

УДК 621.382
ББК 32.852
Д92

А

Дьяконов, Владимир Павлович.
Д92 Сверхскоростная твердотельная электроника. Т. 2 : Приборы специального назначения / В. П. Дьяконов. — 2-е изд., эл. — 1 файл pdf : 577 с. — Москва : ДМК Пресс, 2023. — Систем. требования: Adobe Reader XI либо Adobe Digital Editions 4.5 ; экран 10". — Текст : электронный.

ISBN 978-5-89818-391-2

Во втором томе описаны сверхскоростные и сверхширокополосные анализаторы спектра (в том числе цифровые, реального времени и с СВЧ в десятки-сотни гигагерц), сигналов (в том числе логических), цепей и последовательных шин. Описана интеграция приборов с системами компьютерной математики. Впервые описаны монолитные микросхемы субнано- и пикосекундного диапазона времен с рабочими частотами до 100 ГГц и техника контроля и тестирования сверхскоростных радиотехнических, электронных и электрофизических устройств. Описана работа с анализаторами спектра с трекинг-генератором. Рассмотрены устройства специального назначения: модуляторы лазерных диодов и светоизлучающих решеток, модули управления электронно-оптическими ячейками, многодоменные осциллографы смешанных сигналов, импульсные и оптические рефлектометры, анализаторы оптического спектра, подпочвенные радары, устройства сверхмощной импульсной электроники и энергетики.

Для широкого круга читателей.

УДК 621.382
ББК 32.852

Электронное издание на основе печатного издания: Сверхскоростная твердотельная электроника. Т. 2 : Приборы специального назначения / В. П. Дьяконов. — Москва : ДМК Пресс, 2013. — 576 с. — ISBN 978-5-94074-926-4. — Текст : непосредственный.

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.

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации.

ISBN 978-5-89818-391-2

© Дьяконов В. П., 2013
© Оформление, ДМК Пресс, 2013

А



▼ Глава 6

Аппаратура анализа спектра, сигналов и цепей	12
6.1. Принципы построения анализаторов спектра	12
6.1.1. Спектральное представление сигналов и процессов	12
6.1.2. Принципы построения гетеродинных анализаторов спектра	15
6.1.3. Основные типы детекторов в анализаторах спектра	18
6.1.4. Шум анализаторов спектра	20
6.1.5. Основные установки в анализаторах спектра	22
6.1.6. Гетеродинный анализатор спектра АКС-1100/1101	24
6.1.7. Функциональная схема современного цифрового анализатора спектра	27
6.1.8. Векторные цифровые анализаторы спектра	28
6.2. Серийные цифровые анализаторы спектра	29
6.2.1. Отечественные цифровые анализаторы спектра	29
6.2.2. Анализаторы спектра зарубежных фирм	34
6.3. Анализаторы спектра реального времени	46
6.3.1. Назначение анализаторов спектра реального времени	46
6.3.2. Функциональная схема и работа анализатора спектра реального времени	47
6.3.3. Цифровое преобразование сигналов в анализаторах спектра реального времени	51
6.3.4. Синхронизация анализаторов спектра реального времени	53
6.3.5. Основные способы представления результатов анализа	56
6.3.6. Серийные цифровые анализаторы спектра реального времени	61
6.3.7. Примеры работы с анализатором Tektronix RSA 6114A	68
6.4. Анализаторы сигналов и источников сигналов	78
6.4.1. Методы измерения фазового шума	78
6.4.2. Системы параметров для радиочастотных цепей	79
6.4.3. Измерительный приемник фирмы R&S FMSR	81
6.4.4. Анализатор источников сигналов фирмы R&S FSUP	82

6.4.5. Радиочастотные векторные анализаторы сигналов Keithley 2810/2820	83
6.4.6. Многопортовые векторные анализаторы цепей	85
6.5. Анализ телекоммуникационных сигналов	88
6.5.1. Требования к анализаторам телекоммуникационных сигналов.....	88
6.5.2. Анализаторы телекоммуникационных сигналов корпорации Tektronix	89
6.5.3. Анализаторы последовательностей реального времени SDA 18000/10000/9000 фирмы LeCroy	91
6.6. Осциллографы специального назначения	95
6.6.1. Обзор осциллографов корпорации Yokogawa	95
6.6.2. Осциллографы серии DL 9000	97
6.6.3. Осциллографы DLW/DL 6000 и DL 1720E и DL 1740E.....	99
6.6.4. Осциллографы DL 1620/1640.....	100
6.6.5. Осциллографы-регистраторы класса DL 750 Scope Corder	100
6.6.6. Осциллограф-регистратор DL 850.....	103
6.6.7. Осциллограф-регистратор SL 1400	105
6.6.8. Осциллограф-регистратор SL 1000	106
6.6.9. Осциллографы европейских фирм	107
6.7. Анализаторы спектра с трекинг-генератором.....	118
6.7.1. Что такое трекинг-генератор?.....	118
6.7.2. Включение трекинг-генератора, его калибровка и проведение измерений.....	122
6.7.3. Применение трекинг-генератора совместно с осциллографом.....	126
6.7.4. Измерение параметров коаксиальных компонентов и аттенюаторов	128
6.7.5. Тестирование активного осциллографического пробника	128
6.7.6. Снятие АЧХ полосового фильтра на резонансных контурах.....	131
6.7.7. Исследование кварцевых резонаторов различного типа	132
6.7.8. Ограничения при работе с трекинг-генератором.....	139

