

УДК 53(035)

ББК 22.3я2

Б48

**Бёрд Дж.**

**Б48** Физика. От теории к практике. В 2 кн. Кн. 2: Электричество, магнетизм. Теория, методы расчета, практические устройства: Карманный справочник/Пер. с англ. — М.: ДМК Пресс». — 560 с.: ил. (Серия «Карманный справочник»)

ISBN 978-5-97060-684-1

В популярном справочнике «Физика. От теории к практике» (перевод британского справочника «Newnes Engineering Science», выдержавшего три издания) представлены методы, формулы, диаграммы и справочные данные основных разделов физики.

Для удобства читателей в русском варианте справочник издаётся в двух книгах. Первая содержит сведения по механике (с элементами сопротивления материалов, деталей машин и механизмов), оптике, термо- и гидродинамике. Вторая посвящена электричеству и магнетизму (с элементами электротехники, электроники и радиотехники). Справочник уникален, его характерной особенностью является нечасто встречающееся в популярной отечественной литературе сочетание теоретических положений с их практическим применением.

Вторая книга справочника насыщена описаниями электротехнических устройств — от элементарных конденсаторов, электромеханических реле и электрических звонков до мощных электродвигателей и электрогенераторов. Уделено внимание устройству полупроводниковых приборов и расчетам схем, содержащих такие приборы. Подробно изложены методы расчетов электрических схем постоянного и переменного тока, в том числе с привлечением комплексных чисел. Не забыты принципы работы и применение операционных усилителей, цифро-аналоговых и аналого-цифровых преобразователей. Кратко рассмотрены способы передачи и особенности прохождения электрических сигналов по каналам связи.

Справочник адресован широкому кругу читателей — студентам, учащимся технических колледжей, инженерам и всем, интересующимся техникой. Он особенно полезен практикам, желающим повысить уровень теоретических знаний, а также позволяет в необходимых случаях освежить свой научный багаж и вспомнить полузабытые формулы.

УДК 53(035)

ББК 22.3я2

Все права защищены. Никакая часть этого издания не может быть воспроизведена в любой форме или любыми средствами, электронными или механическими, включая фотографирование, ксерокопирование или иные средства копирования или сохранения информации, без письменного разрешения издательства.

This edition of Newnes Engineering Science Pocket Book by John Bird is published by arrangement with Elsevier Ltd, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, OX5 1GB, England.

© John Bird

ISBN 0-7506-4991-7 (англ.)

© Перевод, макет, Додэка-XXI

ISBN 978-5-97060-684-1 (рус.)

© Издание, ДМК Пресс, 2019

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Часть третья. ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ И МАГНИТОВ К ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРАМ, ТРАНЗИСТОРАМ И КАНАЛАМ СВЯЗИ .....</b>	<b>19</b>
<b>40. Введение в электрические цепи.....</b>	<b>20</b>
Символьные обозначения электрических компонентов .....	20
Блок-схемы электрических/электронных систем .....	20
Электрический ток и количество электричества .....	22
Электрический потенциал и ЭДС .....	23
Сопротивление и проводимость.....	24
Основные электроизмерительные приборы .....	25
Линейные и нелинейные компоненты электрических схем ....	25
Закон Ома .....	26
Множители и делители .....	27
Проводники и изоляторы .....	27
Электрическая мощность .....	28
Электроэнергия .....	28
Основные эффекты электрического тока .....	29
Предохранители .....	29
<b>41. Электрическое сопротивление материалов.....</b>	<b>31</b>
Сопротивление и удельное сопротивление.....	31
Температурный коэффициент сопротивления .....	32
Цветовое кодирование резисторов и их омические значения .....	34
Цветовой код для постоянных резисторов .....	34
Буквенный и цифровой код для резисторов .....	35
<b>42. Химические эффекты электричества .....</b>	<b>36</b>
Электролиз .....	36
Электролитическое осаждение .....	36
Гальванический элемент .....	37
Поляризация.....	38
Саморазряд .....	38
Свойства электродных пар.....	38
Коррозия.....	39
ЭДС и внутреннее сопротивление гальванического элемента. ....	39
Первичные элементы .....	41
Элемент Лекланше .....	42
Ртутный элемент.....	42

