

УДК 621.375.132

ББК 32.846.6

Д93

А

Дьяконов, Владимир Павлович.

Д93 Современные измерительные генераторы сигналов / В. П. Дьяконов. — 2-е изд., эл. — 1 файл pdf : 378 с. — Москва : ДМК Пресс, 2023. — Систем. требования: Adobe Reader XI либо Adobe Digital Editions 4.5 ; экран 10". — Текст : электронный.

ISBN 978-5-89818-494-0

В книге описано современное состояние техники генерации сигналов различной формы (синусоидальных и импульсных) в широком диапазоне частот (от инфранизких до десятков ГГц) и амплитуд. Особое внимание уделено описанию серийных генераторов синусоидальных и импульсных сигналов, функциональных генераторов, генераторов с цифровым синтезом формы сигналов и генераторов сигналов произвольной формы. Приведено много примеров применения генераторов сигналов в исследовании, тестировании и отладке современной телекоммуникационной, связной и радиолокационной аппаратуры, а также в технике физического эксперимента.

Издание рассчитано на научных работников, инженеров, аспирантов, преподавателей и студентов университетов и вузов.

УДК 621.375.132

ББК 32.846.6

Электронное издание на основе печатного издания: Современные измерительные генераторы сигналов / В. П. Дьяконов. — Москва : ДМК Пресс, 2011. — 378 с. — ISBN 978-5-94074-709-3. — 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 978-5-89818-494-0

© Дьяконов В. П., 2011

© Оформление, ДМК Пресс, 2011

А

Содержание

Предисловие и обзор литературы	10
Благодарности и адреса для переписки	14
Глава 1. Генераторы синусоидальных сигналов	15
1.1. Основные типы сигналов и их параметры	15
1.1.1. Сигналы постоянного уровня	15
1.1.2. Источники постоянного напряжения и тока	16
1.1.3. Погрешность измерений в цепях постоянного тока	18
1.1.4. Фон, наводки и шум источников постоянного напряжения и тока	20
1.2. Источники переменного напряжения и тока	21
1.2.1. Параметры синусоидального напряжения и тока	21
1.2.2. Истинное среднеквадратическое значение (True RMS)	22
1.2.3. Типы источников синусоидального напряжения	24
1.2.4. Фазовый шум генераторов	25
1.3. Схемотехника аналоговых генераторов синусоидальных сигналов	26
1.3.1. Обобщенная схема аналогового генератора синусоидального напряжения	26
1.3.2. RC-генераторы	28
1.3.3. LC-генераторы синусоидального напряжения	30
1.3.4. Генераторы на пьезокерамических фильтрах	34
1.3.5. Кварцевые резонаторы и генераторы	35
1.3.6. Промышленные модули кварцевых генераторов	39
1.3.7. Пути улучшения параметров генераторов синусоидальных сигналов	40
1.4. Серийные RC-генераторы низких частот	43
1.4.1. Генератор сигналов низкочастотный ГЗ-118	43
1.4.2. Генераторы, выпускаемые фирмой МНИПИ	43
1.4.3. Генератор ГЗ-126	44
1.4.4. Звуковые генераторы GAG 809/810 фирмы GW Instek	45
1.5. Аналоговые ВЧ- и СВЧ-генераторы синусоидальных сигналов	46
1.5.1. Основные типы генераторов стандартных сигналов	46
1.5.2. Советские ВЧ-генераторы стандартных сигналов	47
1.5.3. Радиочастотные генераторы HG-1500/1500D фирмы MCP	48
1.5.4. Радиочастотный генератор GRG-450B фирмы GW Instek	49
1.5.5. Аналоговые СВЧ-генераторы синусоидальных сигналов	50

