

Введение

Развитие телекоммуникационных технологий привело в последние годы к серьезным изменениям в понимании сущности, методов построения и путей развития современных цифровых сетей связи (ЦСС) различных видов. Важнейшими тенденциями развития становятся процессы конвергенции и интеграции современных компьютерных и традиционных сетей связи и появление инфокоммуникационных сетей, начиная от локальных, ведомственных (корпоративных) и заканчивая сетями глобального масштаба. В 2012 году в интересах развития цифровой связи Государственным комитетом по радиочастотам (ГКРЧ) подписан протокол, согласно которому выделяется полоса радиочастот 148,5...283,5 кГц для создания на территории РФ сетей цифрового радиовещания стандарта DRM.

Достижения в цифровой микросхемотехнике, микропроцессорной и компьютерной технике оказывают существенное влияние на развитие радиопередающей техники, резко увеличивая ее функциональные возможности и улучшая эксплуатационные показатели. Это достигается за счет использования новых принципов построения структурных схем передатчиков и схемотехнической реализации отдельных их узлов, реализующих цифровые способы формирования, обработки и преобразования колебаний и сигналов, имеющих различные частоты и уровни мощности [1–6].

Основы теории и техники цифровых приемопередающих устройств изложены в трудах В.И. Нефедова [17, 32, 44], Д.Д. Кловского [55], А.В. Воронова [39], Е.П. Угрюмова [1], В.В. Шахильдяна и А.А. Ляховкина [27] и других ученых. Результаты разработки и натурных испытаний отдельных цифровых устройств рассмотрены в работах С.А. Цепенникова [59], А.В. Рыжкова и В.М. Попова [28], Уолта Кестера и Джеймса Брайэнта [15], В.Г. Федоркова и В.А. Телца [7], М. Гольцова [12] и др.

Целью настоящей книги является обобщение, анализ, систематизация и классификация базовых функциональных схем и основных элементов цифровых радиопередающих устройств и их основных элементов, определение направлений обоснования принципов и подходов к выбору видов модуляции по критериям спектральной и энергетической эффективности, применению цифровых устройств для поддержания эффективности функционирования радиолиний с подвижными объектами.

В области телекоммуникаций и вещания можно выделить следующие основные непрерывно возрастающие требования к системам передачи информации, важными элементами которых являются радиопередающие устройства (РПДУ) [6, 7]:

- обеспечение помехоустойчивости в перегруженном радиоэфире;
- повышение пропускной способности каналов;
- экономичность использования частотного ресурса при многоканальной связи;
- улучшение качества сигналов и электромагнитной совместимости.

Современные требования к РПДУ не могут быть обеспечены методами аналоговой схемотехники, что приводит к необходимости применения цифровых технологий.

1 Тенденции развития цифровой радиопередающей техники

В цифровых системах связи используется один из двух базовых протоколов: FDMA (Frequency Division Multiple Access) — множественный доступ с частотным разделением или TDMA (Time Division Multiple Access) — множественный доступ с разделением по времени, которые несовместимы.

Принцип FDMA заключается в том, что весь частотный спектр разделяется между пользователями на равные или неравные частотные полосы. Для каждого сеанса связи выделяется отдельный частотный радиоканал (рис. 1.1,а).

Принцип TDMA — способ использования радиочастот, когда в одном частотном интервале находятся несколько абонентов, разные абоненты используют разные временные слоты (интервалы) для передачи (рис. 1.1,б). Является приложением мультиплексирования канала с разделением по времени (TDM — Time Division Multiplexing) к радиосвязи.

