

*Спасибо бесконечно поддерживающим нас
Дженнифер и Джессике, молодеющей с каждым днем.
И нашим родителям, вложившим в нас любовь и знания*

СОДЕРЖАНИЕ

<i>От издательства</i>	11
<i>Об авторах</i>	12
<i>О техническом рецензенте</i>	12
<i>Введение</i>	13

Часть I. СОЗДАНИЕ БАЗОВОГО ПРИЕМНИКА 23

Глава 1. Что такое радио..... 24

Простая модель радиоприемника.....	24
Сигналы.....	25
Модуляция.....	26
Более детализированная модель радиоприемника.....	26
АМ-радиосигналы	28
Амплитудная модуляция	29
Итоги	31

Глава 2. Компьютеры и сигналы 32

Оцифровка	32
Аналого-цифровое преобразование.....	33
Цифроаналоговое преобразование.....	37
Частота дискретизации.....	37
SDR с расстояния 15 километров.....	40
Итоги	41

Глава 3. Начинаем работу с GNU Radio 42

Установка GNU Radio	42
Linux.....	43
Windows и macOS.....	43
Виртуальная машина	43

GNU Radio Companion.....	44
Источники	46
Блоки вывода	47
Hello, SDR!	47
Добавление блоков.....	47
Соединения блоков	50
Сохранение и запуск программы	50
Изменение свойств блока.....	51
Между входом и выходом	54
Итоги	57
Глава 4. Создание АМ-приемника	58
Настройка переменных и входов	59
Добавление источника радиоданных.....	62
Обработка сигналов.....	63
Выход.....	70
Итоги	73
Часть II. ВНУТРИ ПРИЕМНИКА	75
Глава 5. Основы обработки сигналов	76
Частота	76
Изучение звукового спектра.....	77
Визуализация сигналов в частотной области.....	84
Коэффициент усиления	95
Применение коэффициента усиления к сигналу	96
Мыслим децибелами.....	101
Фильтры.....	106
Фильтры низких частот.....	107
Фильтры высоких частот	113
Полосовые фильтры	118
Режекторные фильтры	120
Создание эквалайзера	120
Итоги	122
Глава 6. Принцип работы АМ-приемника	123
Изучаем входные радиочастотные данные	124
Настройка.....	128
Сдвиг частоты	130
Фильтрация	134
Учет реальных частот	142
Настройка реального АМ-приемника	144
Демодуляция	146
Просмотр модулированных и демодулированных сигналов	148

Настройка свойств блока AM Demod	150
Передискретизация	151
Прореживание	151
Интерполяция	155
Передискретизация в AM-приемнике	156
Итоги	157
Глава 7. Создание FM-радиоприемника	158
Преобразование приемника из AM в FM.....	159
Улучшение работы FM-приемника	164
Более эффективная настройка	164
Автоматическое обновление переменных.....	169
Управление громкостью	172
Настройка на другие сигналы.....	174
Итоги	176
Часть III. РАБОТА С SDR-АППАРАТУРОЙ	177
Глава 8. Физика радиосигналов	178
Электромагнитные волны.....	179
Распространение радиоволн	180
Диапазоны частот.....	181
Ширина полосы частот	184
Шум.....	192
Визуализация радиочастотного шума.....	193
Нахождение отношения сигнал/шум.....	194
Итоги	195
Глава 9. Работа блок-схем GNU Radio с SDR-оборудованием.....	196
Создание блок-схемы с аппаратной поддержкой	197
Подключение оборудования.....	199
Работа с аппаратным SDR-приемником	202
Использование аппаратуры USRP	203
Использование другого оборудования	205
Итоги	205
Глава 10. Модуляция	206
Сигналы базовой полосы частот.....	206
Амплитудная модуляция.....	209
Работа с отрицательными значениями базовой полосы частот.....	212
Предотвращение перемодуляции	215
Частотная модуляция	218
Использование несущей с нулевой частотой	219
Интерпретация каскадных графиков	222