Вторичные элементы.....	42
Кислотный аккумулятор .....	43
Щелочной аккумулятор .....	44
Ёмкость гальванического элемента .....	45
<b>43. Последовательные и параллельные цепи .....</b>	<b>47</b>
Последовательные цепи .....	47
Делитель напряжения .....	48
Параллельные цепи .....	49
Распределение тока .....	50
Лампы накаливания в последовательном и параллельном включении .....	52
Последовательное соединение.....	52
Параллельное соединение.....	53
<b>44. Ёмкость и конденсаторы .....</b>	<b>54</b>
Электростатическое поле .....	54
Напряжённость электрического поля .....	55
Ёмкость.....	56
Конденсаторы.....	57
Плотность электрического потока .....	57
Диэлектрическая проницаемость .....	58
Плоский конденсатор .....	59
Последовательно и параллельно соединённые конденсаторы .....	60
Конденсаторы, соединённые параллельно .....	60
Конденсаторы, соединённые последовательно .....	62
Электрическая прочность .....	64
Энергия заряженного конденсатора.....	65
Конструкции конденсаторов .....	65
Разрядка конденсаторов.....	68
<b>45. Магнитные цепи .....</b>	<b>69</b>
Магнитные поля .....	69
Магнитный поток и плотность потока .....	70
Магнитодвижущая сила и напряжённость магнитного поля ...	71
Магнитная проницаемость и кривые намагничивания.....	72
Магнитное сопротивление.....	74
Комбинированные последовательные магнитные цепи .....	74
Аналогия между электрическими и магнитными величинами .....	75
Гистерезис и потери на гистерезис .....	75
Гистерезисная петля .....	75
Потери на гистерезис .....	76
Потери на вихревые токи .....	79
Графический метод определения потерь на гистерезис и вихревые токи .....	81

<b>46. Магнитные материалы.....</b>	<b>83</b>
Магнитные свойства материалов .....	83
Диамагнетизм и парамагнетизм.....	83
Ферромагнетизм и ферромагнитные материалы .....	84
Непостоянные магнитные материалы.....	86
Сплав кремний—железо.....	86
Железоникелевый сплав .....	88
Порошковый сердечник.....	88
Ферриты.....	89
Постоянные магнитные материалы .....	89
<b>47. Электромагнетизм .....</b>	<b>91</b>
Магнитное поле электрического тока .....	91
Электромагниты.....	93
Электрический звонок .....	94
Реле .....	94
Подъёмные магниты .....	95
Телефонный аппарат .....	96
Проводник с током в магнитном поле .....	96
Сила, действующая на проводник .....	96
Громкоговоритель.....	97
Правило левой руки .....	98
Принцип работы простейшего электродвигателя постоянного тока.....	99
Принцип работы магнитоэлектрических измерительных приборов.....	100
Сила, действующая на заряд.....	101
<b>48. Электромагнитная индукция и индуктивность.....</b>	<b>103</b>
Электромагнитная индукция.....	103
Законы электромагнитной индукции .....	104
Индуктивность .....	106
Катушки индуктивности.....	107
Энергия, запасённая катушкой индуктивности .....	108
Индуктивность катушки .....	109
<b>49. Магнитосвязанные контуры .....</b>	<b>110</b>
Взаимная индуктивность .....	110
Коэффициент связи .....	111
Катушки индуктивности, соединённые последовательно .....	112
Связанные контуры.....	113
Вторичная обмотка без нагрузки .....	114
Вторичная обмотка с нагрузкой.....	115
Резонанс с подстроечным конденсатором .....	117
Правило точки для связанных контуров .....	118

