

Лекция 3. Структура элементов сотовой связи

Цель лекции – предоставить студентам глубокое понимание структуры и функционирования элементов сотовой связи, включая мобильные станции, базовые станции и центры коммутации.

Введение

Сотовые сети играют ключевую роль в мобильной связи, обеспечивая пользователям возможность общения в любом месте. В этой лекции мы рассмотрим основные элементы сотовой связи, такие как мобильные станции, базовые станции и центры коммутации. Понимание их структуры и функций поможет осознать, как работает сотовая сеть и какие технологии используются для обеспечения качественной связи.

Мобильная станция

Мобильная станция (МС) является ключевым элементом сети мобильной связи, используемым абонентами для установления как входящих, так и исходящих соединений. Существует множество типов мобильных станций, которые различаются по дизайну, функциональности и возможностям, что позволяет удовлетворить разнообразные потребности различных рынков. Одной из важнейших характеристик МС является выходной уровень мощности, который определяет радиус действия устройства. Разные типы мобильных станций обладают разными уровнями мощности и могут уверенно работать в зонах различного размера. Например, более мощные модели подходят для использования в условиях, где необходима высокая стабильность связи, например, в автомобилях, тогда как менее мощные портативные устройства хорошо работают в городской среде.

В стандарте GSM разработано пять классов подвижных станций, каждый из которых имеет свои характеристики. Модель первого класса, обладая выходной мощностью 20 Вт, предназначена для установки на транспортные средства, в то время как портативная модель пятого класса имеет максимальную мощность всего 0,8 Вт. Эти классы обеспечивают разнообразие выбора для пользователей, в зависимости от их потребностей и условий эксплуатации. Для обеспечения требуемого качества связи в процессе передачи сообщений в мобильных станциях используется адаптивная регулировка мощности передатчика. Это позволяет оптимизировать использование энергии и поддерживать стабильное соединение даже в условиях изменения окружающей среды или перемещения абонента.

Таблица 1. Классы подвижных станций

Класс мощности	Максимальный уровень мощности передатчика	Допустимые отклонения
1	20 Вт	1,5 дБ
2	8 Вт	1,5 дБ
3	5 Вт	1,5 дБ
4	2 Вт	1,5 дБ
5	0,8 Вт	1,5 дБ

Мобильная станция (МС) стандарта GSM состоит из нескольких ключевых элементов, которые обеспечивают ее функциональность и взаимодействие с сетью. Основными компонентами МС являются:

- **Мобильный терминал (трубка)** – это устройство, которое использует абонент для связи. Он включает в себя интерфейсы для взаимодействия с пользователем, такие как дисплей и клавиатура, а также модули для передачи и приема сигналов.

- **Модуль идентификации абонента (SIM)** – это смарт-карта, на которой хранится информация об абоненте. В отличие от других стандартов, где информация может быть интегрирована в сам мобильный терминал, в GSM она отделена. Это обеспечивает гибкость для пользователей, так как SIM-карта может быть вставлена в любое устройство, поддерживающее стандарт GSM.

Данное разделение информации между мобильным терминалом и SIM-картой предоставляет несколько преимуществ для абонентов. Во-первых, пользователи могут легко менять свои мобильные аппараты по желанию, не теряя доступ к услугам сети. Это особенно удобно при переходе на новые модели или в случае потери устройства. Во-вторых, такая архитектура увеличивает уровень безопасности, так как личные данные абонента хранятся на SIM-карте, а не на самом устройстве.

Структурная схема цифрового мобильного терминала (МС) приведена на рис. 3.1. В ее состав входят: блок управления; приемопередающий блок; антенный блок.

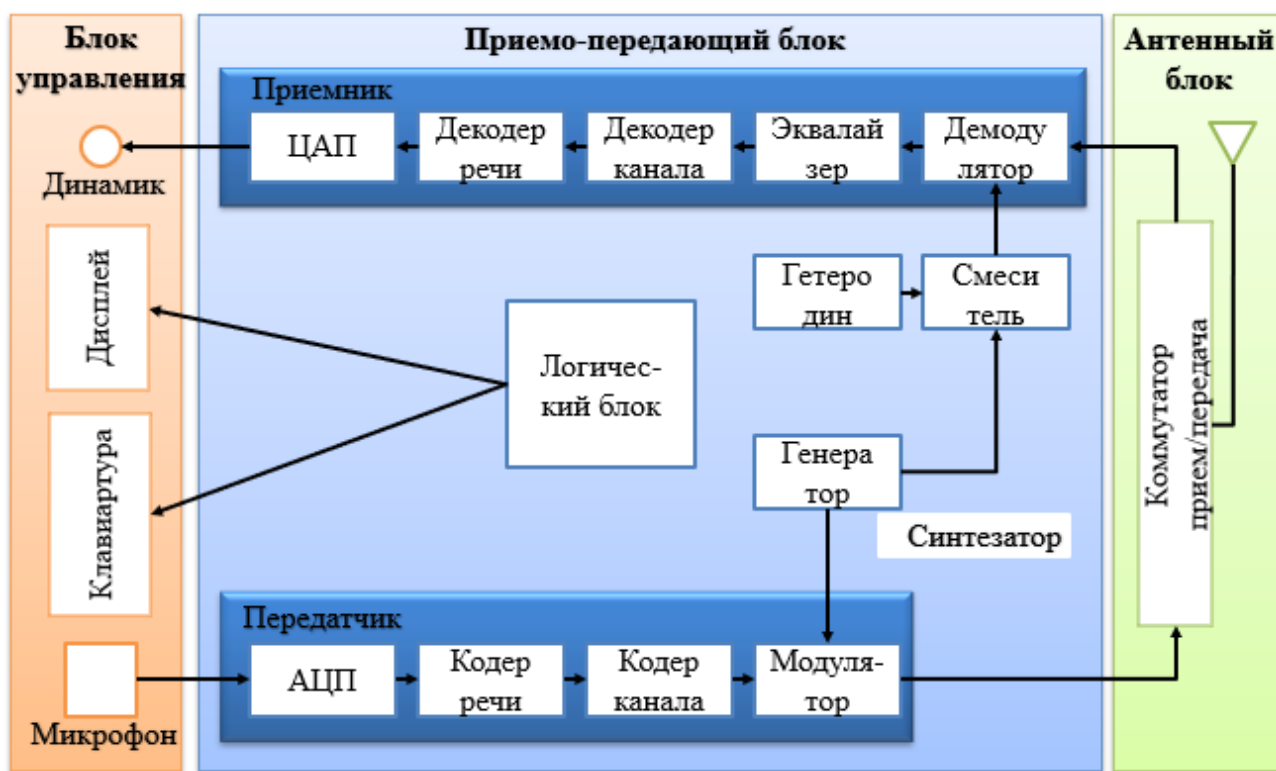


Рисунок 3.1. Структурная схема цифрового мобильного терминала

Блок управления является ключевым компонентом мобильной станции (МС). Он включает в себя микротелефонную трубку, которая состоит из микрофона и динамика. Микрофон захватывает голосовые сигналы абонента, а динамик воспроизводит звуки, например, голос собеседника. Клавиатура предназначена для набора номера телефона

вызываемого абонента и ввода команд, определяющих режим работы станции. Это позволяет абоненту выполнять различные функции, такие как отправка сообщений или доступ к меню настроек. Дисплей играет важную роль в отображении информации, связанной с работой устройства. На экране могут выводиться номера звонков, сообщения и настройки, что помогает пользователю эффективно взаимодействовать с мобильной станцией. Таким образом, блок управления обеспечивает интуитивно понятный интерфейс, позволяя абоненту легко осуществлять связь и управлять функциями устройства.

Приемопередающий блок состоит из передатчика, приемника, синтезатора частот и логического блока.

В состав передатчика входят:

- аналого-цифровой преобразователь (АЦП) - преобразует в цифровую форму сигнал с выхода микрофона (вся последующая обработка и передача сигнала речи производится в цифровой форме);

- кодер речи - осуществляет кодирование сигнала речи, т. е. преобразование цифрового сигнала с целью сокращения его избыточности;

- кодер канала - осуществляет кодирование и перемежение передаваемого сигнала с целью защиты от ошибок при передаче по радиоканалу, кроме того, кодер канала вводит в состав передаваемого сигнала информацию управления, поступающую от логического блока;

- модулятор – осуществляет перенос информации кодированного видеосигнала на несущую частоту.

Приемник по составу соответствует передатчику, но с обратными функциями входящих в него блоков:

- демодулятор - выделяет из модулированного радиосигнала кодированный видеосигнал, несущий информацию;

- эквалайзер предназначен для частичной компенсации искажений сигнала из-за многолучевого распространения (фактически это адаптивный фильтр, настраиваемый по входящей в состав передаваемой информации обучающей последовательности символов). Блок эквалайзера не является функционально необходимым и в некоторых случаях может отсутствовать;

- декодер канала - обнаруживает и исправляет ошибки в принятом сигнале, осуществляет его деперемежение, а также выделяет из входного потока и направляет в логический блок управляющую информацию;

- декодер речи - восстанавливает сигнал речи в цифровом виде со свойственной ему избыточностью;

- цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) преобразует принятый цифровой сигнал речи в аналоговую форму и подает его на вход динамика.

Логический блок - это микрокомпьютер, осуществляющий управление работой МС.

Синтезатор является источником колебаний несущей частоты, используемой для передачи информации по радиоканалу. Наличие гетеродина и преобразователя частоты обусловлено тем, что для передачи и приема используются различные участки диапазона частот.

Антенный блок включает в себя антенну, в простейшем случае четвертьволновой штырь, и коммутатор приема-передачи. Последний для цифровой станции может представлять собой электронный коммутатор, подключающий антенну либо на выход передатчика, либо на вход приемника, так как МС цифровой системы никогда не работает на прием и передачу одновременно.

Представленная на рис. 3.1 структурная схема мобильной станции является упрощенной. На ней не показаны усилители, селектирующие цепи, генераторы сигналов синхрочастот и цепи их разводки, схемы контроля мощности на передачу и прием и управления мощностью, схема

управления частотой генератора для работы на определенном частотном канале и т. п. Для обеспечения конфиденциальности передачи информации в некоторых системах используется режим шифрования. В этих случаях передатчик и приемник МС включают, соответственно, блоки шифратора и дешифратора сообщений. Мобильная станция системы GSM включает также детектор речевой активности (Voice Activity Detector), который с целью экономного расходования энергии источника питания (уменьшения средней мощности излучения), а также снижения уровня помех, создаваемых для других станций при работающем передатчике, включает передатчик на излучение только на те интервалы времени, когда абонент говорит. На время паузы в работе передатчика в приемный тракт дополнительно вводится комфортный шум. В некоторых случаях в МС могут входить отдельные терминальные устройства (например, факсимильный аппарат), подключаемые через специальные адаптеры с использованием соответствующих интерфейсов.

Базовая станция

Блок-схема базовой станции показана на рис. 3.2. Особенностью базовой станции является использование разнесенного приема, для чего станция должна иметь две приемные антенны. Кроме того, базовая станция может иметь отдельные антенны на передачу и прием. Другая особенность – наличие нескольких приемников и такого же числа передатчиков, позволяющих вести одновременную работу на нескольких каналах с различными частотами.

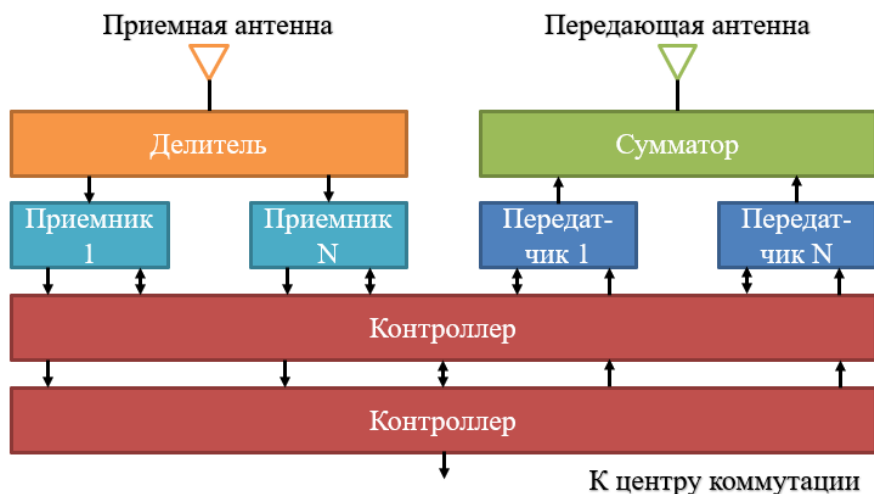


Рисунок 3.2. Блок-схема базовой станции

В базовой станции приемники и передатчики, работающие на одной частоте, имеют общие перестраиваемые опорные генераторы. Это обеспечивает их согласованную перестройку при переходе с одного канала на другой, что критически важно для стабильной работы системы связи. Количество приемопередатчиков, обозначаемое как N , варьируется в зависимости от конструкции и комплектации конкретной базовой станции. Для обеспечения одновременной работы N приемников на одну приемную и N передатчиков на одну передающую антенну между приемной антенной и приемниками устанавливается делитель мощности. Он разделяет мощность на N выходов, позволяя каждому приемнику получать необходимую долю сигнала. Аналогично, между передатчиками и передающей антенной используется сумматор мощности, который объединяет сигналы от N передатчиков на N входах. Это позволяет эффективно распределять мощность и улучшает общую

производительность системы, обеспечивая качественную связь для множества абонентов одновременно.

Приемник и передатчик имеют ту же структуру, что и в МС, за исключением того, что в них отсутствуют ЦАП и АЦП, поскольку и входной сигнал передатчика, и выходной сигнал приемника имеют цифровую форму. Возможны варианты, когда кодеки (либо только кодек речи, либо и кодек речи, и канальный кодек) конструктивно реализуются в составе ЦК, а не в составе приемопередатчиков БС, хотя функционально они остаются элементами приемопередатчиков.

Блок сопряжения с линией связи осуществляет упаковку информации, передаваемой по линии связи на ЦК, и распаковку принимаемой от него информации. Для связи БС с ЦК обычно используется радиорелейная или волоконно-оптическая линия, если они не располагаются территориально на одном месте.

Контроллер БС (компьютер) обеспечивает управление работой станции, а также контроль работоспособности всех входящих в нее блоков и узлов.

Для обеспечения надежности многие узлы и блоки БС резервируются (дублируются), в состав станции включаются автономные источники бесперебойного питания (аккумуляторы).

В стандарте GSM используется понятие системы базовой станции (СБС), в которую входят контроллер базовой станции (КБС) и несколько (например, до шестнадцати) базовых приемопередающих станций (БПРС) (рис. 3.3). В частности, три БПРС, расположенные в одном месте и замыкающиеся на общий КБС, могут обслуживать каждая свой 120-градусный азимутальный сектор в пределах ячейки или шесть БПРС с одним КБС – шесть 60-градусных секторов. В стандарте D-AMPS в аналогичном случае могут использоваться соответственно три или шесть независимых БС, каждая со своим контроллером, расположенных в одном месте и работающих каждая на свою секторную антенну.

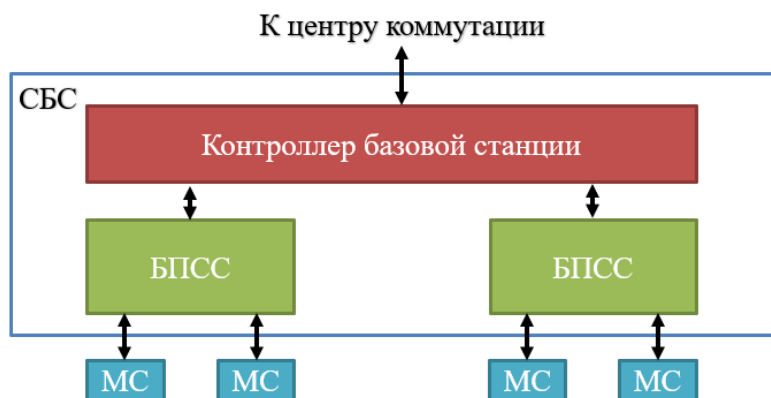


Рисунок 3.3. Система базовой станции стандарта GSM

Центр коммутации

Центр коммутации (ЦК) представляет собой автоматическую телефонную станцию, обеспечивающую все функции управления мобильной сетью. Он выполняет важнейшую задачу постоянного мониторинга мобильных станций (МС) и организует их эстафетную передачу. Это позволяет поддерживать непрерывность связи даже при перемещении абонентов из одной соты в другую, а также обеспечивает переключение рабочих каналов в случае возникновения помех или неисправностей. ЦК агрегирует потоки информации со всех базовых станций (БС) и служит выходом на другие сети связи, включая стационарные телефонные сети, сети междугородной связи, спутниковой связи и другие сотовые сети. Это делает его

ключевым элементом в архитектуре мобильной связи. Состав центра коммутации включает несколько процессоров (контроллеров), которые обеспечивают эффективное управление работой сети, обработку запросов и поддержку связи между различными элементами системы.

Блок-схема центра коммутации представлена на рис. 3.4.

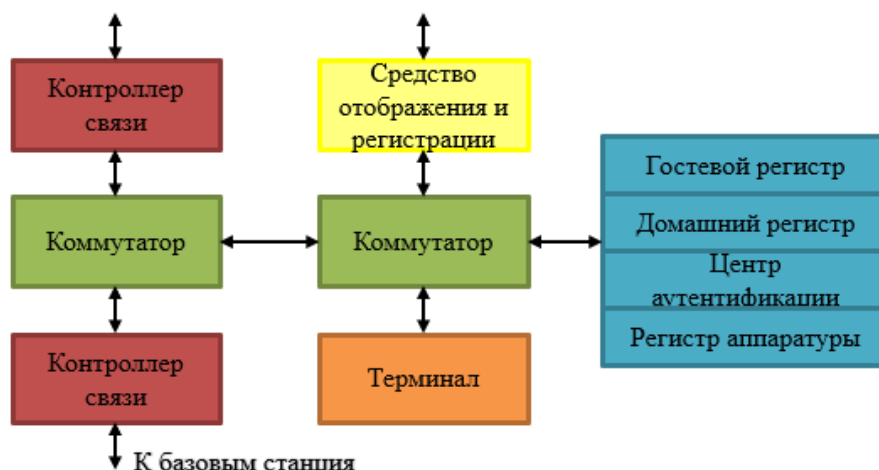


Рисунок 3.4. Блок-схема центра коммутации

Коммутатор подключается к линиям связи через соответствующие контроллеры связи, осуществляющие промежуточную обработку (упаковку/распаковку, буферное хранение) потоков информации. Управление работой ЦК и системы в целом производится от центрального контроллера. Работа ЦК предполагает участие операторов, поэтому в состав центра входят соответствующие терминалы. А также средства отображения и регистрации (документирования) информации. В частности, оператором вводятся данные об абонентах и условиях их обслуживания, исходные данные по режимам работы системы, в необходимых случаях оператор выдает требующиеся по ходу работы команды.

Важными элементами системы являются база данных (БД) – домашний регистр, гостевой регистр, центр аутентификации, регистр аппаратуры. Домашний регистр (местоположения – Home Location Register, HLR) содержит сведения обо всех абонентах, зарегистрированных в данной системе, и о видах услуг, которые могут быть им оказаны. В нем фиксируется местоположение абонента для организации его вызова, и регистрируются фактически оказанные услуги. Гостевой регистр (местоположения – Visitor Location Register, VLR) содержит сведения об абонентах-гостях (роумерах), т. е. об абонентах, зарегистрированных в другой системе, но пользующихся в настоящее время услугами сотовой связи в данной системе. Центр аутентификации (Authentication Center) обеспечивает процедуры аутентификации абонентов и шифрования сообщений. Регистр аппаратуры (идентификации – Equipment Identity Register), если он существует, содержит сведения об эксплуатируемых ПС на предмет их исправности и санкционированного использования. В частности, в нем могут отмечаться украденные абонентские аппараты, а также аппараты, имеющие технические дефекты, например, являющиеся источниками помех недопустимо высокого уровня.

Как и в БС, в ЦК предусматривается резервирование основных элементов аппаратуры, включая источник питания, процессоры и базы данных. БД часто не входят в состав ЦК, а реализуются в виде отдельных элементов. Устройство ЦК может быть различным в исполнении разных компаний-изготовителей.

Контрольные вопросы:

1. Какие основные компоненты входят в состав мобильной станции (МС) и какие их функции?
2. Какова классификация мобильных станций в стандарте GSM и какие особенности имеют различные классы?
3. В чем заключается отличие между мобильным терминалом и модулем идентификации абонента (SIM)?
4. Как устроен приемопередающий блок мобильной станции и какие основные элементы он включает?
5. Каково назначение логического блока в структуре мобильного терминала?
6. Какие особенности имеет базовая станция (БС) и как она взаимодействует с мобильными станциями?
7. Какие функции выполняет центр коммутации (ЦК) в системе мобильной связи?
8. Каковы основные задачи домашнего регистра (HLR) и гостевого регистра (VLR)?
9. Почему важна резервирование элементов в базовых станциях и центрах коммутации?
10. Как современные технологии шифрования обеспечивают безопасность передачи данных в сотовых сетях?