Основным направлением развития систем связи является обеспечение множественного доступа, при котором частотный ресурс совместно и одновременно используется несколькими абонентами (к технологиям множественного доступа относятся TDMA, FDMA, CDMA и их комбинации). При этом повышают требования и к качеству связи, т. е. помехоустойчивости, объему передаваемой информации, защищенности информации и идентификации пользователя и др. Это приводит к необходимости использования сложных видов модуляции, кодирования информации, непрерывной и быстрой перестройки рабочей частоты, синхронизации циклов работы передат-

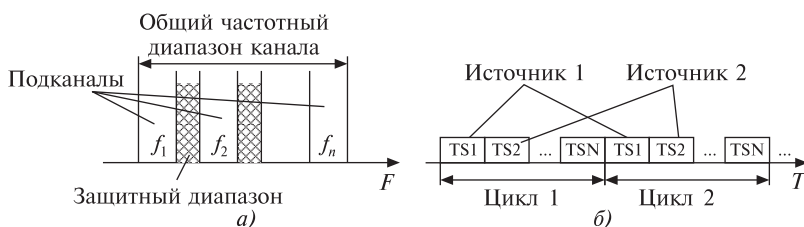


Рис. 1.1. Структура цикла FDMA (а) и TDMA (б)

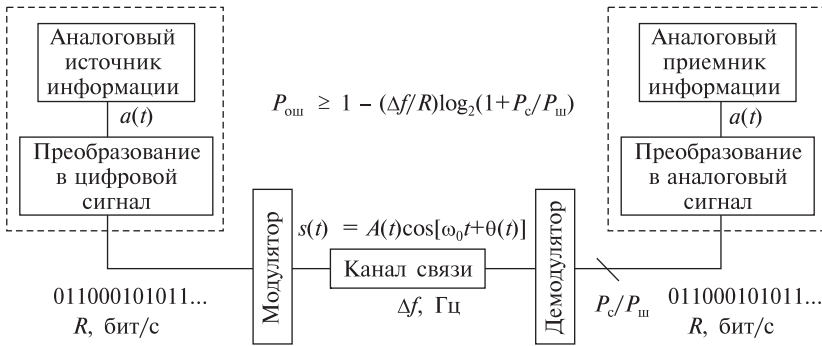


Рис. 1.2. Схема передачи информации в цифровой системе связи

чика, приемника и базовой станции, а также обеспечению высокой стабильности частоты и высокой точности амплитудной и угловой модуляции при рабочих частотах, измеряемых гигагерцами, что могут обеспечить цифровые технологии. Схема передачи информации в цифровой системе связи показана на рис. 1.2.

Принцип работы цифровых систем связи удобно рассмотрим на примере передачи звуковой информации. Звуковая информация (речь) преобразуется в цифровой формат, модулирует высокочастотный сигнал и передается в эфир по традиционным физическим законам (рис. 1.3). Если исходная информация поступает уже в цифровом виде (терминал данных, компьютер, сеть цифровой связи, Интернет и т. п.), то никакого преобразования не требуется. Для предотвращения потерь информации при передаче по эфиру используются разнообразные алгоритмы коррекции ошибок.

Процесс оцифровки и кодирования голоса осуществляется специальным устройством — вокодером. Именно от него зависит алгоритм кодирования. Разные системы цифровой связи основываются на разных вокодерах. Именно вокодером обеспечивается совместимость (или не совместимость) различных систем цифровой связи. Например, в системах APCO 25 используется вокодер IMBE, а в EDACS — Aegis.

Процесс аналого-цифрового преобразования в общем случае включает процедуру квантования (дискретизации непрерывной величины по времени, уровню или по обоим параметрам одновременно) и кодирования.