Настройка чувствительности FM-модулятора	223
Фазовая модуляция	226
Несколько слов о цифровой модуляции	229
Выбор схемы модуляции	230
Итоги	231
Глава 11. Под капотом SDR-аппаратуры	233
Классическое радио в сравнении с SDR	233
IQ-дискретизация	236
IQ-сигналы	236
Ширина полосы пропускания SDR и частота дискретизации	247
Определение пределов полосы пропускания	248
Эффект переполнения	248
Предотвращение переполнения	253
Усиление и SDR-аппаратура	254
Три ступени усиления	254
Как настроить коэффициент усиления	256
Как усиление влияет на сигнал	257
Улучшенная модель SDR	260
Смещение по постоянному току	261
Важные характеристики SDR	266
Итоги	268
Глава 12. Периферийное оборудование	270
Антенны	270
Характеристики	272
Конструктивные типы	274
Поляризация	279
Эксперимент с антенной	280
Влияние компьютеров на работу SDR	283
Снижение уровня шума	284
Разъемы	285
Создание SDR-инструментария	289
Антенны	289
Адаптеры	290
Повышающие преобразователи	290
Балун-устройства	291
Разное	291
Итоги	293
Глава 13. Передача	294
Построение FM-модулятора	294
Настройка источника звука	295
Модуляция сигнала	296
Преобразование сигнала с повышением частоты	296

Фильтрация после интерполяции	299
Правила RF-передач	300
Юридические вопросы	301
Практические вопросы.....	302
Тестирование FM-передатчика.....	304
Восстановление сигнала	305
Работа блок-схемы	306
Моделирование шума	308
Итоги	311
Предметный указатель	312

ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

Отзывы и пожелания

Мы всегда рады отзывам наших читателей. Расскажите нам, что вы думаете об этой книге – что понравилось или, может быть, не понравилось. Отзывы важны для нас, чтобы выпускать книги, которые будут для вас максимально полезны.

Вы можете написать отзыв на нашем сайте www.dmkpress.com, зайдя на страницу книги и оставив комментарий в разделе «Отзывы и рецензии». Также можно послать письмо главному редактору по адресу dmkpress@gmail.com; при этом укажите название книги в теме письма.

Если вы являетесь экспертом в какой-либо области и заинтересованы в написании новой книги, заполните форму на нашем сайте по адресу http://dmkpress.com/authors/publish_book/ или напишите в издательство по адресу dmkpress@gmail.com.

Список опечаток

Хотя мы приняли все возможные меры для того, чтобы обеспечить высокое качество наших текстов, ошибки все равно случаются. Если вы найдете ошибку в одной из наших книг, мы будем очень благодарны, если вы сообщите о ней главному редактору по адресу dmkpress@gmail.com. Сделав это, вы избавите других читателей от недопонимания и поможете нам улучшить последующие издания этой книги.

Нарушение авторских прав

Пиратство в интернете по-прежнему остается насущной проблемой. Издательство «Books.kz» очень серьезно относится к вопросам защиты авторских прав и лицензирования. Если вы столкнетесь в интернете с незаконной публикацией какой-либо из наших книг, пожалуйста, пришлите нам ссылку на интернет-ресурс, чтобы мы могли применить санкции.

Ссылку на подозрительные материалы можно прислать по адресу электронной почты dmkpress@gmail.com.

Мы высоко ценим любую помощь по защите наших авторов, благодаря которой мы можем предоставлять вам качественные материалы.

Об авторах

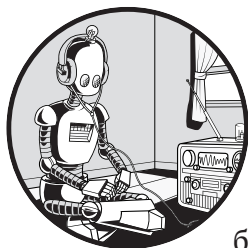
Дэвид Кларк — инженер, интересующийся тем, как все устроено; он с удовольствием делится своими знаниями. Дэвид имеет дело с радиотехникой с конца 1980-х годов и применял программно-определяемое радио (software-defined radio, SDR) еще до того, как оно стало популярным.