<b>50. Электрические измерительные приборы и измерения</b> .....	121
Аналоговые измерительные приборы .....	121
Электромагнитные измерительные приборы.....	122
Выпрямительные детекторные приборы.....	123
Магнитоэлектрические измерительные приборы.....	123
Сравнение измерительных приборов .....	124
Шунтирующие и балластные резисторы .....	125
Электронные измерительные приборы.....	126
Омметр .....	127
Универсальные измерительные приборы.....	128
Ваттметры .....	128
Эффект «нагрузки» .....	129
Электронно-лучевой осциллограф .....	129
Децибелы (отношения логарифмов) .....	132
Нулевой метод измерений .....	134
Мост сопротивлений Уитстона.....	135
Потенциометр постоянного тока .....	135
Куметр (измеритель добротности).....	136
Ошибки измерений .....	137
Ошибки в пределах применимости прибора.....	137
Ошибки оператора.....	137
Ошибки из-за вносящего помехи измерительного прибора .....	138
<b>51. Полупроводниковые диоды</b> .....	139
Проводники, полупроводники, изоляторы.....	139
Кремний и германий.....	140
Материалы <i>n</i> - и <i>p</i> -типа .....	140
<i>p-n</i> -переход .....	141
Прямое и обратное смещение.....	143
Полупроводниковые диоды .....	145
Выпрямитель переменного тока .....	146
<b>52. Транзисторы</b> .....	148
Биполярный транзистор .....	148
Принцип работы транзистора.....	150
Обозначения транзисторов в схемах .....	152
Схемы включения транзисторов.....	152
Рабочие характеристики транзисторов .....	153
Схема с общей базой.....	153
Схема с общим эмиттером .....	154
Методика получения характеристик транзистора .....	155
Транзистор как усилитель .....	156
Усилитель с общей базой.....	156

Усилитель с общим эмиттером.....	157
Линия нагрузки .....	160
Коэффициенты усиления по току и напряжению .....	163
Тепловой проб'ой и способы его предотвращения .....	164
Способ первый .....	165
Способ второй .....	166
<b>53. Теория цепей постоянного тока.....</b>	<b>167</b>
Введение .....	167
Законы Кирхгофа .....	167
Принцип суперпозиции .....	170
Предварительный анализ цепей постоянного тока .....	172
Теорема Тевенина—Гельмгольца.....	176
Генератор неизменяющегося постоянного тока .....	178
Теорема Нортона .....	179
Эквивалентные схемы Тевенина и Нортона .....	180
Теорема о максимуме отдаваемой мощности.....	182
<b>54. Переменный ток и напряжение переменного тока.....</b>	<b>184</b>
Введение .....	184
Генератор переменного тока .....	184
Форма сигналов переменного тока .....	185
Величины переменного тока .....	186
Уравнение гармонической волны.....	189
Сложение и вычитание синусоидальных величин.....	191
Выпрямление переменного тока .....	193
<b>55. Однофазные последовательные цепи переменного тока .....</b>	<b>194</b>
Цепь переменного тока с чисто активным сопротивлением .....	194
Цепь переменного тока с чисто индуктивным сопротивлением .....	194
Цепь переменного тока с чисто ёмкостным сопротивлением .....	195
Последовательные $R$ - $L$ цепи переменного тока .....	196
Последовательные $R$ - $C$ цепи переменного тока .....	198
Последовательные $R$ - $L$ - $C$ цепи переменного тока.....	200
Последовательно соединённые импедансы .....	201
Резонанс последовательного контура.....	202
Добротность.....	204
Полоса частот .....	205
Избирательность резонансного контура .....	206
Мощность цепей переменного тока .....	206
Треугольник мощностей и коэффициент мощности.....	208
<b>56. Однофазные параллельные цепи переменного тока .....</b>	<b>210</b>
Введение .....	210