▼ Глава 7

Компьютеризированные лаборатории и их программное обеспечение.....

7.1. Стыковка цифровых измерительных приборов с компьютером	140
7.1.1. Основные типы внешних устройств для анализаторов.....	140
7.1.2. Порты для подключения измерительных приборов к компьютеру.....	141
7.2. Программное обеспечение измерительных приборов и систем.....	143
7.2.1. Основные виды программного обеспечения измерительных приборов и систем	143
7.2.2. Замена фирменного программного обеспечения.....	145
7.3. Подключение к компьютеру цифровых осциллографов.....	146

7.3.1. Подключение к компьютеру осциллографов.....	146
7.3.2. Общие возможности программы Open Choice Desktop.....	148
7.3.3. Выбор инструмента.....	149
7.3.4. Передача осциллограмм в память компьютера и в буфер.....	149
7.3.5. Считывание данных и установок осциллографа.....	150
7.3.6. Работа с установками Preferences	154
7.4. Программа NI SignalExpress Tektronix Edition	158
7.4.1. Назначение программы NI SignalExpress Tektronix Edition	158
7.4.2. Запуск программы NI SignalExpress Tektronix Edition.....	158
7.4.3. Основное окно программы NI SignalExpress Tektronix Edition.....	160
7.4.4. Работа с инструментами программы NI SignalExpress Tektronix Edition	160
7.5. Работа с программой ArbExpress	162
7.5.1. Назначение программы ArbExpress.....	162
7.5.2. Установка и запуск программы ArbExpress	163
7.5.3. Задание сигналов стандартных форм.....	164
7.5.4. Контроль и управление файлами	167
7.5.5. Задание сигналов, заданных математическими функциями	168
7.5.6. Примеры программирования сложных сигналов	170
7.5.7. Задание сигналов заданной графической формы	173
7.5.8. Задание сигналов по их реальным осциллограммам	175
7.6. Работа измерительных приборов с системой MATLAB.....	180
7.6.1. Назначение матричной системы MATLAB.....	180
7.6.2. Подготовка к стыковке осциллографов с системой MATLAB	181
7.6.3. MATLAB-программы для работы с цифровыми осциллографами.....	183
7.6.4. Спектральный анализ осциллограмм в MATLAB.....	188
7.6.5. Построение спектрограмм осциллограмм в MATLAB.....	192
7.7. Управление генераторами произвольных сигналов от системы MATLAB....	195
7.7.1. От множества генераторов к одному генератору произвольных сигналов.....	195
7.7.2. Системы компьютерной математики для работы с генераторами произвольных сигналов.....	196
7.7.3. Управление генераторами серии AFG3000 от матричной системы MATLAB	196
7.7.4. Применение системы MATLAB при совместной работе генератора и цифрового осциллографа	200
7.8. Программа R&S FreRes для снятия и измерения частотных характеристик	203
7.8.1. Назначение программы FreRes фирмы R&S	203
7.8.2. Окно и основное меню программы FreRes	204
7.8.3. Windows-меню программы FreRes	205
7.8.4. Выбор типа устройств.....	205
7.8.5. Выбор параметров свипирования	206

7.9. Цифровые измерительные приборы как системы компьютерной математики	207
7.9.1. Интеграция цифровых измерительных приборов	207
7.9.2. Многодоменный цифровой осциллограф и анализатор спектра радиочастот MDO4000 корпорации Tektronix	209
7.9.3. MDO4000 в роли цифрового осциллографа	215
7.9.4. MDO4000 в роли анализатора спектра	216
7.9.5. Различные типы окон	223
7.9.6. Возможность построения спектрограмм	226
7.9.7. Просмотр спектра каналов в многоканальных системах	227
7.9.8. Применение шумоподавления	228
7.10. Вейвлеты в осциллографии	229
7.10.1. Вейвлет анализ сложного сигнала	229
7.10.2. Средства GUI для работы с вейвлетами	232
7.10.3. Вейвлет-очистка сигнала от шума и компрессия сигнала	233
7.10.4. Очистка сигналов с помощью пакетных вейвлетов	236
7.10.5. Скейлингграммы в новых версиях Wavelet Toolbox	237