Пол Кларк — владелец и главный инженер Factoria Labs, организации, занимающейся распространением SDR. Он обладает обширным опытом в области проектирования микросхем, разработки микропрограммного обеспечения и реверс-инжиниринга радиоаппаратуры. Пол проводит занятия и семинары по SDR в Соединенных Штатах и за рубежом.

О техническом рецензенте

Джош Мормон — старший научный сотрудник в области беспроводной связи, работающий в основном над приложениями SDR. В настоящее время он является президентом проекта GNU Radio и активно участвует в разработке GNU Radio 4.0.

ВВЕДЕНИЕ



В технологиях беспроводной связи происходит революция, затрагивающая все сферы — от разработки аппаратного обеспечения до информационной безопасности и от аэрокосмической инженерии до любительской радиосвязи. Профессиональные разработчики электроники, исследователи в области кибербезопасности, хакеры, работающие с аппаратным обеспечением, и операторы любительских радиостанций — каждый может воспользоваться преимуществами нового прекрасного сочетания: программного обеспечения и радио.

С момента появления первых радиопередач Маркони более 100 лет назад почти все радиоприемники были стационарными устройствами. Любой радиоприемник мог настраиваться только на относительно узкий диапазон частот и передавать или принимать определенный тип сигнала. В лучшем случае у вас были комбинированные устройства, например те, которые принимают как АМ-, так и FM-сигналы, но в основном это было объединение двух (или более) стационарных радиостанций в одном корпусе. Эти устройства старой школы являются чисто аппаратными радиостанциями (*hardware-defined radios, HDR*). Что определяет частоты, на которых может работать один из этих радиоприемников или передатчиков? Оборудование. Что определяет, будет ли это FM-радио или Wi-Fi-роутер? Оборудование. Почти каждое свойство этих радиостанций определяется раз и навсегда настроенным аппаратным обеспечением.

Программно-определяемое радио (*software-defined radio, SDR*) обеспечивает программируемость всей архитектуры радиостанции. Когда вы хотите изменить работу SDR-станции, не нужно заново подключать новое оборудование: вы просто заменяете программу на плате SDR, а также, возможно, на подключенном главном компьютере.

Эта книга рассказывает, как создавать удивительно гибкие аналоговые радиостанции, используя SDR и программу под названием GNU Radio, а также познакомит с необходимыми базовыми основами теории, чтобы понять, как работают эти радиостанции.

Неделя с SDR

Возможно, не сразу становится очевидным, насколько универсальной может быть SDR-станция. Как иллюстрацию приведем неделю возможной жизни в качестве пользователя SDR. Сегодня понедельник, и вам нужно что-то, что позволяет взаимодействовать с несколькими устройствами Wi-Fi. Вы создаете проект на своем компьютере, подключаетесь к SDR, и у вас волшебным образом появляется точка доступа Wi-Fi. И не просто точка доступа, а такая, с помощью которой вы можете управлять различными аспектами используемых каналов и отправляемых пакетов.

Во вторник вам понадобятся географические данные места, которое вы собираетесь посетить. Всего лишь внесите некоторые изменения в программное обеспечение — и вы получите SDR в качестве GPS-приемника. Как и в предыдущем случае, вы не ограничены только базовыми функциями — можете отслеживать количество наблюдаемых спутников в созвездии GPS и уровень сигнала каждого из них. На обратном пути с посещенного места вы перепрограммируете свой SDR на выбор радиостанций FM-вещания, чтобы во время движения можно было послушать музыку.

Где-то в среду вы обнаруживаете, что в сети Wi-Fi возникли какие-то неполадки. Подозревая проблемы с безопасностью, вы перенастраиваете SDR для одновременного сканирования всех 14 доступных каналов Wi-Fi и определения типа трафика. Вы сохраняете все необработанные радиочастотные данные в файл для дальнейшей обработки на досуге.