При квантовании непрерывная величина преобразуется в последовательность ее мгновенных значений, выделенных по определенному закону и в совокупности отображающих (с заранее установленной ошибкой) исходную величину. При кодировании выделенные в

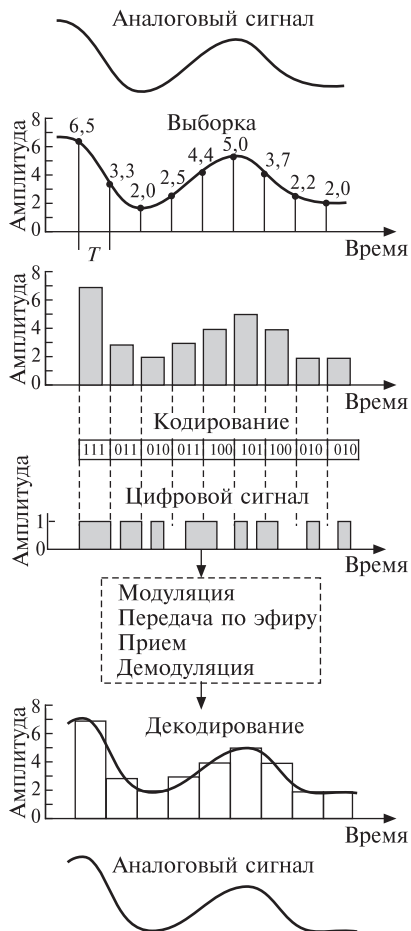


Рис. 1.3. Аналого-цифровое и цифроаналоговое преобразование

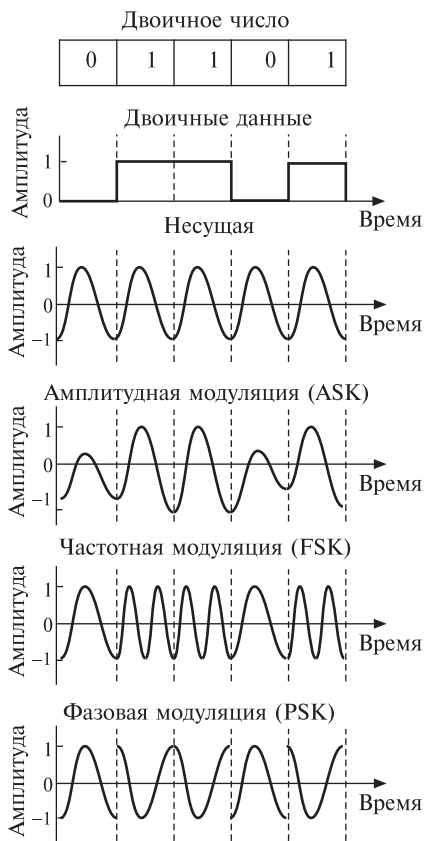


Рис. 1.4. Методы модуляции цифрового сигнала

процессе квантования мгновенные значения исходной величины измеряются и результаты фиксируются в виде цифрового (в данном случае двоичного) кода.

При попадании в приемник цифровой сигнал декодируется и с помощью процедуры цифро-аналогового преобразования восстанавливается исходный аналоговый сигнал.

Чаще всего используются три метода модуляции цифрового сигнала (рис. 1.4).

Цифровой сигнал, представляющий поток двоичных символов 0 и 1, накладывается на несущую — аналоговый высокочастотный сиг-

нал постоянной амплитуды и частоты. При амплитудной манипуляции изменяется амплитуда сигнала (например, с высокого уровня на низкий) в соответствии с двоичной информацией, при частотной манипуляции поток битов представлен изменениями между двумя частотами, при фазовой манипуляции амплитуда и частота остается постоянной, а поток битов представлен изменениями фазы модулированного сигнала.

Фундаментальным отличием аналоговых систем связи от цифровых является только метод подготовки и кодирования исходной информации. Высокочастотная же часть радиостанций, которая используется для приема и передачи радиоволн, остается практически идентичной во всех видах радиосвязи. Наиболее важными преимуществами цифровых систем связи перед аналоговыми, несмотря на сложность процессов обработки сигналов в радиоприёмнике, являются [2]:

- высокая эффективность использования радиочастотного спектра;
- более высокое качество передачи звукового сигнала, особенно в диапазонах ДВ, СВ и КВ, где применялись методы амплитудной модуляции;
- отсутствие «эфирных» помех, большая защищенность от посторонних сигналов;
- стабильное качество связи во всей зоне покрытия (и резкое снижение на границах зоны);
- интегрированные возможности по передачи данных и более высокие скорости обмена данными;
- расширение возможности шифрования без потерь качества и уменьшения зоны покрытия;
- возможность передачи дополнительной информации, в том числе видео, графической и текстовой информации.