Содержание

1.6. Основы цифрового синтеза частоты и формы сигналов	52
1.6.1. Основные методы цифрового синтеза сигналов	52
1.6.2. Генераторы на основе цифрового синтезатора частот	52
1.6.3. Генераторы произвольных функций (AFG)	54
1.6.4. Генераторы сигналов произвольной формы (AWG)	55
1.6.5. Шум квантования у генераторов с цифровым синтезом формы сигналов	55
1.7. Генераторы синусоидальных сигналов с цифровым синтезом умеренной сложности	58
1.7.1. Отечественные генераторы с цифровым синтезом	58
1.7.2. Генератор SG-1501B фирмы JungJin	60
1.7.3. Генератор VC2003 фирмы VICTOR	61
1.7.4. Генераторы высокочастотные АКТАКОМ АНР-2015/ 2150	62
1.7.5. Генераторы высокочастотные АКИП ГСВЧ-3000	63
1.8. Генераторы с цифровым синтезом фирмы Agilent Technologies	63
1.8.1. Генератор аналоговых сигналов E4428C	63
1.8.2. Генератор аналоговых сигналов N5181C MSG	65
1.8.3. Генератор аналоговых сигналов E8663B	65
1.8.4. Генератор N9310A RF	66
1.8.5. Генератор E8257D PSG с частотой до 67 ГГц	68
1.9. Генераторы синусоидальных сигналов фирмы ROHDE&SCHWARE	69
1.9.1. Портативный переносный генератор R&S SM300	69
1.9.2. Стационарные генераторы R&S серии SML/SMV	70
1.9.3. Стационарные генераторы R&S SMA/SMB/SMF100A	71
1.9.4. Серия генераторов R&S SMP0* с частотами до 20, 27 и 40 ГГц	73
1.9.5. Серия генераторов R&S SMR** с частотами до 60 ГГц	74
1.9.6. Векторное представление сигналов и цифровая модуляция	75
1.9.7. Векторные генераторы фирмы R&S SMU200A/SMJ100A/SMATE200A	77
1.9.8. Векторные генераторы фирмы Model 2910 Keithley	79
1.10. Генератор со сверхмалыми нелинейными искажениями DS360 фирмы Stanford Research Systems	81
1.11. Генераторы качающейся частоты (ГКЧ) и измерители АЧХ	82
1.11.1. Промышленные ГКЧ и измерители АЧХ	82
1.11.2. Работа с измерителем АЧХ X1-50	84
1.12. Гетеродинные индикаторы резонанса (ГИР)	88
1.12.1. Назначение и принципы работы ГИР	88
1.12.2. Простой ГИР на одном полевом транзисторе	89
1.12.3. ГИР на транзисторном аналоге негатрона	90

Глава 2. Генераторы импульсов	91
2.1. Импульсные сигналы и принципы их генерации	91
2.1.1. Формы и параметры импульсов	91
2.1.2. Принципы генерации импульсных сигналов	94
2.1.3. Спектр сигналов	95
2.2. Схемотехника простых генераторов импульсов	98
2.2.1. Импульсные генераторы на транзисторах и интегральных микросхемах	98
2.2.2. Импульсные генераторы на интегральном таймере	99
2.2.3. Обзор импульсных устройств на негатронах	102
2.2.4. Импульсные устройства на однопереходных транзисторах	104
2.2.5. Особенности лавинных транзисторов	106
2.2.6. Емкостной релаксатор на лавинном транзисторе	108
2.2.7. Генератор прямоугольных импульсов на лавинном транзисторе с накопительной линией	110
2.2.8. Генератор наносекундных импульсов тока в 25 А на лавинном транзисторе	111
2.3. Серийные генераторы импульсов	114
2.3.1. Обзор рынка серийных генераторов импульсов	114
2.3.2. Типовая функциональная схема аналогового импульсного генератора	114
2.3.3. Отечественные серийные генераторы микросекундных импульсов	115
2.3.4. Отечественные серийные генераторы наносекундных импульсов	118
2.3.5. Универсальные генераторы импульсов серии 8500 фирмы Tabor	122
2.4. Генераторы телевизионных сигналов	123
2.4.1. Назначение и особенности генераторов телевизионных сигналов	123
2.4.2. Генератор телевизионных сигналов PG-401L фирмы EZ Digital	124
2.4.3. Виртуальные генераторы телевизионных сигналов АКТАКОМ АНР-3125/3126	125
2.4.4. Линейка генераторов телевизионных сигналов корпорации Tektronix	129
2.4.5. Стационарный генератор телевизионных сигналов Г6-35	131
2.5. Генераторы коротких импульсов	132
2.5.1. Принципы генерации импульсов с субнаносекундным временем нарастания	132
2.5.2. Генератор HZ60-3 для испытания аналоговых осциллографов	134
2.5.3. Исследование динамики излучения лазерных диодов	135