В четверг вы вспоминаете про сигналы, которые обнаружили днем ранее в диапазоне Wi-Fi 2,4 ГГц. Не зная, что это за сигналы, вы начинаете анализировать сеть с помощью мощного, но при этом бесплатного и простого в использовании программного обеспечения. Узнаете, что в настоящее время неизвестные сигналы не передаются, но это не проблема, поскольку у вас есть запись данных за вчерашний день. Просмотрев данные, вы можете определить, что поблизости есть сеть домашней автоматизации ZigBee, а также устройство «радионяня» и плохо экранированная микроволновая печь.

Наступает пятница, и вы решаете проехаться по окрестностям и проверить радиочастотную активность в различных точках вашего города. Воспользовавшись преимуществами Wi-Fi и GPS, которые вы использовали ранее на этой неделе, вы можете написать приложение

для регистрации данных с учетом местоположения, состоящее всего из пары десятков строк кода на Python.

Наконец-то наступили выходные, и вы решили отправиться в поход. Прежде чем отправиться в путь, вы перепрограммируете SDR на несколько различных режимов любительской радиосвязи в надежде связаться с другими радиолюбителями, пока вы находитесь в горах. Возможно, вы даже сможете связаться с Международной космической станцией!

Начинаете понимать, насколько мощные эти устройства? Вы можете не только легко внедрять новые схемы радиосвязи, но и переключаться между ними, используя всего несколько нажатий клавиш или вызывая функцию в коде станции. Помимо простой передачи и приема, вы можете сканировать, находить и анализировать доступные сигналы.

Для полноты картины следует упомянуть, что во всем этом есть одна сложность: несмотря на то что радиостанции стали программируемыми, их создатели до сих пор не придумали, как сделать доступные программируемые антенны. По крайней мере на данный момент при значительных изменениях частоты вам, вероятно, придется менять антенны.

SDR и разработка аппаратного обеспечения

Есть еще одно ключевое применение SDR-метода: создание прототипов новых продуктов, содержащих радиочастотный компонент. На ранних стадиях разработки продукта важно быстро вносить изменения в проект. Терпите неудачу и быстро проверяете как можно больше новых идей.

SDR-станции позволяют внедрять радиообмен в вашу конструкцию гораздо быстрее, чем при его разработке на основе готовых компонентов. Вы также можете гораздо быстрее изменять ее функциональность. Из-за повышенных затрат вы, скорее всего, не запустите проект в массовое производство с SDR-компонентом, но вы можете оптимизировать проект на более позднем этапе.

Мы уже сталкивались с этим раньше. На протяжении десятилетий цифровая логика, как правило, была встроенной. Вы берете набор микросхем, содержащих логические элементы, соединяете их между собой, и ваша система готова. Если требуется высокая производительность или низкая стоимость, можно даже изготовить чип на заказ — такие микросхемы называются специализированными интегральными схемами (application-specific integrated circuits, ASIC). Затем появилась новая технология, которая изменила многое. ASIC до сих пор популярны в массовом производстве, но для разработки прототипов инженеры стали использовать различные типы программируемой логики с сомнительно полезными аббревиатурами

в названиях, таких как PLA, PAL и PLD¹. Наиболее часто используемой формой на сегодняшний день является программируемая вентиляционная матрица (FPGA²).

В результате в процессе разработки произошли интересные изменения. В некоторых случаях инженеры начали осознавать, что стоимость программируемого решения, в конце концов, не намного выше, чем у решения с фиксированной функциональностью. Если учесть время, затраченное инженерами на разработку реализации с фиксированной функцией, нередко программируемое решение обходится дешевле. Кроме того, дополнительным преимуществом стала возможность обновлять аппаратные возможности продукта на любом этапе производственного процесса и за его пределами — даже когда продукт уже находится в руках клиентов.