Для систем вещания основным требованием является повышение качества сигнала на стороне абонента, что опять же приводит к повышению объема передаваемой информации в связи с переходом на цифровые стандарты вещания. Крайне важна также стабильность во времени параметров таких радиопередатчиков — частоты, модуляции. Такие требования могут быть реализованы только при формировании сигналов передатчиков цифровыми методами.

Современную радиопередающую технику невозможно представить без встроенных средств программного управления режимами работы каскадов, самодиагностики, автокалибровки, авторегулирования и защиты от аварийных ситуаций, в том числе автоматичес-

кого резервирования. Такие функции в передатчиках осуществляют специализированные микроконтроллеры, иногда совмещающие функции цифрового формирования передаваемых сигналов. Часто используется дистанционное управление режимами работы при помощи удаленного компьютера через специальный цифровой интерфейс.

Любой современный передатчик или трансивер обеспечивает определенный уровень сервиса для пользователя, включающий цифровое управление передатчиком (например, с клавиатуры) и индикацию режимов работы в графической и текстовой форме на экране дисплея. Очевидно, что здесь не обойтись без микропроцессорных систем управления передатчиком, определяющих его важнейшие параметры. Именно средства цифровой микросхемотехники, позволяющие заменить целые блоки обычных передатчиков, дают возможность существенно улучшить массогабаритные показатели передатчиков, достичь повторяемости параметров, высокой технологичности и простоты в их изготовлении и настройке.

Развитие микроэлектроники дало возможность создавать изделия с объединенными функциями в виде одной микросхемы, выполняющей функции микропроцессора, синтезатора, аналого-цифрового/цифроаналогового преобразователей и устройства шифрации речи. Современные технологии позволили создать новый класс коммуникационных устройств — цифровые системы связи, которые позволяют осуществлять передачу информации (например, в цифровых системах весь обмен речевыми сообщениями) в более узком частотном канале (12,5 и даже 6,25 кГц) без снижения качества. Так как при передаче цифровых данных используются только две частоты (для 1 и 0), то в идеале можно создавать системы связи с шириной канала в несколько герц. На сегодняшний день достигнута величина полосы радиоканала 6,25 кГц. Причем в пределах этой полосы передается как оцифрованная звуковая информация (речь), так и информация, изначально являющаяся цифровой (телеметрия, компьютерные данные, Интернет).

Учитывая сказанное выше, основными областями применения цифровых технологий формирования и обработки сигналов в РПДУ являются следующие [8].

Формирование и преобразование аналоговых и цифровых информационных НЧ сигналов, а именно: преобразование входных аналоговых сигналов в цифровые, обработка входных цифровых потоков (кодирование, шифрование, формирование пакетов и групповых сигналов в соответствии с конкретным стандартом). Ре-

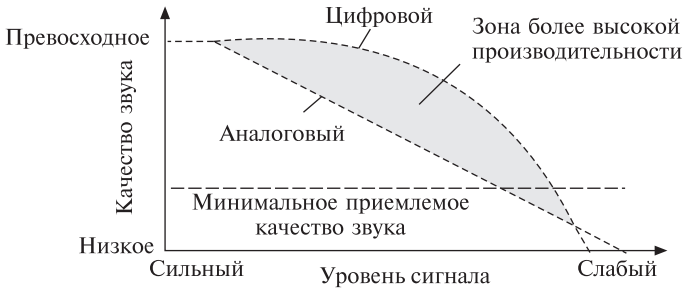


Рис. 1.5. Зависимость качества переданного звукового сигнала и размеры зоны покрытия от уровня сигнала для цифровой и аналоговой связи

шается задача цифрового формирования модулирующих НЧ сигналов, независимо от того, какими будут сами методы модуляции, применяемые в данном передатчике, — цифровыми или аналоговыми. Для решения этих задач применяют, например, Baseband-контроллеры — контроллеры НЧ информационного тракта. Применение таких схемотехнических решений оправдано в том случае, когда с целью упрощения передатчика модуляция осуществляется непосредственно в высокочастотном тракте аналоговыми методами.

Цифровые методы модуляции высокочастотных сигналов, которые условно можно разделить на два класса. Во-первых, сравнительно простые и хорошо известные схемы модуляторов на элементах цифровой схемотехники, способные формировать сигнал со строго определенным видом модуляции. Во-вторых, универсальные цифровые квадратурные модуляторы, пригодные для формирования произвольных узкополосных видов модуляции [8]. Цифровые методы модуляции в основном пока ограничены областью промежуточных или невысоких рабочих частот (до 100 МГц).

Синтез частот и управление частотой. Существует большое разнообразие методов синтеза частот, в том числе и полностью цифровых. Часто в системе синтеза частоты осуществляется и модуляция сигнала.

Цифровой перенос спектра сигналов. Устройства цифрового переноса рабочей частоты сигнала передатчика (DUC — digital up-converter) находят применение в случае не слишком высоких рабочих частот [8].

Цифровые методы усиления мощности высокочастотных сигналов. В настоящее время не создано общепризнанных и нашедших широкое применение цифровых методов усиления мощности для радиопередатчиков, хотя работы в этом направлении ведутся давно и определенные успехи достигнуты.

Цифровые системы автоматического регулирования и управления передатчиками, индикации и контроля, в том числе сопряжения передатчика с компьютером, пользовательского интерфейса и цифрового дистанционного управления.

Предполагаемый выигрыш от реализации отмеченных направлений применения цифровых технологий формирования и обработки сигналов в РПДУ показан на рис. 1.5, где в функции уровня сигнала показана зависимость качества переданного звукового сигнала и размеры зоны покрытия для цифровой и аналоговой связи.

2 Функциональные схемы цифровых РПДУ

Цифровые радиопередающие устройства (ЦРПДУ) могут быть созданы на основе цифровых контроллеров информационного тракта или с прямым цифровым формированием высокочастотных сигналов [9–12].

2.1. Радиопередатчики на основе цифровых контроллеров информационного тракта

В РПДУ на основе цифровых контроллеров информационного тракта низкочастотные модулирующие и управляющие сигналы вырабатываются специализированными цифровыми сигнальными процессорами, а сама модуляция осуществляется в аналоговых каскадах, работающих на высоких рабочих или промежуточных частотах. Цифровые сигнальные процессоры такого типа называются контроллерами информационного тракта (Baseband controller). Это специализированные ИМС, выполняющие в передатчиках и приемопередатчиках (трансиверах) целый ряд функций, основными из которых являются следующие [6, 7].

1. Преобразование поступающей в передатчик аналоговой (речевой) информации в цифровую форму встроенным АЦП и дальнейшая ее обработка перед подачей на модулятор — фильтрация, кодирование, накопление и сжатие, объединение в пакеты (Burst encoding). Формирование пакетов осуществляется с добавлением идентификационной информации, управляющих данных, синхронизирующих последовательностей, данных для проверки правильности принятого пакета и пр. Все необходимые для этого данные хранятся в ПЗУ контроллера или получают контроллером из принимаемого от других станций сигналов. Например, личный аутентификационный код передатчика хранится в ПЗУ, а в эфир передается другой код, вычисленный контроллером по встроенному алгоритму с использованием личного кода и принятого от базовой станции кодового запроса (случайного числа).

2. Формирование цифрового модулирующего сигнала и преобразование его в аналоговую форму с помощью встроенного ЦАП для подачи на модулятор.