$R$ - $L$ параллельная цепь переменного тока .....	210
$R$ - $C$ параллельная цепь переменного тока.....	212
$L$ - $C$ параллельная цепь .....	213
$L$ - $R$ - $C$ параллельная цепь переменного тока.....	214
Параллельный резонанс и добротность .....	218
Параллельный резонанс .....	218
Резонансная частота .....	218
Резонансное сопротивление .....	219
Заграждающий фильтр .....	219
Добротность.....	219
<b>57. Переходные процессы в цепях постоянного тока .....</b>	<b>221</b>
Введение .....	221
Зарядка конденсатора .....	221
Постоянная времени для $R$ - $C$ цепи.....	223
Кривые переходного процесса $R$ - $C$ цепи.....	223
Разрядка конденсатора.....	226
Рост силы тока в $L$ - $R$ цепи .....	228
Постоянная времени $L$ - $R$ цепи .....	230
Кривые переходного процесса $L$ - $R$ цепи.....	230
Спад тока в $L$ - $R$ цепи.....	231
Переключаемые индуктивные цепи .....	233
Влияние постоянной времени на сигнал прямоугольной формы .....	234
Интегрирующая цепь .....	234
Дифференцирующая цепь.....	235
<b>58. Операционные усилители.....</b>	<b>236</b>
Введение .....	236
Передающая характеристика .....	237
Отрицательная обратная связь.....	238
Ширина полосы частот .....	238
Некоторые параметры ОУ.....	239
Входной ток .....	239
Разность входных токов .....	239
Входное напряжение смещения.....	239
Коэффициент ослабления синфазного сигнала .....	239
Скорость нарастания выходного напряжения .....	240
ОУ в качестве инвертирующего усилителя.....	240
Коэффициент усиления .....	241
Входной импеданс .....	242
ОУ в качестве неинвертирующего усилителя .....	243
Коэффициент усиления .....	243
Входной импеданс .....	244
ОУ в качестве повторителя напряжения .....	244

ОУ в качестве сумматора .....	245
ОУ в качестве компаратора напряжений .....	247
Светочувствительная схема сигнализации .....	248
ОУ в качестве интегратора .....	249
ОУ в качестве дифференциального усилителя .....	251
Цифро-аналоговое преобразование .....	252
Аналогово-цифровое преобразование .....	255
<b>59. Трёхфазные системы</b> .....	257
Введение .....	257
Трёхфазные источники тока .....	257
Соединение звездой .....	259
Соединение треугольником .....	261
Соединение звездой .....	264
Соединение треугольником .....	264
Мощность в трёхфазных системах .....	263
Измерение мощности в трёхфазных системах .....	265
Метод с одним ваттметром для симметричной нагрузки .....	265
Метод с двумя ваттметрами для симметричных и несимметричных нагрузок .....	265
Метод с тремя ваттметрами для трёхфазной четырёхпроводной системы для симметричной и несимметричной нагрузки .....	266
Сравнение соединений нагрузок звездой и треугольником .....	267
Преимущества трёхфазных систем .....	267
<b>60. Трансформаторы</b> .....	268
Введение .....	268
Принцип работы трансформатора .....	268
Векторная диаграмма ненагруженного трансформатора .....	270
Уравнение ЭДС трансформатора .....	271
Векторная диаграмма трансформатора под нагрузкой .....	272
Конструкции трансформаторов .....	273
Эквивалентная схема трансформатора .....	274
Изменение выходного напряжения трансформатора .....	276
Потери и коэффициент полезного действия трансформаторов .....	277
Потери мощности в трансформаторах .....	277
Коэффициент полезного действия трансформатора .....	278
Максимальный коэффициент полезного действия .....	279
Согласование сопротивлений источника питания и нагрузки .....	279
Автотрансформаторы .....	280
Экономия меди при изготовлении автотрансформаторов .....	282
Преимущества автотрансформаторов .....	282



