических схем	371
17.3.1. Нахождение аналитического вида функции	371
17.3.2. Упрощение логических выражений	371

17.3.3. Логическая схема	373
17.3.4. Двоично-десятичные кодеры и декодеры	374
17.4. Последовательностные логические схемы	375
17.4.1. Регистры	375
17.4.2. Сдвиговый регистр	376
17.4.3. Счетчик по модулю n или делитель частоты	377
17.4.4. Реверсивный счетчик	378
17.4.5. Применение счетчиков	379
17.5. Аналого-цифровое преобразование	380
17.5.1. Синхронизация	380
17.5.2. АЦП последовательного приближения	381
17.5.3. Параллельный преобразователь	381
17.5.4. Характеристики ЦАП и АЦП	382
17.6. Специализированные СБИС	383
17.6.1. Общие сведения	383
17.6.2. FPGA фирмы XILINX	383
17.6.3. Функциональное описание схемы FPGA семейства 4 000	385
17.7. Микропроцессор и микроконтроллер	386
17.7.1. Электронно-вычислительная машина	386
17.7.2. Микропроцессор	393
17.7.3. Микроконтроллеры	396
17.7.4. Процессоры цифровой обработки сигналов	397
17.8. Литература	398
Приложения	399
Примеры корпусов	399
Цилиндрический корпус	399
Плоский корпус	399
Безвыводный корпус	400
Выдержка из документа 60748–5.	
Полупроводниковые устройства – интегральные схемы	400
Основные стандарты	402
Условные обозначения и терминология	402
Предметный указатель	404

15.4. Различные типы и характеристики полевых транзисторов	347
15.4.1. TEGFET и его разновидности	347
15.4.2. Примеры СВЧ транзисторов	348
15.5. Литература	350
Глава 16. Элементы логических схем	351
16.1. Комбинационные логические схемы	351
16.1.1. Основные определения. Булева алгебра	351
16.1.2. Основные логические операции	352
16.1.3. Дополнительные логические операции	352
16.1.4. Операция Исключающее ИЛИ	353
16.1.5. Специальные логические элементы	353
16.2. Последовательностные логические схемы	355
16.2.1. Определения	355
16.2.2. Логический ключ. Элементарная бистабильная ячейка	355
16.2.3. Последовательностные логические микросхемы	356
16.2.4. Запоминающие устройства	360
16.3. Логические семейства	361
16.3.1. Статические параметры	361
16.3.2. Динамические параметры	362
16.3.3. Стандарты	364
16.3.4. Логические микросхемы для коммерческого использования	364
Глава 17. Введение в цифровую обработку сигналов	367
17.1. Представление числовой информации и основные операции	367
17.1.1. Системы счисления	367
17.1.2. Сложение двоичных чисел	368
17.1.3. Вычитание двоичных чисел	368
17.2. Методы кодирования чисел	369
17.2.1. Двоичные коды	369
17.2.2. Двоично-десятичный код	369
17.2.3. Код DCB с избытком 3	369
17.2.4. Десятичные сбалансированные самодополняющиеся коды	369
17.2.5. Циклические коды. Код Грея	369
17.2.6. Код ASCII	370
17.2.7. Помехоустойчивые коды с обнаружением ошибок	370
17.3. Синтез комбинационных логических схем	371
17.3.1. Нахождение аналитического вида функции	371
17.3.2. Упрощение логических выражений	371