Хотя этот небольшой урок истории был посвящен цифровой логике, аналогичные программируемые технологии в настоящее время существуют и для аналоговых схем. Можно даже считать, что 3D-принтеры работают в рамках той же парадигмы: программно-определяемая материальная вещь.

Все эти технологии сокращают время проектирования и ускоряют выпуск продукции. И хотя самые ранние SDR, FPGA и им подобные в основном использовались для создания прототипов, их более зрелые аналоги все чаще находят применение в выпускаемых продуктах. Это происходит в основном при двух обстоятельствах. Во-первых, когда время вывода на рынок имеет решающее значение, дополнительные затраты на внедрение одной из этих технологий могут быть приемлемыми. Во-вторых, когда вы производите небольшое количество вашего продукта, нет смысла тратить время на разработку, чтобы оптимизировать его стоимость.

Сколько времени потребуется, чтобы SDR стали повсеместными на рынке? Трудно сказать наверняка, но, возможно, вы захотите поискать по запросу «RTL-SDR»³. В прошлом именно этот дизайн SDR использовался в ряде потребительских товаров (в основном в цифровых ТВ-тюнерах), в то время как радиолюбители взломали эти продукты, превратив их в чрезвычайно дешевые устройства для собственных экспериментов.

¹ PLA — программируемый логический массив (programmable logic array), PAL — программируемый массив логики (programmable array logic), в русскоязычной литературе одинаково называются ПЛИМ. PLD — программируемая логическая интегральная схема, ПЛИС (programmable logic device). — *Здесь и далее примечания переводчика.*

² Field-programmable gate array, устоявшийся перевод на русский «программируемая пользователем вентиляционная матрица», ППВМ. В русскоязычной литературе вместо сокращения ППВМ часто употребляется более общее ПЛИС.

³ Сокращение RTL в названии означает «register transfer level», так называется способ программирования, представляющий программу в виде последовательности логических операций.

Цель этой книги

Цель этой книги не только в том, чтобы вы узнали о SDR, но и в том, чтобы вам было интересно этим заниматься. Слово «fun» (развлечение, удовольствие) родственно слову «fundamentals» (основы); доскональное изучение того, как что-то работает (например, радио), делает это устройство не только более полезным для вас, но и более увлекательным в использовании. Изучите основы, а затем используйте их для получения удовольствия.

Эта книга ориентирована на то, чтобы учиться на практике. В ней не будет тысяч страниц сухого изложения электромагнитной теории и математических основ обработки сигналов. Мы не считаем, что новичкам в SDR полезно глубокое, формализованное погружение в эти темы. Безусловно, в книге будут рассмотрены самые основы, но иначе, чем в академическом учебнике: мы начнем с самых простых принципов, сопоставим их с реальными экспериментами, а затем, развивая то, что узнали ранее, будем постепенно углубляться. Цель состоит в том, чтобы дать представление о терминах и концепциях, необходимых для создания практических систем SDR, и мы будем стремиться не просто рассказать вам об этих терминах и концепциях, но и показать их на практике.

Представьте себе SDR в виде луковицы. В каждой главе этой книги мы будем снимать с нее следующий тонкий слой. Не волнуйтесь, если вы не до конца усвоите тему в первой главе: принципы будут раскрываться более подробно по мере чтения книги и работы над новыми проектами. Мы думаем, что после прочтения нескольких глав вы будете приятно удивлены тем, насколько глубоко проникли вглубь.

Однако есть одна загвоздка: обучение на практике требует, чтобы вы действительно что-то делали. Потратьте время на установку необходимого программного обеспечения, затем следуйте инструкциям и поработайте с примерами из книги, чтобы вы могли активно манипулировать радиоприемниками, как эмулируемыми программно, так и реальными.