Недостатки автотрансформаторов.....	282
Применение автотрансформаторов.....	283
Изолирующие трансформаторы .....	283
Трёхфазные трансформаторы .....	283
Токовые трансформаторы .....	284
Трансформаторы напряжения .....	286
<b>61. Машины постоянного тока .....</b>	<b>287</b>
Введение .....	287
Механическое действие электрического тока.....	287
Устройство машины постоянного тока .....	289
Параллельные, последовательные и смешанные обмотки.....	290
ЭДС, генерируемая обмотками якоря .....	291
Генераторы постоянного тока .....	292
Типы генераторов постоянного тока и их характеристики.....	292
Генератор с независимым возбуждением .....	292
Генератор параллельного возбуждения.....	293
Генератор последовательного возбуждения.....	295
Генератор смешанного возбуждения .....	296
Потери мощности в машинах постоянного тока .....	298
Коэффициент полезного действия генератора постоянного тока.....	298
Электродвигатель постоянного тока .....	300
Противо-ЭДС и полная электрическая мощность .....	300
Вращающий момент электродвигателя .....	301
Типы электродвигателей и их характеристики.....	302
Электродвигатель параллельного возбуждения .....	302
Электродвигатель последовательного возбуждения .....	304
Электродвигатель смешанного возбуждения .....	306
Коэффициент полезного действия электродвигателей постоянного тока .....	308
Стартёр электродвигателя постоянного тока .....	309
Управление скоростью электродвигателя постоянного тока.....	310
Электродвигатель с параллельным возбуждением.....	310
Электродвигатель с последовательным возбуждением.....	311
Охлаждение электродвигателя.....	312
<b>62. Электродвигатели переменного тока.....</b>	<b>313</b>
Введение .....	313
Создание вращающегося магнитного поля.....	313
Скорость синхронизации.....	316
Устройство трёхфазного асинхронного двигателя .....	318
Принцип работы трёхфазного асимметричного двигателя ....	319

Скольжение .....	320
ЭДС и частота вращения ротора.....	321
ЭДС ротора .....	321
Частота ротора .....	321
Импеданс и ток ротора.....	322
Активное сопротивление ротора .....	322
Реактивное сопротивление ротора .....	322
Импеданс ротора .....	322
Ток ротора .....	323
Потери на медь .....	323
Потери асинхронного двигателя и коэффициент полезного действия .....	324
Уравнение вращающего момента для асинхронного двигателя.....	326
Характеристики «вращающий момент/скорость» .....	327
Методы запуска асинхронных двигателей .....	329
Короткозамкнутый ротор .....	329
Фазный ротор .....	331
Достоинства асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором .....	331
Достоинства асинхронных двигателей с фазным ротором.....	332
Двухклеточный асинхронный двигатель.....	332
Применение трехфазных асинхронных двигателей.....	333
Однофазный асинхронный двигатель .....	333
Трёхфазный синхронный двигатель .....	333
Однофазные синхронные двигатели .....	334
<b>63. Комплексные числа и операции над ними .....</b>	<b>335</b>
Понятие комплексных чисел.....	335
Операции с использованием декартовых комплексных чисел .....	337
Сложение и вычитание .....	337
Умножение.....	337
Сопряжённые комплексные числа .....	338
Деление .....	338
Комплексные уравнения .....	339
Комплексное число в тригонометрической форме .....	339
Умножение и деление комплексных чисел в тригонометрической форме .....	341
Умножение.....	341
Деление .....	341
Возведение в степень комплексных чисел и извлечение корней из них (теорема Муавра).....	342

