

# Физический уровень 4

24 апреля 2026 г.

Первое поколение мобильных телефонов было аналоговым, второе поколение — цифровое. У перехода на цифровые технологии есть несколько преимуществ. За счет оцифровки и сжатия голосовых сигналов повышается пропускная способность. Благодаря возможности шифрования голосовых и управляющих сигналов повышается безопасность. SMS.

На основе 2G было разработано несколько систем, три из которых применялись весьма широко.

Продвинутая **цифровая система телефонной мобильной связи** (Digital Advanced Mobile Phone System, D-AMPS) представляет собой цифровой вариант AMPS, способный сосуществовать с ней. Она использует TDM для нескольких одновременных звонков на одном частотном канале.

С тех пор преобладающей системой стала **Глобальная система мобильной связи** (Global System for Mobile communications, GSM). Несмотря на медленное распространение в США, сейчас она используется практически во всем мире. В основе GSM, как и D-AMPS, лежит сочетание FDM и TDM.

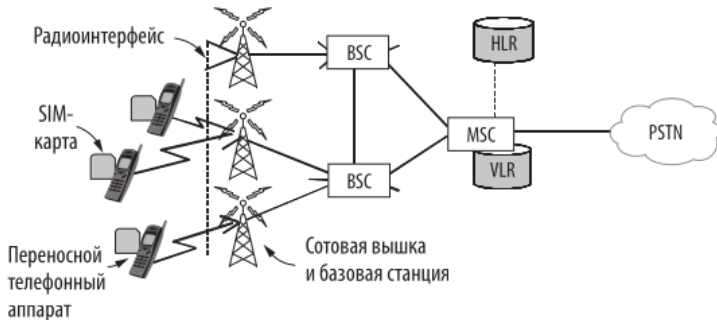
Совершенно иной системой, не основанной ни на FDM, ни на TDM, является **множественный доступ с кодовым разделением** (Code Division Multiple Access, CDMA), описанный в международном стандарте IS-95. И хотя эта технология не стала главной системой 2G, она легла в основу 3G.

GSM появилась в 1980-х как попытка создания единого европейского стандарта 2G. Эту задачу поручили комиссии по электросвязи, носившей французское название Groupe Spécialé Mobile. Первые GSM-системы были развернуты в 1991 году и быстро обрели популярность. Скоро стало очевидно, что GSM ожидает успех не только на европейском рынке, но и в отдаленных уголках мира, даже в Австралии. Поэтому GSM переименовали — для большей привлекательности в мировых масштабах.

Архитектуры GSM и AMPS совпадают, хотя названия компонентов отличаются. Сам мобильный телефон теперь состоит из переносного телефонного аппарата и съемного чипа — так называемой SIM-карты (SIM card; Subscriber Identity Module — модуль идентификации абонента), содержащей информацию о пользователе и состоянии его счета.

SIM – карта активирует переносной телефонный аппарат и содержит всю секретную информацию, с помощью которой телефон и сеть идентифицируют друг друга и шифруют разговоры. SIM-карту можно вытащить из одного аппарата и вставить в другой: он и станет вашим телефоном с точки зрения сети.

# GSM: Глобальная система мобильной связи



Мобильный телефон взаимодействует с сотовыми базовыми станциями через радиointерфейс (air interface), Все сотовые базовые станции подключены к контроллерам базовых станций (Base Station Controller, BSC). Они управляют радиоресурсами сот и отвечают за передачу обслуживания. BSC подключаются к MSC (аналогично AMPS), который маршрутизирует звонки и соединяется с PSTN.

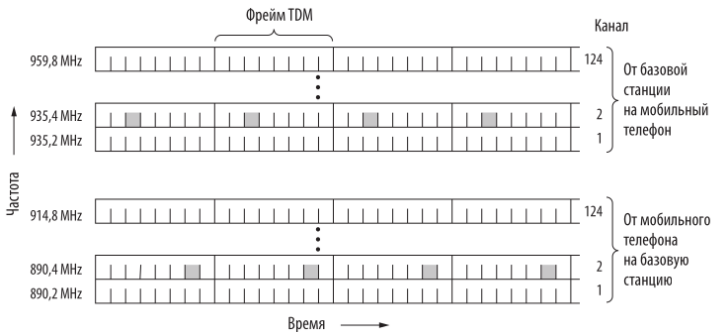
Во всем мире GSM работает на нескольких радиочастотах, включая 900, 1800 и 1900 МГц. Диапазон GSM шире, чем у AMPS, что позволяет обслуживать куда большее число пользователей. GSM — полнодуплексная система сотовой связи с частотным разделением каналов, как и AMPS. То есть все телефоны передают данные на одной частоте, а принимают — на другой, более высокой

Однако, в отличие от AMPS, отдельные пары частот в GSM делятся с помощью TDM на временные слоты. Таким образом, ее могут использовать несколько мобильных телефонов.

Для обеспечения звонков нескольких мобильных телефонов каналы GSM намного шире, чем каналы AMPS (200 кГц вместо 30 кГц). На илл. показан отдельный 200-килогерцовый канал. Работая в диапазоне 900 МГц GSM насчитывает 124 пары симплексных каналов (каждый шириной 200 кГц) и поддерживает восемь отдельных соединений, используя TDM.

Каждому активному в текущий момент устройству выделяется свой временной слот на одной паре каналов. Теоретически каждая сота может поддерживать 992 канала, но многие из них недоступны во избежание конфликтов частот с соседними сотами.

# GSM: Глобальная система мобильной связи

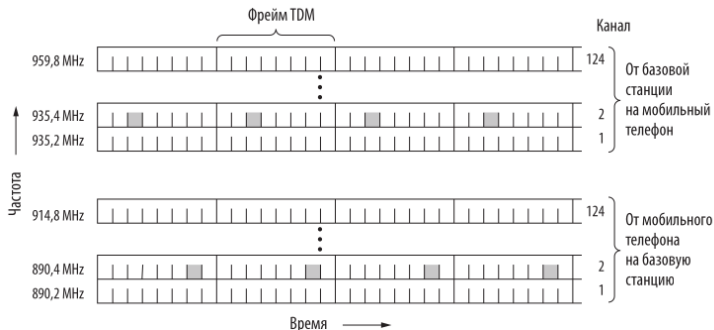


Если мобильное устройство привязано к диапазону 890,4/935,4 МГц и требует временного слота 2 для передачи сигнала на базовую станцию, то оно воспользуется четырьмя нижними заштрихованными слотами (и следующими за ними по времени), передавая в каждый слот какие-либо данные, пока не будет отправлена вся информация.

Слоты TDM на илл. — часть сложной иерархии фреймов. Каждый слот TDM имеет особую структуру, так же как и группы слотов, образующие супер фреймы.

Каждый слот TDM состоит из 148-битного фрейма данных, занимающего канал на 577 мкс (включая защитный интервал времени в 30 мкс после каждого слота). Каждый фрейм начинается и завершается тремя битами 0 в целях разграничения фреймов. Он также содержит два 57-битных поля Информация; в каждом — контрольный бит, указывающий, для чего предназначено это поле (для голоса или данных). Между полями Информация располагается 26-битное поле Синхронизация, с помощью которого приемник производит синхронизацию по границам фреймов отправителя.

# GSM: Глобальная система мобильной связи



Фрейм данных передается за 547 мкс, но передатчик может отправлять лишь по одному фрейму каждые 4,615 мс, поскольку делит канал еще с семью другими устройствами. Общая скорость каждого канала, составляющая 270 833 бит/с, делится между восемью пользователями.

Впрочем, как и в AMPS, служебные данные «съедают» значительную часть полосы пропускания, оставляя в конечном итоге 24,7 Кбит/с для полезных данных в расчете на каждого пользователя (до коррекции ошибок). После коррекции на голосовые данные остается 13 Кбит/с.

Как видно из илл., один фрейм TDM состоит из восьми фреймов данных, а один 120-мс суперфрейм состоит из 26 фреймов TDM. Из них слот 12 используется для управления, а слот 25 зарезервирован для использования в будущем, так что для пользовательского трафика доступно только 24 фрейма.

Третье поколение, 3G, служит для цифровой передачи голоса и данных. Два основных варианта 3G. WCDMA (Wideband CDMA — широкополосный CDMA) от компании Ericsson. Его продвигал Европейский союз, где он называется UMTS. Второй — CDMA2000, предложенный компанией Qualcomm в США. У этих систем больше сходств, чем различий: обе основаны на широкополосном варианте CDMA.

В 2008 году МСЭ описал набор стандартов для систем **4G**. Поколение 4G (или IMT Advanced) полностью основано на технологиях сетей с коммутацией пакетов, как и его предшественники, например технология LTE (Long Term Evolution — стандарт «долгосрочного развития»).

Главное преимущество 4G по сравнению с предыдущими системами 3G — использование коммутации пакетов вместо коммутации каналов. Это возможно благодаря нововведению — **развитому ядру пакетной коммутации** (Evolved Packet Core, EPC).

Фактически EPC является упрощенной IP-сетью, отделяющей голосовой трафик от сети данных. Она производит передачу как голоса, так и данных в IP-пакетах. Следовательно, EPC является сетью передачи голоса по IP (VoIP, Voice over IP);

ЕРС должна распределять ресурсы между множеством пользователей так, чтобы качество передачи голоса оставалось высоким. Требования к быстродействию LTE включают, помимо прочего, пиковую пропускную способность в 100 Мбит/с входящего и 50 Мбит/с исходящего направления.

Одна из целей, поставленных перед 5G, — увеличение пропускной способности на единицу площади на три порядка (то есть в 1000 раз больше, чем у 4G)

Один из простейших способов повышения пропускной способности сети — увеличить количество сот на единицу площади. В то время как в сетях 1G соты были размером в сотни квадратных километров, сети 5G ориентированы на меньшие соты, включая пикосоты (диаметром менее 100 м) и даже фемтосоты (радиусом действия как у Wi-Fi, в несколько десятков метров).

Одно из важнейших преимуществ уменьшения размера сот — возможность повторного использования спектра частот в заданной географической области. Это снижает число абонентов, конкурирующих за ресурсы конкретной базовой станции. Конечно, уменьшение размеров сот имеет и недостатки, в том числе усложнение управления мобильностью пользователей и передачи обслуживания.

Повышение полосы пропускания за счет использования волн миллиметрового диапазона. Основная часть спектра в предыдущих технологиях относилась к диапазону от нескольких сотен мегагерц до нескольких гигагерц (что соответствует волнам длиной от нескольких сантиметров до метра). Этот спектр все больше переполняется, особенно в местах скопления людей в час пик.

В миллиметровом же диапазоне (20–300 ГГц, с длинами волн менее 10 мм) существуют значительные полосы неиспользуемого спектра. До недавних пор этот спектр считался неподходящим для беспроводной связи, поскольку более короткие волны хуже распространяются.

Повышение спектральной эффективности посредством усовершенствований технологии MIMO («multiple input, multiple output» — «несколько входов, несколько выходов»). MIMO увеличивает пропускную способность радиоканала за счет использования нескольких передающих и принимающих антенн. Это позволяет использовать многолучевое распространение, при котором радиосигнал может достичь приемника двумя или более путями.