▼ Глава 8

Компоненты высокоскоростных устройств и систем и их тестирование	240
8.1. Параметры пассивных компонентов	240
8.1.1. Идеальные и реальные резисторы	240
8.1.2. Идеальная и реальная индуктивности	241
8.1.3. Идеальный и реальный конденсаторы (емкости)	242
8.2. Измерение параметров реактивных компонентов	244
8.2.1. Иммитанс, адмитанс и импеданс цепей	244
8.2.2. Общий обзор цифровых измерителей иммитанса и импеданса	245
8.2.3. Цифровой измеритель иммитанса E7-20	246
8.2.4. Малогабаритный измеритель иммитанса E7-25	252
8.2.5. Работа с измерителем иммитанса E7-20	253
8.2.6. Широкодиапазонный RLC-измеритель AM-3001	255
8.2.7. Лабораторные LCR-измерители компании Good Will	256
8.2.8. Лабораторные LCR-измерители АК ИП серии 61**	258
8.2.9. Высокочастотные LCR-измерители фирмы WK	260
8.3. Современные СВЧ-компоненты	264
8.3.1. Широкополосные аттенюаторы, переходники и тройники	264
8.3.2. Переходники – блокираторы постоянной составляющей сигнала	267
8.3.3. Ограничители СВЧ-мощности	267
8.3.4. СВЧ-детекторы	268
8.3.5. Источники шума серий 346 и N4001	271
8.3.6. Сенсоры мощности с USB-интерфейсом	272

8.4. Монолитные микросхемы СВЧ-аттенуаторов фирмы Hittite Microwave	275
8.4.1. СВЧ-микросхемы аттенуаторов с фиксированным ослаблением.....	275
8.4.2. Микросхемы аттенуаторов с аналоговым управлением	277
8.4.3. Микросхемы аттенуаторов с цифровым управлением	278
8.5. Высокоскоростные коммутаторы и обострители	280
8.5.1. Электромеханические коммутаторы СВЧ-сигналов фирмы Agilent	280
8.5.2. Высокоскоростные коммутаторы на р-и-п-диодах	280
8.5.3. Высокоскоростные коммутаторы на GaAs полевых транзисторах	283
8.5.4. Конверторы времени нарастания и спада импульсов.....	285
8.5.5. Монолитные микросхемы коммутаторов СВЧ-сигналов	286
8.5.6. Коммутационные процессы и их тестирование	288
8.6. Тестирование СВЧ-фильтров анализатором спектра с трекинг-генератором.....	292
8.6.1. Тестирование СВЧ-полосового фильтра на объемных резонаторах	292
8.6.2. Тестирование СВЧ-полосовых микрополосковых фильтров.....	294
8.7. Контроль линий передачи	297
8.7.1. Импульсная рефлектометрия.....	297
8.7.2. Цифровой осциллограф в роли рефлектометра.....	298
8.7.3. Расшифровка рефлектограмм	300
8.7.4. Портативные цифровые рефлектометры РЕЙС-105	301
8.7.5. Портативные цифровые рефлектометры РЕЙС-205	303
8.7.6. Портативные цифровые рефлектометры РЕЙС-305	309
8.8. Испытание световолоконных кабелей и линий передачи.....	317
8.8.1. Конструкция и параметры световодов.....	317
8.8.2. Оптическая рефлектометрия.....	321
8.8.3. Стационарные оптические рефлектометры.....	323
8.8.4. Оптические мини-рефлектометры.....	328
8.8.5. Оптические мини-рефлектометры фирмы EXFO	334
8.8.6. Карманный оптический рефлектометр FOD-7202	337
8.8.7. Оптический мини-рефлектометр FOD-7005.....	340
8.8.8. Мини-рефлектометр ТОПА3-9000	341
8.8.9. Оптический рефлектометр МТР 9000А	342
8.8.10. Оптический рефлектометр E6000C фирмы Agilent.....	343
8.9. Анализ спектра оптического излучения	344
8.9.1. Анализаторы спектра оптического излучения	344
8.9.2. Оптические фильтры анализаторов оптического спектра	346
8.9.3. Светосильный спектрометр SPT-DDHR-04	348
8.9.4. Анализаторы оптического спектра фирмы EXPO	350
8.9.5. Примеры применения анализатора спектра оптического диапазона...354	
8.9.6. Анализаторы оптического спектра Anritsu MS9710B/C	356
8.9.7. Анализаторы оптического спектра Yokogawa AQ6319/6370	357
8.9.8. Портативные анализаторы спектра оптического диапазона	360
8.9.9. Сверхминиатюрные анализаторы оптического спектра.....	365