<b>64. Анализ последовательных цепей переменного тока с применением комплексных чисел</b> .....	344
Введение .....	344
Цепь переменного тока с чисто активным сопротивлением.....	344
Чисто индуктивная цепь переменного тока.....	345
Чисто ёмкостная цепь переменного тока.....	345
<i>R-L</i> последовательная цепь.....	346
<i>R-C</i> последовательная цепь.....	348
<i>R-L-C</i> последовательная цепь.....	350
<b>65. Анализ параллельных цепей переменного тока с применением комплексных чисел</b> .....	353
Введение .....	353
Проводимость активная, реактивная и полная.....	353
Параллельные цепи переменного тока.....	354
Распределение тока в цепях переменного тока.....	356
<b>66. Мощность и коэффициент мощности в цепях переменного тока</b> .....	360
Мощность в цепях переменного тока.....	360
Треугольник мощностей и коэффициент мощности.....	362
Определение мощности с применением комплексных чисел.....	364
Увеличение коэффициента мощности.....	365
<b>67. Мосты переменного тока</b> .....	369
Введение .....	369
Состояние равновесия в измерительных мостах переменного тока .....	369
Процедура определения уравнений равновесия для любого моста переменного тока.....	371
Типы индикаторов.....	371
Разновидности мостовых схем переменного тока .....	372
Простой мост Максвелла .....	372
Мост Хэя .....	374
Мост Оуэна .....	375
Мост Максвелла—Вина.....	375
Мост Саути.....	376
Мост Шеринга .....	376
Мост Вина.....	377
<b>68. Последовательный резонанс и добротность</b> .....	379
Введение .....	379
Последовательный резонанс.....	379
Добротность.....	382
Повышение напряжения.....	386
Добротность компонентов последовательной цепи и полная добротность .....	388

Ширина полосы частот .....	388
Избирательность .....	390
Небольшие отклонения от резонансной частоты .....	392
<b>69. Параллельный резонанс и добротность .....</b>	<b>395</b>
Общие понятия о параллельном резонансе .....	395
Параллельная $L$ - $R$ - $C$ цепь .....	397
Динамическое сопротивление .....	399
Добротность параллельной $R$ - $L$ - $C$ цепи .....	399
Частота свободных колебаний и резонансная частота вынужденных колебаний .....	401
Параллельная $LR$ - $CR$ цепь .....	402
Добротность компонентов параллельной цепи и полная добротность .....	404
Небольшие отклонения от резонансной частоты .....	404
<b>70. Анализ цепей с помощью определителей .....</b>	<b>406</b>
Введение .....	406
Решение систем уравнений с помощью определителей .....	407
Система уравнений с двумя неизвестными .....	407
Система уравнений с тремя неизвестными .....	408
Применение законов Кирхгофа к теории цепей .....	410
<b>71. Анализ цепей методами контурных токов и узловых потенциалов .....</b>	<b>415</b>
Метод контурных токов .....	415
Метод узловых потенциалов .....	417
<b>72. Принцип суперпозиции .....</b>	<b>422</b>
Введение .....	422
Применение принципа суперпозиции для цепи постоянного тока .....	422
Применение принципа суперпозиции для цепи переменного тока .....	425
<b>73. Теорема Тевенина и теорема Нортонa .....</b>	<b>429</b>
Введение .....	429
Теорема Тевенина .....	429
Теорема Нортонa .....	434
Эквивалентность цепей Тевенина и Нортонa .....	438
<b>74. Преобразования «треугольник—звезда» и «звезда—треугольник» .....</b>	<b>442</b>
Введение .....	442
Соединения «треугольник» и «звезда» .....	442
Преобразование «треугольник—звезда» .....	443
Преобразование «звезда—треугольник» .....	446
<b>75. Теоремы о максимуме отдаваемой мощности и согласование импедансов .....</b>	<b>449</b>
Теоремы о максимуме отдаваемой мощности .....	449

Согласование импедансов .....	452
<b>76. Периодические сигналы сложной формы .....</b>	<b>456</b>
Введение .....	456
Основное уравнение периодических сигналов сложной формы .....	457
Гармонический синтез.....	458
Действующее и среднее значения величин и коэффициент формы сложного сигнала .....	460
Действующее значение величин .....	460
Среднее значение .....	460
Коэффициент формы .....	461
Мощность периодического сложного сигнала .....	461
Коэффициент мощности .....	462
Гармоники в однофазной цепи .....	463
«Чистое» сопротивление .....	464
«Чистая» индуктивность.....	464
«Чистая» ёмкость .....	465
Селективный резонанс.....	468
Источники гармоник .....	470
<b>77. Численные методы гармонического анализа .....</b>	<b>477</b>
Введение .....	477
Гармонический анализ на основе данных, представленных в виде таблицы или графика .....	477
Оценка сложных сигналов .....	483
<b>78. Диэлектрики и диэлектрические потери .....</b>	<b>484</b>
Электрические поля, ёмкость и диэлектрическая проницаемость .....	484
Поляризация.....	485
Электрическая прочность диэлектрика.....	486
Тепловые эффекты .....	489
Механические свойства .....	489
Типы конденсаторов, применяемых на практике.....	489
Жидкие диэлектрики и газовая изоляция .....	490
Диэлектрические потери и угол потерь.....	490
Последовательное соединение.....	490
Параллельное соединение.....	492
Потери мощности.....	493
<b>79. Эффекты электрического поля в электротехнических устройствах .....</b>	<b>495</b>
Введение .....	495
Ёмкость между концентрическими цилиндрами.....	496
Напряжённость электрического поля в диэлектрике .....	498
Размеры самого экономичного кабеля .....	499

Ёмкость изолированной двухпроводной линии .....	500
Энергия, накопленная в электрическом поле.....	500
Скин-эффект.....	501
Индуктивность концентрического цилиндра (или коаксиального кабеля).....	502
Индуктивность изолированной двухпроводной линии .....	502
Энергия, накопленная в магнитном поле .....	503
<b>80. Атенюаторы.....</b>	<b>504</b>
Введение .....	504
Четырёхполюсники .....	504
Характеристический импеданс.....	505
Логарифм отношения двух мощностей .....	505
Симметричный $T$ -образный аттенюатор .....	507
Расчёт симметричного $T$ -образного аттенюатора.....	507
Симметричный $\pi$ -образный аттенюатор.....	508
Расчёт симметричного $\pi$ -образного аттенюатора .....	509
Вносимые потери .....	510
Асимметричные $T$ - и $\pi$ -образные аттенюаторы.....	512
$G$ -образный аттенюатор.....	516
Каскадное соединение четырёхполюсников .....	516
<b>81. Фильтры .....</b>	<b>519</b>
Введение .....	519
Фильтры нижних частот.....	519
Фильтры верхних частот .....	521
Полосовые фильтры .....	523
Заграждающие фильтры.....	524
<b>82. Модуляция.....</b>	<b>526</b>
Введение .....	526
Амплитудная модуляция.....	526
Частотная модуляция .....	527
Девияция частоты, диапазон изменения частоты и модулирующий индекс .....	528
Фазовая модуляция .....	529
Импульсная модуляция .....	529
Импульсно-кодовая модуляция .....	530
<b>83. Двухпроводные линии связи (длинные линии).....</b>	<b>532</b>
Введение .....	532
Первичные параметры линий связи.....	532
Задержка по фазе, длина волны и скорость распространения .....	534
Задержка по фазе .....	535
Длина волны .....	535
Скорость распространения .....	536

---

Вторичные параметры линий связи .....	537
Связь характеристического импеданса и коэффициента распространения волны с первичными параметрами линии .....	538
Искажения в линиях связи .....	540
Отражение волны и коэффициент отражения .....	541
Энергия, связанная с распространяющейся волной.....	541
Коэффициент отражения.....	542
Стоячие волны и коэффициент стоячей волны .....	543
Коэффициент стоячей волны .....	548
<b>ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ .....</b>	<b>550</b>