Что мы подразумеваем под эмуляцией? Оказывается, основное программное обеспечение SDR под названием GNU Radio обладает способностью не только управлять оборудованием, но и имитировать работу реального радио без подключения какого-либо оборудования вообще. Такая возможность моделирования аппаратуры значительно облегчает входение в тему разработки SDR. Начав с эмулятора, вы быстрее усваиваете идеи, не прибегая к сложностям, связанным с интеграцией аппаратного обеспечения и обработкой радиоданных в режиме реального времени. Однако не волнуйтесь: к аппаратному обеспечению мы вернемся в следующих главах.

Для кого предназначена эта книга

Эта книга адресована как новичкам, не имеющим опыта работы с SDR, так и тем, кто пробовал SDR, но испытывал трудности. Возможно, вы домашний умелец, радиолюбитель или студент. Вы также можете быть инженером, который забыл большую часть теории радио, изучаемую им в учебном заведении, и хочет освежить ее в памяти. Мы просто надеемся на ваш интерес к этому предмету.

Интернет полезен для поиска информации практически по любой теме, но иногда может потребоваться некоторое время, чтобы собрать данные с огромного количества различных веб-сайтов в единую связную массу знаний. Многие люди говорили нам, что они могли бы поискать в интернете программное обеспечение для работы с аппаратным обеспечением SDR, но было не ясно, как работают различные компоненты. В описании различных функций SDR было либо «слишком много математики», либо слишком мало практической информации. Если вам знакомо такое разочарование, то эта книга для вас. Это не избавит вас от необходимости проводить собственные исследования по мере роста ваших амбиций, но даст некоторые основы для лучшего понимания увлекательного мира SDR.

Основное внимание в нашей книге уделяется аналоговым радиостанциям. Многие из вас, читая эту книгу, захотят заняться созданием аналоговых радиостанций для приема широкополосных передач или работы с любительским радио, но изложенные в ней концепции также важны для тех, кто интересуется цифровыми приложениями, такими как реверс-инжиниринг или информационная безопасность. Цифровые радиостанции построены на тех же базовых принципах, что и аналоговые, поэтому закрепление этих принципов с помощью простых аналоговых приложений поможет вам перейти на цифровую связь.

Что вам понадобится

Для аппаратных действий, описанных в этой книге, мы рекомендуем использовать платы HackRF One SDR¹. Они широко доступны, относительно недороги по сравнению со многими SDR профессионального уровня и хорошо поддерживаются GNU Radio и другим программным обеспечением с открытым исходным кодом. Если у вас другой SDR, например PlutoSDR или LimeSDR, не волнуйтесь: в главе 9 рассказывается, как адаптировать аппаратные проекты, описанные в книге, для работы с другими распространенными устройствами. Вам также понадобится антенна, которую можно подключить к SDR. Для целей этой книги мы рекомендуем ANT500, но подойдет и другая антенна,

¹ Платы HackRF One выпускаются в том числе российской компанией Элеон (<https://elron.tech/russian-hack-rf-one/>).

которая может работать с сигналами FM-вещания. Многие SDR продаются в комплекте с совместимой антенной.

Тем не менее вы можете начать изучать SDR прямо сейчас, даже если у вас еще нет никакого оборудования, поскольку эта книга начинается с моделирования радиоприемников. Просто перейдите к главе 1 и начните читать, пока не получите заказанную SDR-плату. Поскольку можно многое сделать моделированием с помощью GNU Radio (и предоставляемых нами конфигурационных файлов), вы действительно можете начинать, используя только свой компьютер.

Как построена эта книга

Эта книга состоит из трех основных частей. Вот краткое описание того, что вы узнаете в каждом разделе.

Часть I «Создание базового приемника» посвящена теории и программному обеспечению, достаточному для создания вашего первого SDR. Мы пока не используем реальную SDR-станцию, а работаем в среде программного эмулятора. На данном этапе вам также не обязательно полностью разбираться во всех компонентах радиоприемника и в том, как они работают, — эта первая часть закладывает основу для более глубокого изучения в последующих главах.