▼ Глава 9

Исследование быстропротекающих процессов

в микроэлектронных устройствах	367
9.1. Исследование полупроводниковых диодов	367
9.1.1. Общие вопросы измерения параметров диодов	367
9.1.2. Источники/измерители фирмы Keithley серии 2400/2600	368
9.1.3. Определение и измерение дифференциальных параметров	372
9.1.4. Измерения динамических параметров высокоскоростных диодов	375
9.1.5. Измерение времени переключения туннельных диодов	377
9.2. Исследование биполярных и полевых транзисторов	379
9.2.1. Методы снятия ВАХ транзисторов	379
9.2.2. Характеристикографы для снятия ВАХ транзисторов	381
9.2.3. Исследование полевых транзисторов	385
9.3. Исследование переходных процессов переключения транзисторов	386
9.3.1. Выбор генераторов переключающих импульсов	386
9.3.2. Исследование переходных процессов при переключении биполярных транзисторов	389
9.3.3. Измерение параметров МДП-транзисторов во временной области	393
9.3.4. Измерение времени переключения арсенид-галлиевых транзисторов	397
9.3.5. Измерение времени переключения лавинных транзисторов	399
9.3.6. Оценка времени переключения сверхскоростных микротранзисторов	405
9.4. Измерение радиочастотных параметров полупроводниковых приборов и микросхем	407
9.4.1. Измерение радиочастотных параметров цифровыми осциллографами	407
9.4.2. Измерение радиочастотных параметров с помощью генераторов и анализаторов спектров, сигналов и цепей	408
9.4.3. Комплекс измерения радиочастотных параметров фирмы Keithley	409
9.4.4. Система параметрического контроля радиочастотных параметров микросхем S600	410
9.5. Тестирование скоростных интегральных микросхем	411
9.5.1. Тестирование интегральных усилителей	411
9.5.2. Тестирование интегральных компараторов	413
9.5.3. Тестирование сверхскоростных интегральных схем	415
9.6. Контроль цифровых и логических микросхем	421
9.6.1. Назначение логических анализаторов	421
9.6.2. Функциональная схема логического анализатора	424
9.6.3. Этапы работы с логическим анализатором	425
9.6.4. Запуск логического анализатора и синхронизация	426
9.6.5. Синхронный и асинхронный режимы сбора данных	427

9.6.6. Глитчи в цифровой аппаратуре и проблема их обнаружения	428
9.7. Современные логические анализаторы.....	428
9.7.1. Логические анализаторы фирмы Agilent Technologies.....	428
9.7.2. Логические анализаторы фирмы Tektronix.....	430
9.7.3. Логические анализаторы фирмы Leaptronix	435
9.7.4. Логические анализаторы фирмы Hewlett Packard.....	436
9.7.5. Осциллографы смешанных сигналов как логические анализаторы	437
9.7.6. Осциллографы смешанных сигналов DL 9000	440
9.7.7. Осциллографы смешанных сигналов DL 7000	442
9.7.8. Осциллографы DLM 2000.....	442
9.7.9. Пробники для логических анализаторов.....	444

▼ Глава 10

Исследование быстропротекающих процессов

в оптических и радиофизических системах и устройствах.....	449
10.1. Светодиоды, лазерные диоды и фотоприемники	449
10.1.1. Типы полупроводниковых оптико-электронных приборов	449
10.1.2. Конструкция и характеристики обычных светодиодов	450
10.1.3. Конструкция и характеристики лазерных светодиодов	453
10.1.4. Конструкция и характеристики фотоприемников.....	456
10.2. Методы и приборы для исследования излучателей светового излучения.....	459
10.2.1. Интегрирующая сфера 2500INT фирмы Keithley.....	459
10.2.2. Построение системы для исследования излучателей света.....	461
10.2.3. Источники/измерители серии 2400 для IV тестирования оптоэлектронных приборов.....	464
10.3. Исследование импульсных лазерных излучателей.....	465
10.3.1. Интегрирующая сфера для импульсных лазерных излучателей 2520INT.....	465
10.3.2. Система тестирования импульсных лазерных излучателей 2520.....	467
10.4. Исследование фотодиодов и фототранзисторов.....	468
10.4.1. Снятие статических характеристик фотодиодов и фототранзисторов.....	468
10.4.2. Многоканальная I-V система тестирования 4500-MTS.....	469
10.4.3. Двухканальный пикоамперметр серии 2502 для фотодиодных измерений.....	470
10.4.4. Системные источники/измерители 2602/2612 для LIV-тестирования	471
10.5. Исследование высокоскоростных излучателей и приемников света	472
10.5.1. Особенности динамики излучения высокоскоростных лазерных диодов	472
10.5.2. Установка для исследования динамики излучения высокоскоростных лазерных диодов	473

10.5.3. Наблюдение эффекта обострения фронта импульса лазерного излучения	475
10.5.4. Запуск мощных лазерных диодов и лазерных решеток.....	477
10.5.5. Импульсные генераторы и оптические модули фирмы DEI.....	481
10.5.6. Исследование сверхскоростных светодиодов и фотоприемников ...	484
10.6. Методы формирования высоковольтных и сильноточных импульсов на лавинных транзисторах	486
10.6.1. Простейшие генераторы мощных импульсов для запуска лазерных светодиодов	486
10.6.2. Генераторы с последовательным включением лавинных транзисторов	487
10.6.3. Генераторы на лавинных транзисторах, построенные по схеме Аркадьева-Маркса.....	490
10.6.4. Генераторы с параллельным включением лавинных транзисторов.....	492
10.6.5. Генераторы и модули с комбинированным включением лавинных транзисторов	493
10.6.6. Конструктивное выполнение генераторов коротких импульсов	496
10.7. Генераторы мощных наносекундных импульсов на лавинных тиристорах.....	498
10.7.1. Генератор с емкостным накопителем	498
10.7.2. Генератор прямоугольных импульсов с накопительной кабельной линией.....	499
10.7.3. Генератор прямоугольных импульсов с формирующим двухполюсником	501
10.8. Высокоскоростное управление электронными приборами	503
10.8.1. О применении лавинных транзисторов для управления электронными приборами.....	503
10.8.2. Запуск электронных и электронно-полупроводниковых ламп	504
10.8.3. Схема быстрого стробирования фотоэлектронного умножителя.....	505
10.8.4. Генератор кодовых последовательностей с частотой заполнения 0,75 ГГц	506
10.8.5. Управление 0,25 ГГц импульсным лазерным излучением	508
10.8.6. Лавинные транзисторы в схемах управления ячейками Поккельса.....	512
10.8.7. Схемы управления ячейками Поккельса на лавинных транзисторах в комбинации с другими приборами	515
10.8.8. О других средствах формирования высоковольтных импульсов с субнаносекундными фронтами	517
10.8.9. Сверхскоростная развертка на лавинных транзисторах.....	518
10.8.10. Лавинные транзисторы в ультразвуковых эхо-импульсных толщиномерах	519
10.9. Исследование антенн импульсными сигналами и сверхширокополосная связь.....	522
10.9.1. Техника измерения параметров антенн	522
10.9.2. Типичная установка для измерения параметров антенн	522

10.9.3. Технические характеристики установки для измерения параметров антенн	524
10.9.4. О выборе формы импульсов для испытания антенн	526
10.9.5. Типичная функциональная схема сверхширокополосной системы связи	527
10.10. Исследование видео- и подповерхностных радаров	529
10.10.1. Возбуждение антенн для видеолокаторов и георадаров	529
10.10.2. Георадары серии «Вий» (VIY)	532
10.11. Генераторы сверхмощных наносекундных импульсов на SOS-диодах ...	535
10.11.1. Высоковольтные модули на SOS-диодах	535
10.11.2. Генераторы коротких импульсов на высоковольтных модулях с SOS-диодами	536
10.11.3. Частотные генераторы мощных коротких импульсов на SOS-диодах	538
10.12. Генераторы сверхмощных электромагнитных и оптических импульсов	544
10.12.1. Возможности генераторов сверхмощных импульсов в военной сфере	544
10.12.2. Растяжение, сжатие и усиление импульсов лазерного излучения пико- и фемтосекундного диапазонов	548
10.12.3. Методы исследования импульсов лазерного излучения пико- и фемтосекундного диапазона	550
10.12.4. Оптоэлектронный стробоскопический осциллограф	552
10.12.5. Мощные лазеры, генерирующие импульсы пико- и фемтосекундного диапазонов	555
Литература	557