2.5.4. Генераторы пикосекундных импульсов серии 4000 фирмы Picosecond Pulse Lab	137
2.5.5. Импульсные генераторы и оптические модули фирмы DEI	141
2.5.6. Высоковольтные модули HVS фирмы ALPHALAS	143
2.5.7. Генераторы наносекундных импульсов на фотоно-инжекционных импульсных коммутаторах	145
Глава 3. Функциональные генераторы	151
3.1. Принципы построения функциональных генераторов	151
3.1.1. Основные типы функциональных генераторов	151
3.1.2. Функциональные генераторы с интегратором на интегральном операционном усилителе	152
3.1.3. Пример простой схемы функционального генератора	153
3.1.4. Функциональные генераторы, управляемые напряжением или током	154
3.1.5. Формирователи синусоидального сигнала из треугольного	157
3.2. Микросхема функционального генератора XR-2206	159
3.2.1. Назначение и вид микросхемы XR-2206	159
3.2.2. Блок-схема и принципиальная схема микросхемы XR-2206	160
3.2.3. Назначение выводов микросхемы XR-2206	162
3.2.4. Типовая схема применения микросхемы XR-2206	162
3.3. Микросхема функционального генератора MAX038	165
3.3.1. Назначение и вид микросхемы MAX038	165
3.3.2. Функциональная схема микросхемы MAX038	165
3.3.3. Основные схемы включения микросхемы MAX038	166
3.3.4. Осциллограммы и спектры сигналов микросхемы MAX038	166
3.4. Серийные аналоговые функциональные генераторы	168
3.4.1. Функциональные генераторы времен СССР	169
3.4.2. Функциональные генераторы фирмы МНИПИ	170
3.4.3. Функциональные генераторы фирмы Wavetek Meterman	173
3.4.4. Функциональные генераторы и частотомеры фирмы METEX	173
3.4.5. Программа стыковки приборов METEX с компьютером	177
3.4.6. Измерительные комплексы MS-9160/9170 фирмы METEX	179
3.4.7. Функциональные генераторы MFG-82**А фирмы MATRIX	181
3.4.8. Функциональные генераторы фирмы EZ Digital	184
3.4.9. Функциональный генератор VC2002 фирмы VICTOR	186
3.4.10. Функциональные генераторы АКТАКОМ	187
3.4.11. Заключительные замечания по аналоговым функциональным генераторам	188

3.5. Функциональные генераторы с цифровым синтезом выходных сигналов	189
3.5.1. Принципы построения функциональных генераторов с цифровым синтезом выходных сигналов	189
3.5.2. Генератор сигналов VC2003 фирмы VICTOR	190
3.5.3. Программируемый функциональный генератор G5100	191
3.5.4. Функциональный свип-генератор B821 фирмы Protek	192
3.5.5. Функциональные генераторы АКТАКОМ серии АНР	193
3.6. Виртуальные функциональные генераторы	195
3.6.1. Назначение и особенности виртуальных функциональных генераторов	195
3.6.2. Виртуальные функциональные генераторы фирмы Velleman	195
3.6.3. Работа с виртуальным функциональным генератором фирмы Velleman	198
3.6.4. Создание компьютеризированной лаборатории PC-Lab 2000	200
3.6.5. Функциональные генераторы АКТАКОМ АНР-3121/3122	201
3.6.6. Комбинированный прибор АКТАКОМ АСК-4106	202
Глава 4. Генераторы сигналов произвольной формы	207
4.1. Генераторы сигналов произвольной формы зарубежных фирм	207
4.1.1. Назначение и особенности генераторов сигналов произвольной формы	207
4.1.2. Генераторы сигналов произвольной формы фирмы Protek	209
4.1.3. Генераторы сигналов произвольной формы АКТАКОМ и АКИП	209
4.1.4. Функциональный генератор 33220A фирмы Agilent	210
4.1.5. Двухканальный генератор произвольных сигналов R&S AM300	212
4.1.6. Генераторы произвольных сигналов фирмы Tabor	214
4.2. Многофункциональные генераторы произвольных сигналов серии Tektronix AFG3000	215
4.2.1. Внешний вид и органы управления генератора AFG3000	215
4.2.2. Технические характеристики генераторов AFG3000	219
4.2.3. Работа с генератором AFG3000	220
4.2.4. Основные возможности генераторов AFG3101	221
4.2.5. Основные возможности генераторов AFG3251/3252	233
4.3. Программное обеспечение генераторов AFG3000	237
4.3.1. Назначение программы ArbExpress и ее интерфейс	237
4.3.2. Создание сигналов стандартных форм	238
4.3.3. Настройка на типы приборов и работа с файлами	240
4.3.4. Программирование формы сигналов	242
4.3.5. Применение графического редактора формы сигналов	247

Содержание

4.3.6. Математические операции с сигналами	248
4.3.7. Построение сигнала по осциллограмме	249
4.4. Работа измерительных приборов с системой MATLAB	253
4.4.1. Назначение матричной системы MATLAB	253
4.4.2. Подготовка к стыковке осциллографов с системой MATLAB	254
4.4.3. MATLAB-программы для работы с цифровыми осциллографами	256
4.4.4. Спектральный анализ осциллограмм в MATLAB	260
4.4.5. Построение спектрограмм осциллограмм в MATLAB	263
4.4.6. Управление генераторами серии AFG3000 от матричной системы MATLAB	266
4.4.7. Применение системы MATLAB при совместной работе генератора и цифрового осциллографа	269
4.5. Генераторы сигналов произвольной формы класса AWG	272
4.5.1. Сравнение генераторов класса AFG и AWG	272
4.5.2. Генераторы серии AWG7000	273
4.5.3. Генераторы серии AWG5000	276
4.6. Генераторы цифровых сигналов произвольной формы	279
4.6.1. Функциональная схема генератора паттернов данных	279
4.6.2. Генераторы цифровых сигналов Tektronix DG2020A	280
4.6.3. Генераторы цифровых сигналов Tektronix DG5078/5274/DTG5334	281
4.7. Программа NI Signal Express Tektronix Edition	284
4.7.1. Назначение программы	284
4.7.2. Выбор и запуск программы	285
4.7.3. Основное окно программы при работе с осциллографом	287
4.7.4. Работа с инструментами программы	289
4.7.5. Работа с генератором серии AFG3000	290
4.7.6. Дополнительные возможности программы	294
Глава 5. Применение генераторов сигналов	297
5.1. Современная лаборатория разработчика электронных устройств	297
5.1.1. Назначение лаборатории	297
5.1.2. Лаборатория начального уровня	298
5.1.3. Лаборатория среднего уровня	300
5.1.4. Лаборатория высшего (HiFi) уровня	305
5.2. Контроль параметров генераторов сигналов	314
5.2.1. Осциллографический контроль формы сигналов	314
5.2.2. Контроль и измерение амплитудных параметров генераторов	316
5.2.3. Контроль временных параметров сигналов генераторов	317

5.2.3. Контроль временных параметров сигналов генераторов	317
5.2.4. Проведение автоматических измерений	318
5.2.5. Контроль времени нарастания импульсов генератора	319
5.2.6. Контроль спектра сигналов с помощью осциллографа	320
5.2.7. Анализ спектра сигналов генераторов анализатором спектра реального времени	322
5.3. Примеры применения генераторов сигналов	328
5.3.1. Применение AFG3000 для запуска формирователей импульсов со временами нарастания и спада до 50 пс	328
5.3.2. Измерение АЧХ осциллографов	336
5.3.3. Проверка переходных характеристик осциллографов	337
5.3.4. Применение AFG3000 для измерения добротности LC-контуров	338
5.3.5. Применение AFG3000 в качестве генератора качающейся частоты	340
5.3.6. Применение функциональных генераторов в качестве ГКЧ	341
5.3.7. Исследование линейных цепей	345
5.3.8. Применение генераторов Tektronix AFG3000 для измерения емкости	349
5.3.9. Контроль динамики интегральных микросхем	352
5.3.10. Контроль индикаторной панели	354
5.3.11. Контроль режима XY осциллографов	355
5.4. Специальные применения генераторов сигналов	355
5.4.1. Проверка чувствительности радиоприемников	355
5.4.2. Создание сигнала с кодоимпульсной модуляцией	357
5.4.3. Контроль импульсных сигналов с помощью глазковых диаграмм	360
5.4.4. Контроль за деградацией сигнала при его передаче по каналам связи	362
5.4.5. Контроль ультраширокополосных систем	363
5.4.6. Генератор R&S SMA100A как средство контроля аэронавигационных систем	367
Литература	369