Глава 1 «Что такое радио» на самом базовом уровне дает определение того, что такое радиосистема. Вы узнаете, что такое радиосигналы, и увидите, как радиосистемы используют модуляцию и демодуляцию для передачи значимой информации с помощью этих сигналов.

В **главе 2 «Компьютеры и сигналы»** рассматривается, как происходят дискретизация и оцифровка радиосигналов, чтобы ваш компьютер мог их хранить и обрабатывать. Мы обсудим аналого-цифровое и цифроаналоговое преобразования и подчеркнем важность частоты дискретизации в этих процессах.

В **главе 3 «Начинаем работу с GNU Radio»** рассказывается о программном обеспечении, которое вы будете использовать на протяжении всей книги: GNU Radio и ее графическом пользовательском интерфейсе GNU Radio Companion (GRC). Мы установим и протестируем программное обеспечение и познакомимся с его интерфейсом для создания визуальных программ, называемых потоковыми графами (*flowgraph*)¹.

¹ Англ. *flowgraph* в русскоязычной литературе обычно переводится дословно как «потоковый граф». В результате словесные конструкции на русском языке с участием этого термина получаются малопонятными и громоздкими. Так как за этим термином, как вы увидите, скрывается ряд блоков, соединенных стрелками, а процесс их настройки по сути является написанием программы, то в дальнейшем в большинстве случаев мы будем называть «flowgraph» просто *блок-схемой*, а алгоритм, который она обозначает, просто *программой*. Подробнее см. раздел «GNU Radio Companion» в главе 3.

Глава 4 «Создание АМ-приемника» знакомит с процессом создания базового АМ-радиоприемника с использованием GNU Radio. Мы протестируем приемник в эмуляторе, передав ему файл с ранее полученными данными реального радио.

В **части II «Внутри приемника»** постепенно раскрываются концепции и компоненты, лежащие в основе радиоприемника, описанного в главе 4. Это дает более глубокое представление о том, как работают радиоприемники, и показывает, как можно улучшить конструкцию.

В **главе 5 «Основы обработки сигналов»** более подробно рассматриваются три основополагающих понятия из области обработки сигналов: частота, усиление и фильтры. Из практических экспериментов мы узнаем о звуковом спектре, частотных составляющих сигналов, научимся применять коэффициент усиления для усиления и ослабления и использовать различные фильтры для выделения различных составляющих сигнала.

Глава 6 «Принцип работы АМ-приемника» возвращает нас к АМ-приемнику из главы 4. Вооружившись новыми знаниями об обработке сигналов, мы познакомимся поближе с каждым узлом приемника, чтобы понять, как он работает и почему мы его настроили именно таким образом. Мы также узнаем, как приемник может настраиваться на различные сигналы.

В **главе 7 «Создание FM-радиоприемника»** показано, как адаптировать АМ-приемник для работы с FM-сигналами (все еще в эмуляторе). По ходу дела дается несколько советов по созданию более чистых и чувствительных приемников.

Часть III «Работа с SDR-аппаратурой» в основном оставляет позади мир эмулируемого радио и поможет объединить аппаратные средства SDR с блок-схемами GNU Radio. Вы узнаете, как работает аппаратный вариант SDR, и получите дополнительное представление об обработке сигналов, в том числе о том, как сигналы отправляются и принимаются.

Глава 8 «Физика радиосигналов» дополнительно заполняет пробелы в информации о свойствах и распространении радиосигналов. Мы узнаем про свойства электромагнитных волн, значение полосы пропускания сигналов и изучаем влияние шума на радиоданные.

В **главе 9 «Работа блок-схем GNU Radio с SDR-оборудованием»** описаны шаги по модификации программного обеспечения FM-радиостанции, рассмотренные в главе 7, для работы с физическим SDR-оборудованием. Наконец, мы сможем протестировать приемник на радиоданных, которые записаны вами самостоятельно, в режиме реального времени.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru