

Сети связи с подвижными объектами

Литература

Основная

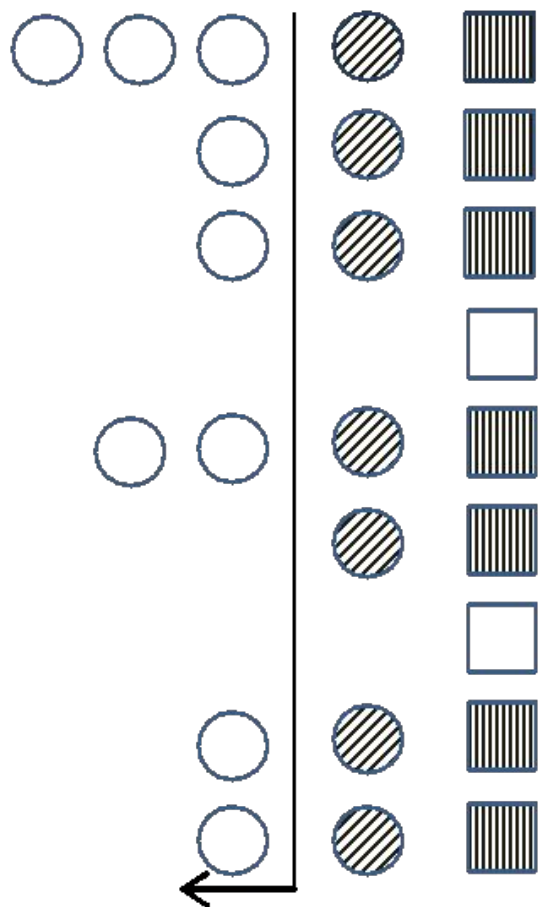
1. Горелов Г.В., Роенков Д. Н., Юркин Ю. В. Системы связи с подвижными объектами: учеб. пособие для студ., обуч. по спец. Системы обеспечения движения поездов / под ред. Г. В. Горелова. – М.: ФГБОУ "УМЦ ЖДТ", 2014. library.miit.ru.

Дополнительная

1. Катунин Г.П. Телекоммуникационные системы и сети. Т.2: Радиосвязь, радиовещание, телевидение. – М.: Горячая линия-Телеком, 2014. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/63223>.
2. Весоловский Кшиштоф. Системы подвижной радиосвязи. – М.: 2006.
3. Строганов М. П., Щербаков М. А. Информационные сети и телекоммуникации. – М.: 2008.
4. Васин В. А., Власов И. Б., Дмитриев Д. Д. и др./ Под ред. Федорова И. Б. Информационные технологии в радиотехнических системах. – М.: 2011.

Лекции – 8 час; практические занятия – 8 час; курсовая работа ²– «Расчет параметров системы связи стандарта GSM-R»

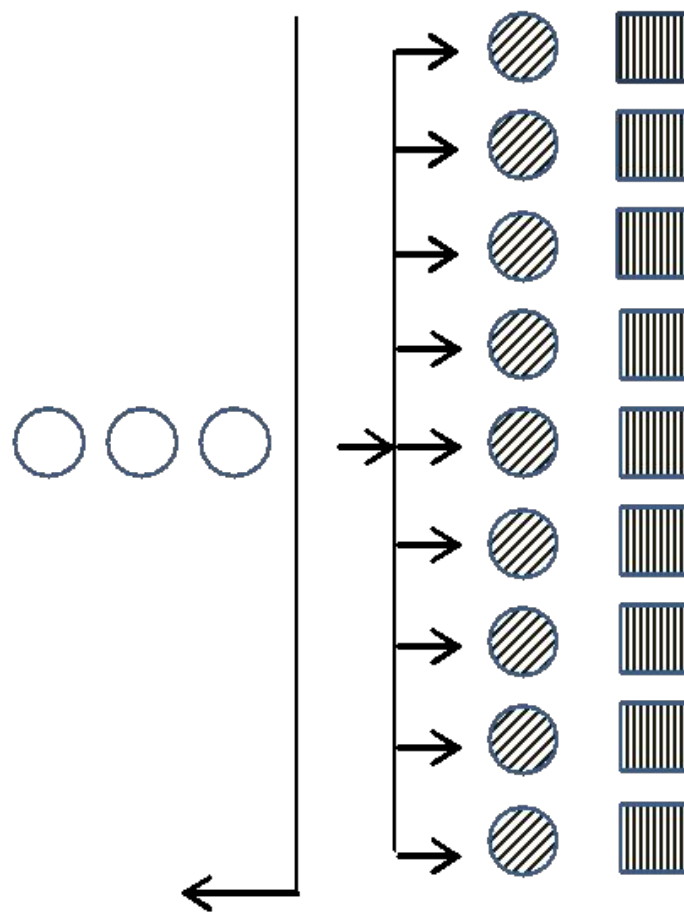
Конвенциональная система



Пользователи,
ожидающие
обслуживания

Обслуживаемые
пользователи

Транкинговая (сотовая) система



Пользователи,
ожидающие
обслуживания

Обслуживаемые
пользователи

Каналы:  – занятые,  – свободные.

ТИПЫ СИСТЕМ СВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

По функциональному назначению:

- системы персонального радиовызова (пейджинговые);
- системы бесшнуровой телефонии;
- транкинговые системы;
- системы сотовой подвижной связи;
- системы персональной спутниковой связи;
- системы беспроводного доступа в локальные сети.

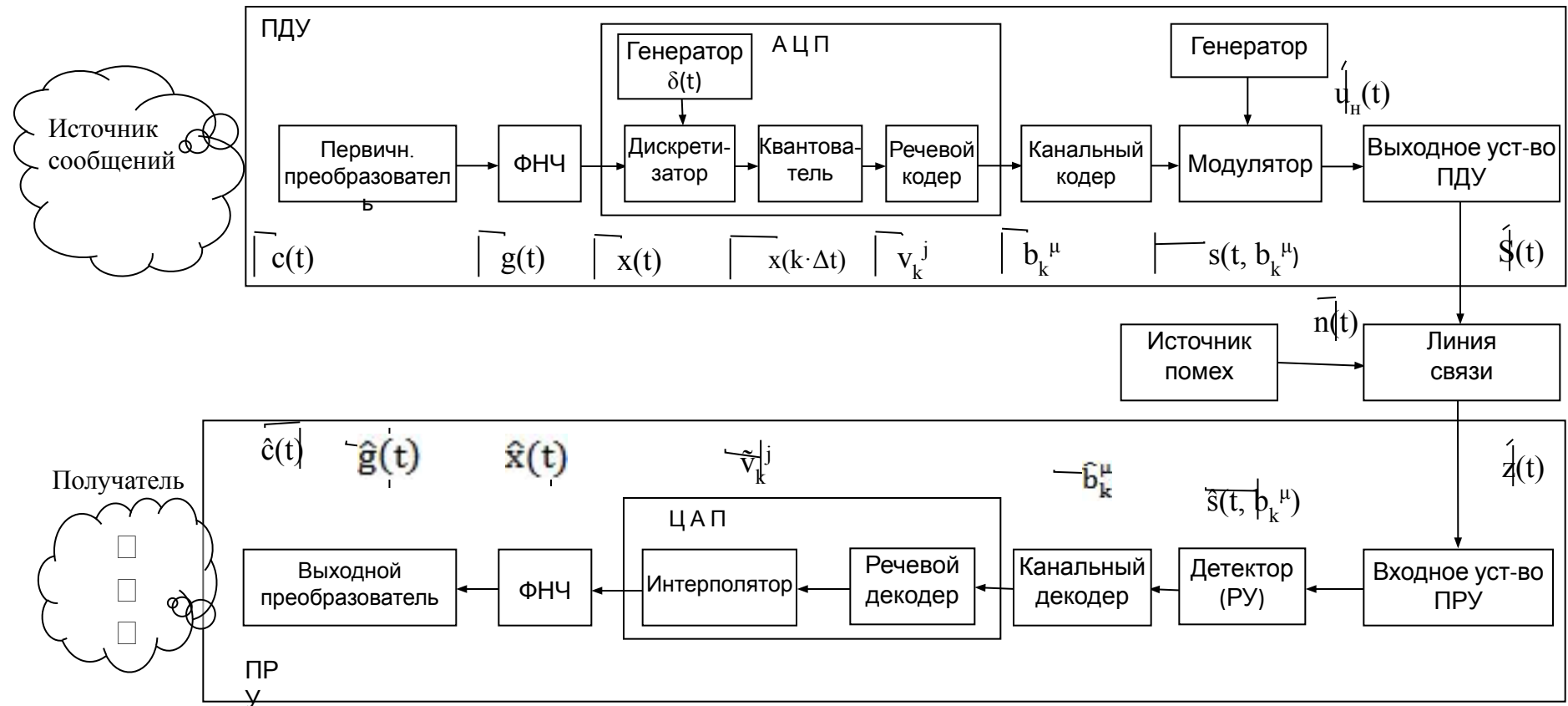
По типу передаваемых сигналов и аппаратуре:

- аналоговые системы;
- цифровые системы.

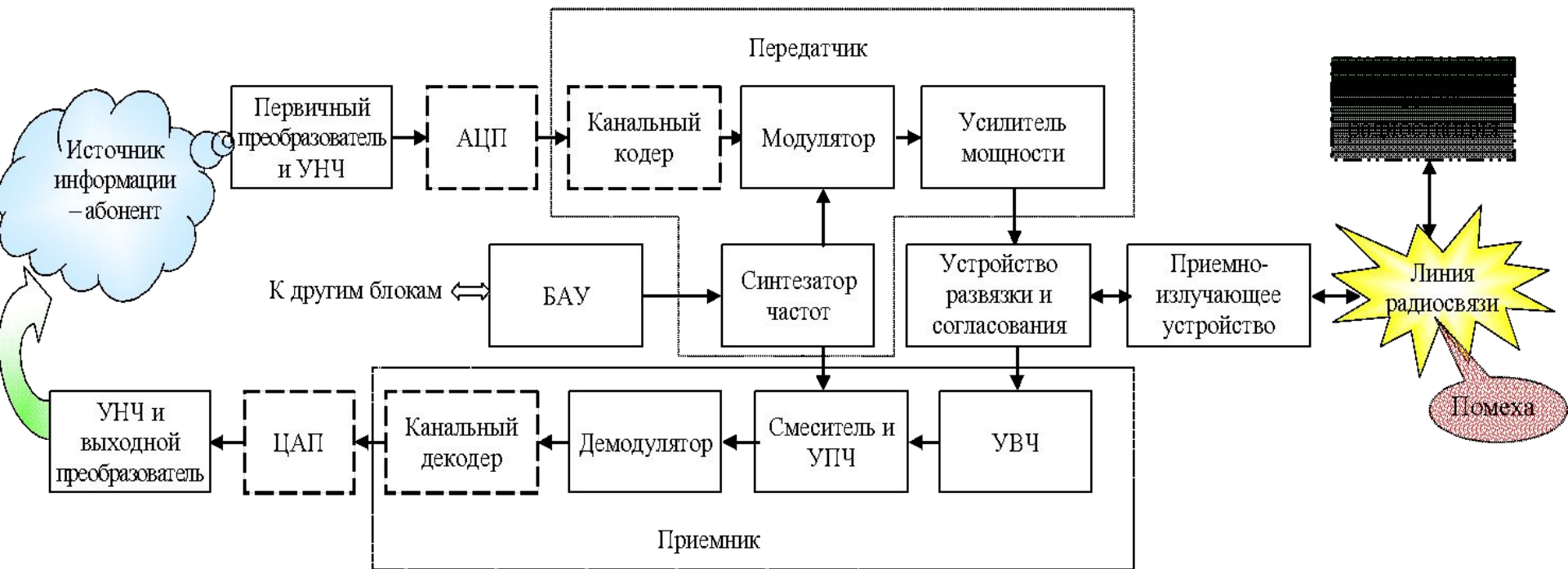
По организации каналов:

- ❖ одноканальные;
- ❖ многоканальные.

Структурная схема системы связи



Структурная схема радиостанции



Методы многостанционного доступа:

с частотным разделением каналов (МДЧР / FDMA);

с временным разделением каналов (МДВР / TDMA);

с кодовым разделением каналов (МДКЧ / CDMA);

комбинированные методы (МДВР – МДЧР / TDMA – FDMA и др.).

Методы дуплексной связи:

передача с частотным разделением направлений;

передача с временным разделением направлений.

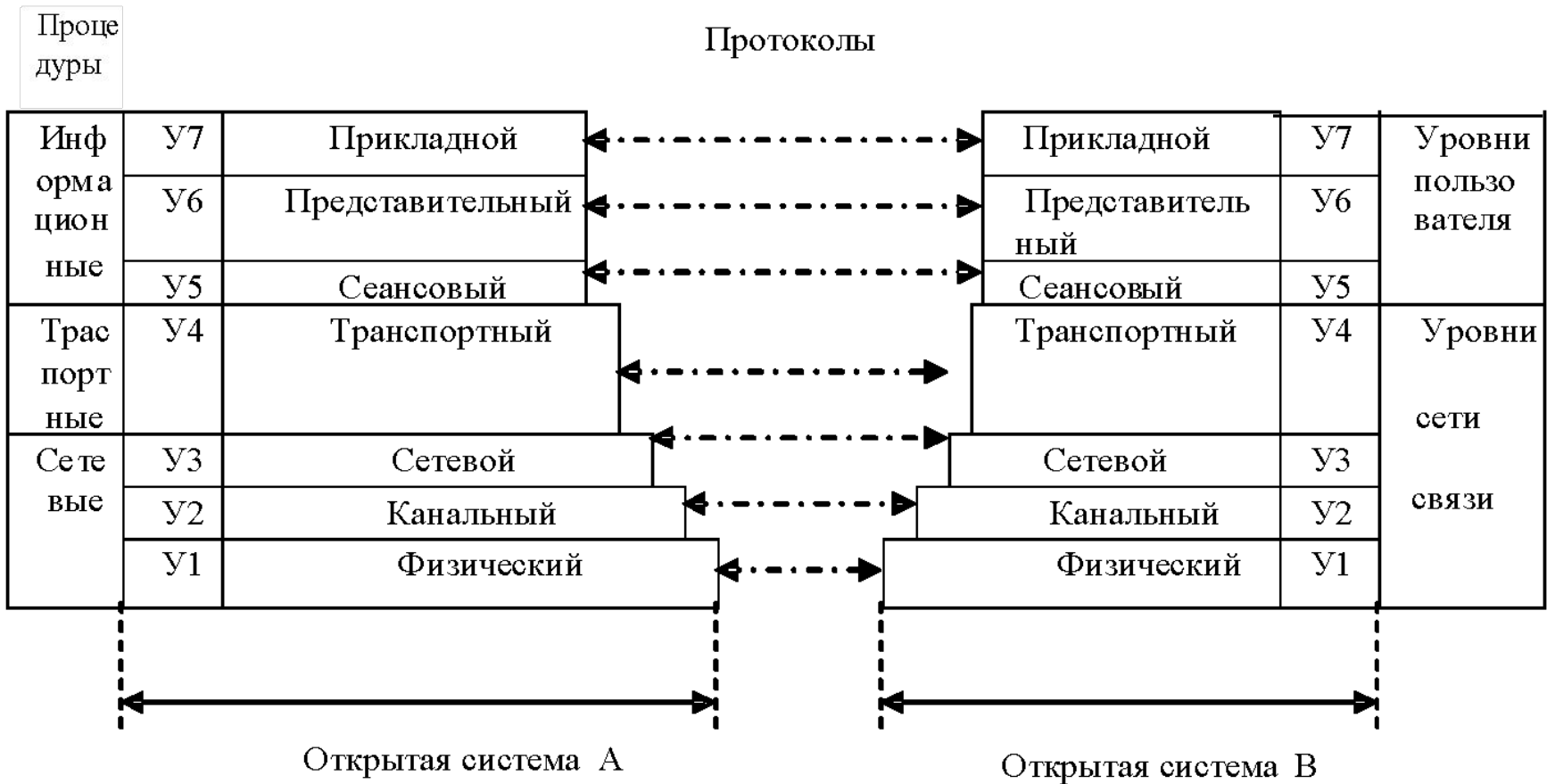
Методы (протоколы) доступа к каналу:

ALOHA;

SALOHA;

многостанционный доступ с контролем несущей (МДКН / CSMA)

Эталонная модель взаимодействия открытых систем (ISO/OSI)



Эталонная модель взаимодействия открытых систем

Основа описания сетевой стратегии, разделяя задачу на семь относительно автономных уровней, и определяя их функции и правила взаимодействия.

- 1) Физический уровень (Physical).** Определяет взаимодействие систем с физической средой, формирование и контроль сигнала, синхронизацию, организацию физического канала на звене и контроль за его целостностью; осуществляет побитовую передачу блоков (кадров) по линии связи.
- 2) Канальный уровень (Data link).** Определяет формирование блока (или кадров из пакетов) данных, фазирование, управление каналом на звене, контроль качества передачи на звене (исправление ошибок).
- 3) Сетевой уровень (Network).** Определяет выбор оптимального маршрута передачи сообщения, управление потоками информации, организация обходных маршрутов с использованием специальных пакетов.

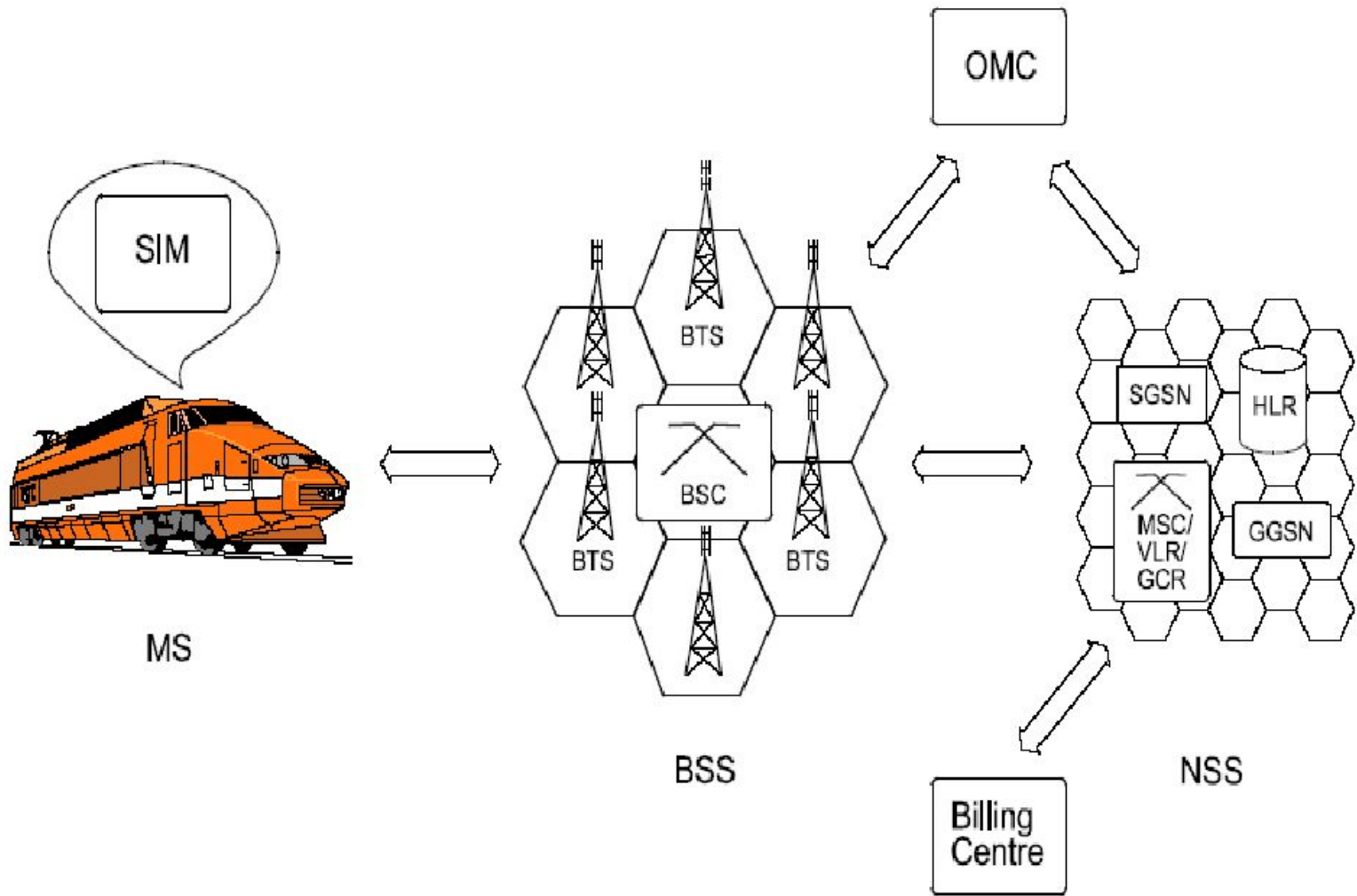
Эталонная модель взаимодействия открытых систем

4) Транспортный уровень (Transport). Описывает контроль качества обмена информацией между системами на выбранном маршруте, контроль за соблюдением параметров соединения (обязательств перед пользователями), контроль передачи «из конца в конец». Обеспечивает разделение сообщения на пакеты.

5) Сеансовый уровень (Session). Обеспечивает организацию сеансов связи (начало, конец), синхронизацию диалога между прикладными процессами.

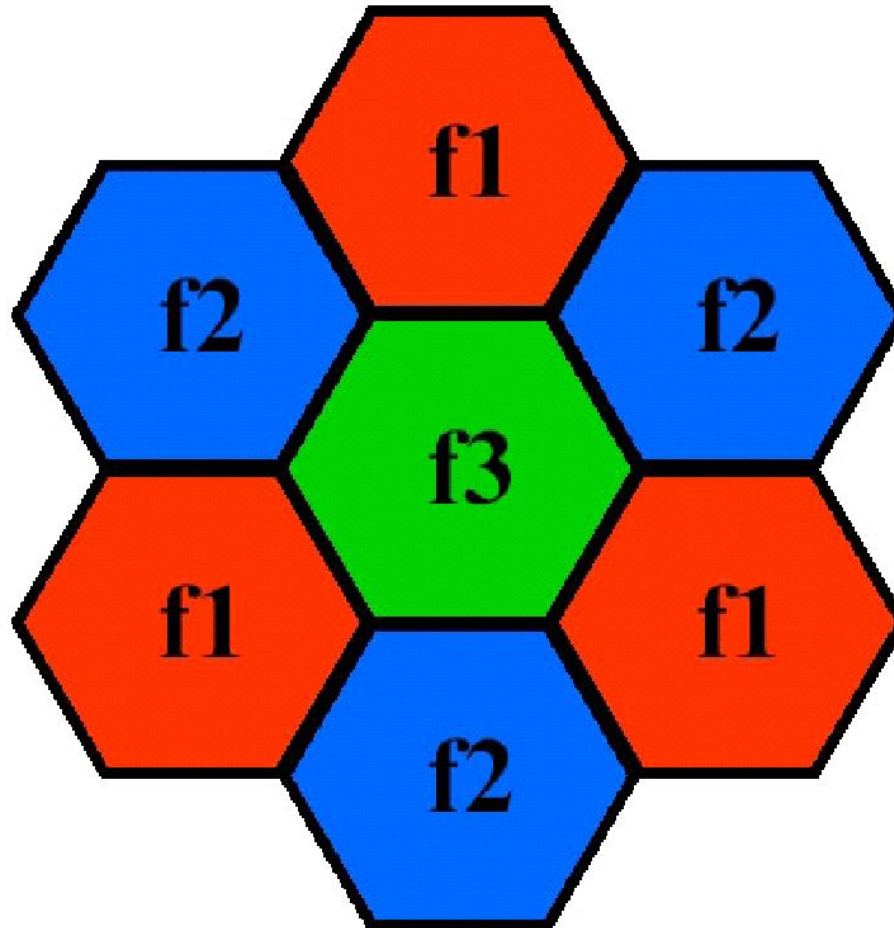
6) Уровень представительный (Presentation). Определяет способ превращения информации, предоставленной в произвольном виде, в стандартный: перекодировка сообщения с седьмого уровня в единое кодовое представление принятого на сети связи. Например, операции компрессии или шифрования.

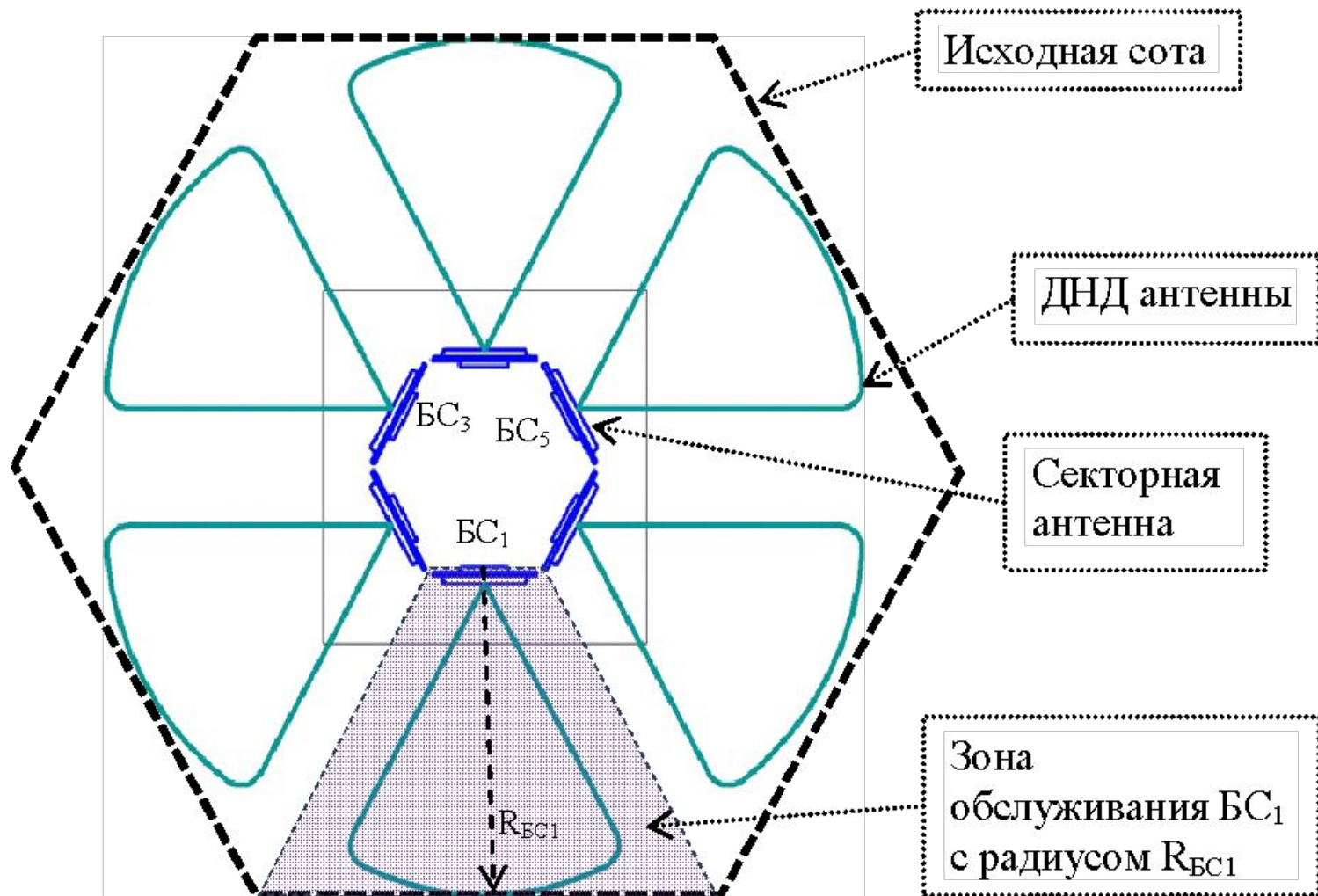
7) Прикладной уровень (Application). Определяет сетевые сервисы, используемые конечными пользователями и приложениями (Application protocol). Как пример, можно привести передачу файлов, подключение удаленных дисков, управление удаленным сервером.



Архитектура сотовой сети

Передатчик с мачтой и антенной, системой питания и некоторыми дополнительными устройствами получил название «базовая станция» (БС). Идею повторного использования частот иллюстрирует рисунок, на котором несущие частоты передатчиков в сотах обозначены f_1 , f_2 и f_3 .





Сота с секторными антеннами и зонами обслуживания БС

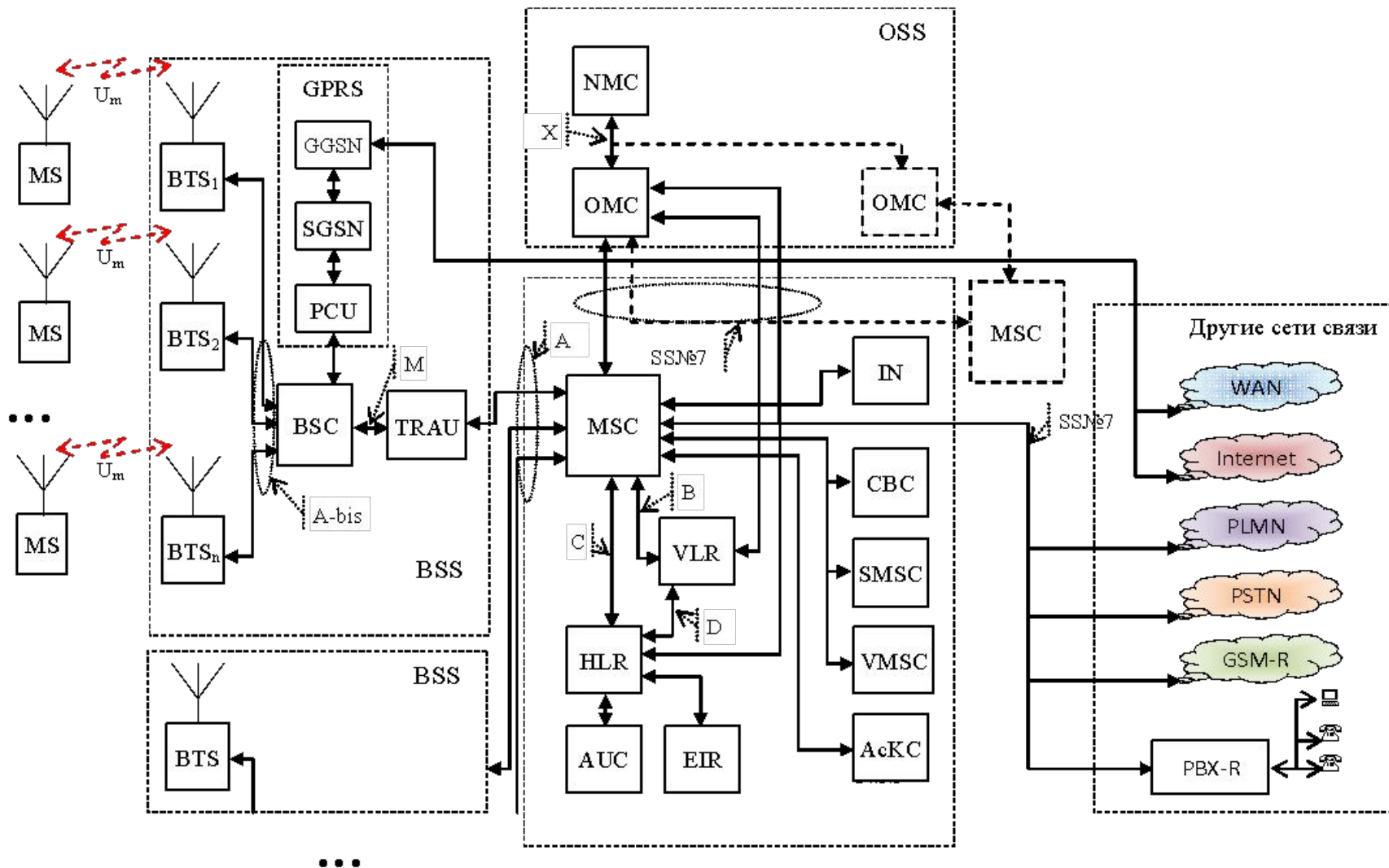
СТРУКТУРА ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ



ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ TETRA И GSM-R

Характеристика	TETRA	GSM-R
Диапазон рабочих частот, МГц	457,4-458,45; 467,4-468,45	876-880, 921-925
Способ разделения каналов	TDMA	TDMA
Число рабочих каналов в рабочей полосе	164	152
Дуплексный разнос каналов, МГц	10	45
Разнос частот между соседними каналами, кГц	25	200
Число каналов на одной несущей	4	8
Вид модуляции	$\pi/4$ DQPSK	GMSK
Мощность базовой станции, Вт	1-40	20-60
Мощность возимой радиостанции	1-30	8
Мощность носимой радиостанции	1-3	2
Рекомендуемый радиус зоны обслуживания, км	10-12	5-7,5
Время установления вызова, с	0,3	5-6; аварийный - 1
Скорость передачи данных, кбит/с	7,2; 28,8	9,6
Хэндовер	есть	есть
Роуминг	есть	есть
Режим прямой связи между абонентскими терминалами	есть	нет
Аварийный, индивидуальный, групповой вызов	есть	есть
Работа абонентской радиостанции в режиме ретранслятора	есть	нет

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ GSM-R



ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СОСТАВ СЕТИ GSM-R

- подсистемы базовых станций – BSS, включающей узел поддержки пакетной передачи данных – GPRS;
- сетевая подсистема – NSS;
- подсистема (центр) эксплуатации и управления сетью – OSS,
- центр расчетов за пользование сетью – Billing Centre;
- абонентские терминалы – MS.

ПОДСИСТЕМА БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ BSS

- базовые станции BTS, содержащие приемо-передающее оборудование и обеспечивающие радиосвязь с абонентскими терминалами MS;
- коммутатор базовых станций BSC, к которому может быть подключено несколько (до 10) BTS, осуществляющий предварительную обработку вызовов MS;
- оборудование перекодировки и адаптации быстрогодействия TRAU, обеспечивающее взаимодействие BSS с MSC.

СЕТЕВАЯ ПОДСИСТЕМА NSS

- центр коммутации мобильной связи MSC,
- домашний регистр HLR, в котором записана информация о постоянных абонентах данной сети,
- гостевой регистр VLR, в котором записаны данные переместившихся мобильных абонентов,
- регистр группового вызова GCR,
- центр аутентификации AUC, выполняет процедуры удостоверения подлинности абонента,
- регистр базы данных идентификации устройств EIR, в котором хранятся данные об абонентских устройствах ,
- центр подтверждения аварийных вызовов AskC;
- центр трансляции сообщений в сотах CBC;
- центр системы голосовой почты VMSC;
- центр услуг кратких сообщений SMSC;
- интеллектуальную сеть IN, обеспечивающую выполнение специализированных для железнодорожного транспорта услуг.

ПОДСИСТЕМА ЭКСПЛУАТАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ СЕТЬЮ OSS

- центр эксплуатации и технического обслуживания (ОМС). Выполняет функции текущего руководства функционирования сети, ее технического обслуживания, обновления системы, проведения операций по загрузке команд и программного обеспечения на BSS, MSC, HLR, VLR и AuC;
- центр обслуживания сети и управления сетью (NMC). Центральный пункт наблюдения за сетью GSM и анализа ее функционирования.

ВОЗМОЖНОСТЬ ВЫХОДА В ДРУГИЕ СЕТИ

- в диспетчерские сети ОТС (поездного диспетчера, дежурного по станции, дежурного по депо и др.) – FDN, в состав которых входит коммутатор фиксированной диспетчерской связи (PBX-R);
- в сети GSM-R других железных дорог (соседних стран или частных);
- в сети GSM общего пользования различных операторов – PLMN;
- в сети фиксированной связи ведомственные (ОбТС) и общего пользования – PSTN;
- в сети пакетной передачи данных: локальные – WAN и общего пользования – Internet.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ GSM-R

Стандарт общедоступных сетей GSM обеспечивает следующие функции:

- посылка и прием вызова в пределах всей сети;
- передачу экстренных вызовов;
- передачу данных со скоростью 9,6 кбит/с;
- передачу коротких сообщений (SMS);
- выход в телефонные сети общего пользования;
- защита переговоров от прослушивания.

Стандарт GSM-R обеспечивает дополнительные функции:

— специфические требования железных дорог:

- адресация по номеру поезда;
- динамическая адресация диспетчеров (вызов того диспетчера, на участке ответственности которого в данный момент времени находится подвижный объект);
- передача фиксированных коротких сообщений (команд);

— дополнительные требования, расширяющие и совершенствующие стандарт GSM:

- групповой вызов;
- циркулярный вызов;
- приоритетный вызов;
- ускоренный набор номера вызываемого абонента.

АУТЕНТИФИКАЦИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ

Аутентификация – важнейшая мера безопасности, предотвращающая несанкционированный доступ абонентов к сети GSM-R и предоставляемым ею услугам. Успешная аутентификация является обязательным условием пользования абонентом GSM-R услугами сети. Без предварительной аутентификации оборудование мобильной связи может использоваться только для вызовов служб экстренной помощи.

Для аутентификации каждому абоненту GSM-R назначаются индивидуальные параметры (включая индивидуальный ключ аутентификации абонента K_i и триады, состоящие из случайного числа RAND, отклика со знаком SRES, ключа шифрования K_c), а также номера версий жестко определенных алгоритмов (A3, A8).

Предварительно рассчитанные триады и алгоритмы хранятся в сети (HLR/AUC). Алгоритмы A3 и A8 хранятся в дополнение к параметру K_i на мобильной станции в SIM-карте.

Параметры безопасности SRES и K_c рассчитываются независимо друг от друга в мобильной станции. SRES используется в VLR для фактического аутентификационного сравнения. K_c используется в качестве шифровального параметра в MS. При совпадении значений SRES, полученных от MS и рассчитанного в MSC, абонент получает доступ в сеть.

Идентификация – процедура отождествления абонентского аппарата MS (радиооборудования), с одной из групп, обладающих определенными свойствами или признаками. Используется для выявления утерянных, украденных или неисправных (фальсифицированных) аппаратов.

Процедура вызова.

1. MS посылает информацию по установлению вызова (MSISDN), набираемую абонентом GSM-R, через свою базовую станцию в соответствующий MSC (MSC_1).
2. MSC_1 запрашивает информацию, относящуюся к вызывающему абоненту GSM, в VLR_1 .
3. MSC_1 определяет HLR вызываемого абонента из полученной информации (MSISDN) и устанавливает с ним сигнальное соединение.
4. HLR передает запрос в VLR_2 , в зоне обслуживания которого находится в данный момент вызываемый абонент.
5. VLR_2 отправляет запрошенный номер мобильного абонента в роуминге (MSRN) обратно в HLR. HLR переправляет MSRN в MSC_1 .
6. Исходя из MSRN, MSC_1 устанавливает соединение с MSC_2 , в зоне действия которого в данный момент находится вызываемый абонент GSM-R.
7. Сигнал персонального вызова требуемого MS посылается на все BTS/BSC зоны обслуживания, так как сота, в которой находится вызываемый MS, не известна MSC_2 .
8. Информация о нужной соте передается в MSC_2 в ответ на принятый сигнал системы персонального вызова.
9. Устанавливается соединение с вызываемым абонентским терминалом.

ЧАСТОТНЫЙ РЕСУРС СИСТЕМ GSM

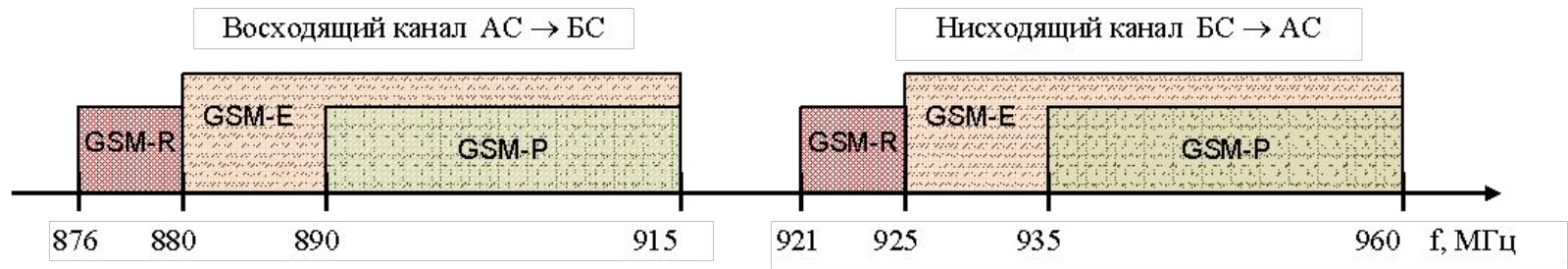
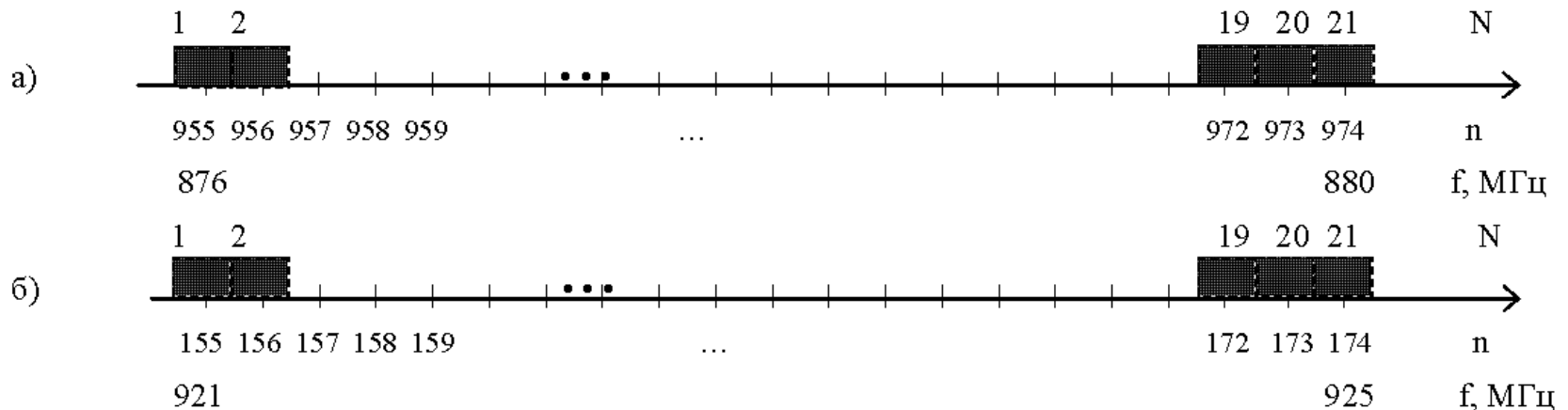


Рис.1.3. Полосы частот для систем связи стандартов GSM

В соответствии с документом ETSI¹ EN 300 910 V8.5.1 (2000-11) номера каналов n сетки частот GSM-R определяются по формулам (частоты в МГц):

- на интервале 921-925 МГц – $f_n = 890 + 0,2 \cdot n$, $155 \leq n \leq 174$;
- на интервале 876-880 МГц – $f_n = 890 + 0,2 \cdot (n - 1025)$, $955 \leq n \leq 974$.

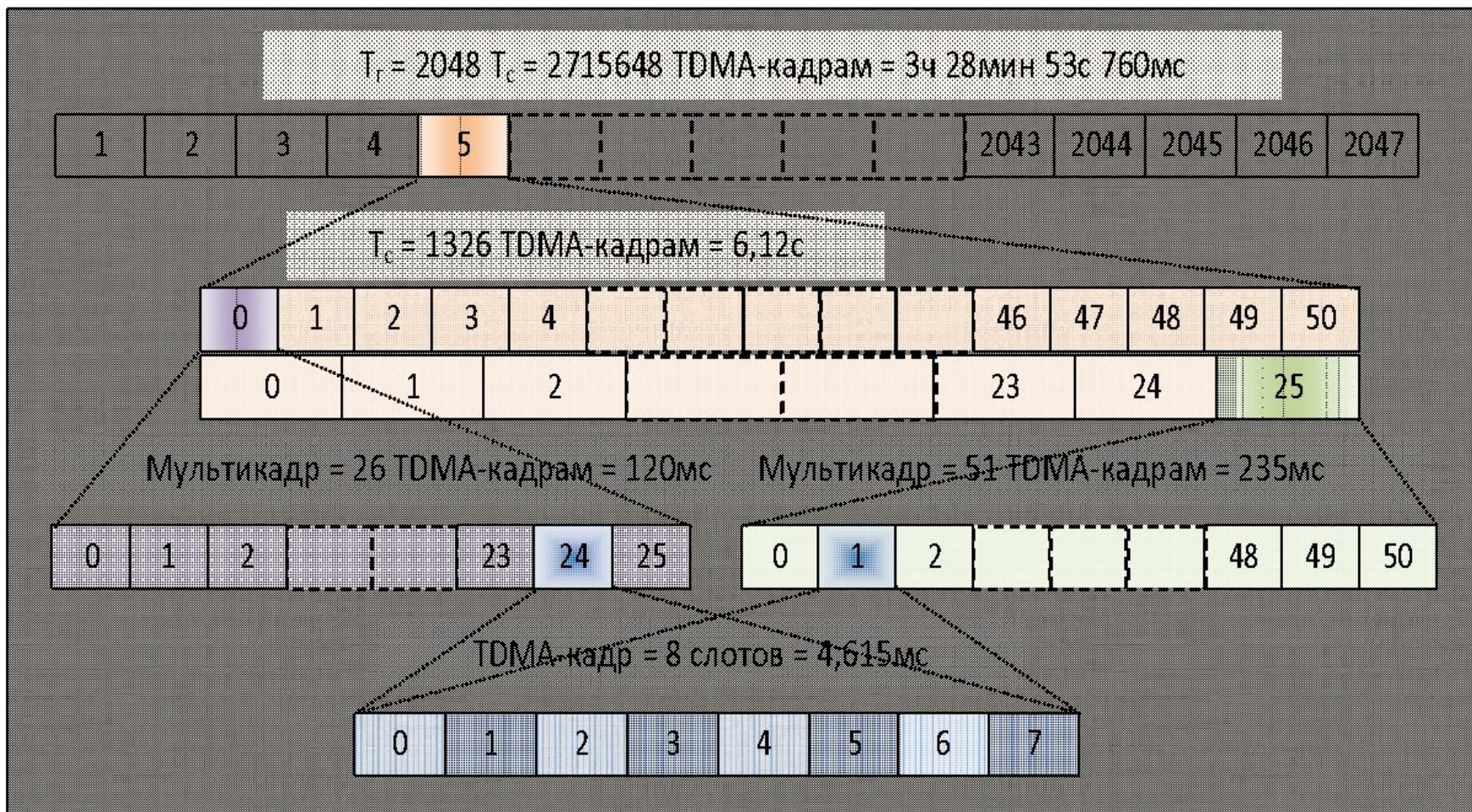
Сетки частот для восходящего и нисходящего каналов имеют вид, показанный на рис. 1.4,а и рис. 1.4,б соответственно, на которых также указаны порядковые номера $N \in \{1 \dots 21\}$.



¹ ETSI – Европейский институт по стандартизации в области телекоммуникаций

Структура кадров системы GSM-R

2) 51-позиционные TDMA-кадры мультикадра.



Длина периода последовательности в этой структуре, которая называется гиперкадром, равна $T_r = 3 \text{ ч } 28 \text{ мин } 53 \text{ с } 760 \text{ мс}$ (12533,76 с). Гиперкадр делится на 2048 суперкадров, каждый из которых имеет длительность $T_c = 12533,76/2048 = 6,12 \text{ с}$.

Суперкадр состоит из мультикадров. Для организации различных каналов связи и управления в стандарте GSM используются два вида мультикадров:

- 1) 26-позиционные TDMA-кадры мультикадра;
- 2) 51-позиционные TDMA-кадры мультикадра.

Суперкадр может содержать в себе 51 мультикадр первого типа или 26 мультикадров второго типа. Длительности мультикадров равны соответственно:

- 1) $T_{m1} = 6120/51 = 120 \text{ мс}$;
- 2) $T_{m2} = 6120/26 = 235,385 \text{ мс}$ (3060/13 мс).

Длительность каждого TDMA-кадра $T_k = 120/26 = 4,615 \text{ мс}$ (60/13 мс).

В периоде последовательности каждый TDMA-кадр имеет свой порядковый номер (NF) от 0 до NF_{\max} , где $NF_{\max} = (26 \times 51 \times 2048) - 1 = 2715647$.

Цифровой информационный поток – последовательность пакетов, размещаемых в слотах (временных интервалах). Пакеты формируются немного короче, чем интервалы, их длительность составляет 0,546 мс, что необходимо для приема сообщения при наличии временной дисперсии в канале распространения.

Информационное сообщение передается по радиоканалу со скоростью 270,833 кбит/с. Это означает, что временной интервал TDMA-кадра содержит 156,25 бит. Длительность одного информационного бита $576,9 \text{ мкс} / 156,25 = 3,69 \text{ мкс}$.

Каждый временной интервал, соответствующий длительности бита, обозначается V_N со значением от 0 до 155; последнему интервалу длительностью 1/4 бита присвоен номер 156.

Для передачи информации по каналам связи и управления, подстройки несущих частот, обеспечения временной синхронизации и доступа к каналу связи в структуре TDMA кадра используются пять типов передаваемых пакетов (видов слотов).

NB	TB 3	Информационные 57	1	Обучающ. 26	1	Информационные 57	TB 3	GP 8,25
SB	TB 3	Нулевые 142					TB 3	GP 8,25
FB	TB 3	Информационные 39	Синхронизирующие 64		Информационные 39		TB 3	GP 8,25
AB	TB 3	Синхронизирующие 48	Информационные 36		TB 3	GP 68,25		
DB	TB 3	58		Обучающ. 26	58		TB 3	GP 8,25

Пакет NB используется для передачи информации по каналам связи и управления, за исключением канала доступа RACH. Он состоит из двух информационных блоков по 57 бит, разделенных между собой обучающей последовательностью в 26 бит, которая используется для установки эквалайзера в приемнике в соответствии с характеристиками канала связи в данный момент времени, и защитного интервала (GP) в 8,25 бит длительностью 30,46 мкс.

В состав NB включены два контрольных бита (Steeling Flag), которые служат признаком того, содержит ли передаваемая группа речевую информацию или информацию сигнализации. С помощью обучающей последовательности из 26 бит, известная на приемной стороне, обеспечивается:

- оценка частоты появления ошибок в двоичных разрядах по результатам сравнения принятой и эталонной последовательностей. В процессе сравнения вычисляется параметр RXQUAL, принятый для оценки качества связи. Параметр RXQUAL используется при вхождении в связь, при выполнении процедуры «хендовер» и при оценке зоны покрытия радиосвязью;
- оценка импульсной характеристики радиоканала на интервале передачи NB для последующей коррекции тракта приема сигнала за счет использования адаптивного эквалайзера в тракте приема;
- определение задержек распространения сигнала между базовой и подвижной станциями для оценки дальности связи. Эта информация необходима для того, чтобы пакеты данных от разных подвижных станций не накладывались при приеме на базовой станции. Поэтому удаленные на большее расстояние подвижные станции должны передавать свои пакеты раньше станций, находящихся в непосредственной близости от базовой станции.

Пакет SB предназначен для синхронизации по частоте подвижной станции. Все 142 бита этого слота нулевые, что соответствует немодулированной несущей со сдвигом $1625/24$ кГц выше номинального значения частоты несущей. Это необходимо для проверки работы своего передатчика и приемника при небольшом частотном разносе каналов (200 кГц), что составляет около 0,022% от номинального значения полосы частот 900 МГц. SB содержит защитный интервал 8,25 бит так же, как и нормальный слот. Повторяющиеся слоты подстройки частоты (SB) образуют канал установки частоты (FSSN).

Пакет FВ используется для синхронизации по времени базовой и подвижной станций. Он состоит из синхропоследовательности длительностью 64 бита, несет информацию о номере ТОМА кадра и идентификационный код базовой станции. Этот слот передается вместе со слотом установки частоты. Повторяющиеся слоты синхронизации образуют так называемый канал синхронизации (SCH).

Пакет DV обеспечивает установление и тестирование канала связи. По своей структуре DV совпадает с NV и содержит установочную последовательность длиной 26 бит. В DV отсутствуют контрольные биты и не передается никакой информации. DV лишь информирует о том, что передатчик функционирует.

Пакет АВ обеспечивает разрешение доступа подвижной станции к новой базовой станции. АВ передается подвижной станцией при запросе канала сигнализации. Сначала передается концевая комбинация из 8 бит, затем - последовательность синхронизации для базовой станции (41 бит), что позволяет базовой станции обеспечить правильный прием последующих 36 зашифрованных бит. Интервал АВ содержит большой защитный интервал (68,25 бит, длительностью 252 мкс), что обеспечивает (независимо от времени прохождения сигнала) достаточное временное разнесение от пакетов других подвижных станций. Он соответствует двойному значению наибольшей возможной задержки сигнала в рамках одной соты и тем самым устанавливает максимально допустимые размеры соты.

Внутренние интерфейсы

Интерфейс между MSC и BSS (A-интерфейс) обеспечивает передачу сообщений для управления BSS, передачи вызова, управления передвижением. Полная спецификация A-интерфейса соответствует требованиям серии 08 Рекомендаций ETSI/GSM.

Интерфейс между MSC и VLR (B-интерфейс).

Интерфейс между MSC и HLR (C-интерфейс) используется для обеспечения взаимодействия между MSC и HLR.

Интерфейс между HLR и VLR (D-интерфейс) используется для расширения обмена данными о положении подвижной станции, управления процессом связи.

Интерфейс между двумя MSC сети (E-интерфейс) обеспечивает взаимодействие между разными MSC при осуществлении процедуры «хендовер» – "передачи" абонента из зоны в зону при его движении в процессе сеанса связи без ее перерыва.

Внутренние интерфейсы

Интерфейс между BSC и BTS (A-bis интерфейс) служит для связи BSC с BTS и определен для процессов установления соединений и управления оборудованием.

Интерфейс между BSC и OMC (O-интерфейс) предназначен для связи BSC с OMC, используется в сетях с пакетной коммутацией МККТТ X.25.

Внутренний BSC-интерфейс контроллера базовой станции обеспечивает связь между различным оборудованием BSC и (TRAU).

Интерфейс между MS и BTS (U_m-радиоинтерфейс) определен в сериях 04 и 05 Рекомендаций ETSI/GSM.

Сетевой интерфейс между OMC и сетью, так называемый управляющий интерфейс между OMC и элементами сети, определен ETSI/GSM Рекомендациями 12.01 и является аналогом интерфейса Q.3, который определен в многоуровневой модели открытых сетей ISO OSI.

Интерфейсы с внешними сетями

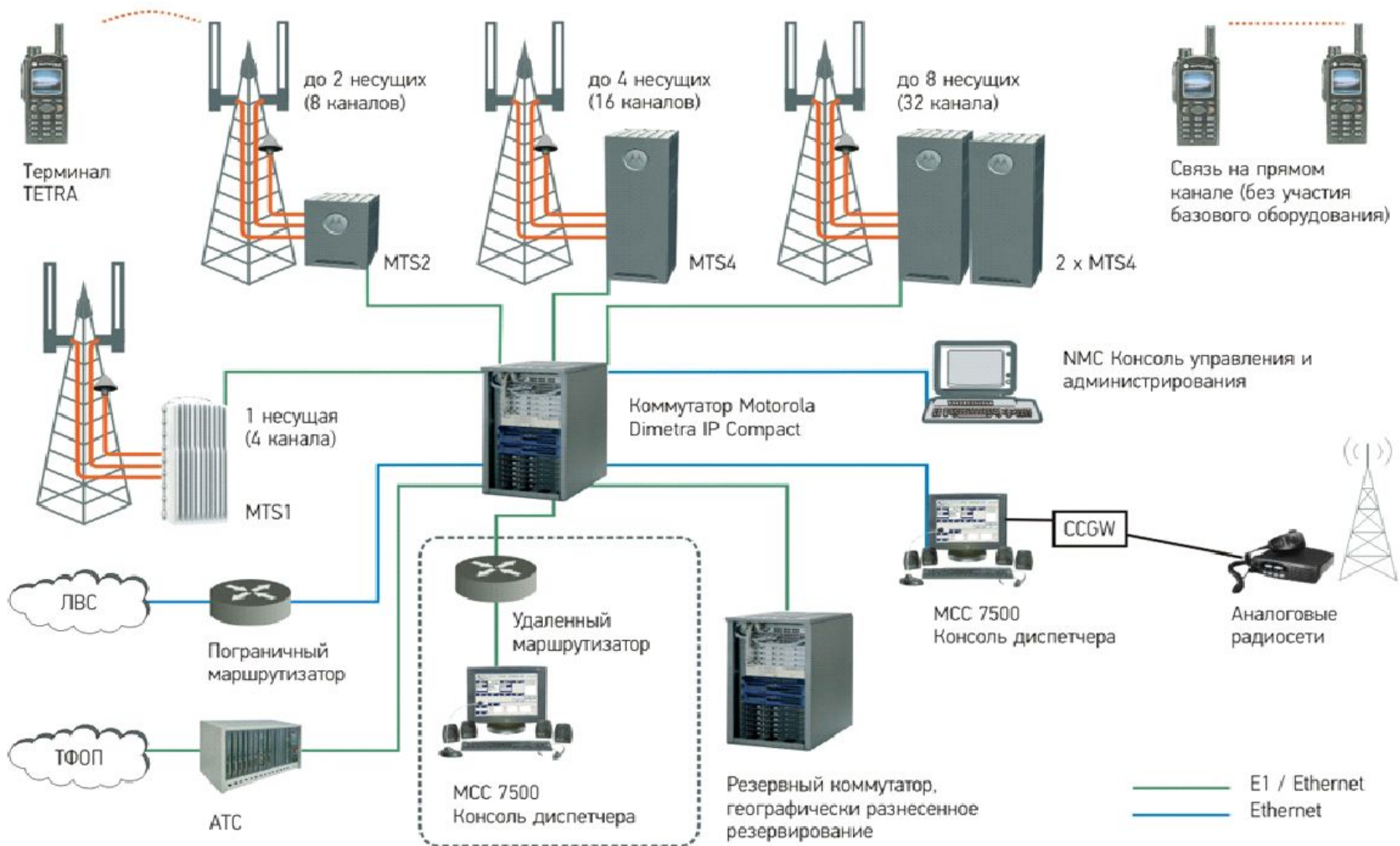
Соединение с PSTN. Соединение с телефонной сетью общего пользования осуществляется MSC по линии связи E2 в соответствии с системой сигнализации SS №7.

Соединение с ISDN. Для соединения с сетями ISDN предусматриваются четыре линии связи E2, поддерживаемые системой сигнализации SS №7 и отвечающие требованиям МККТТ.

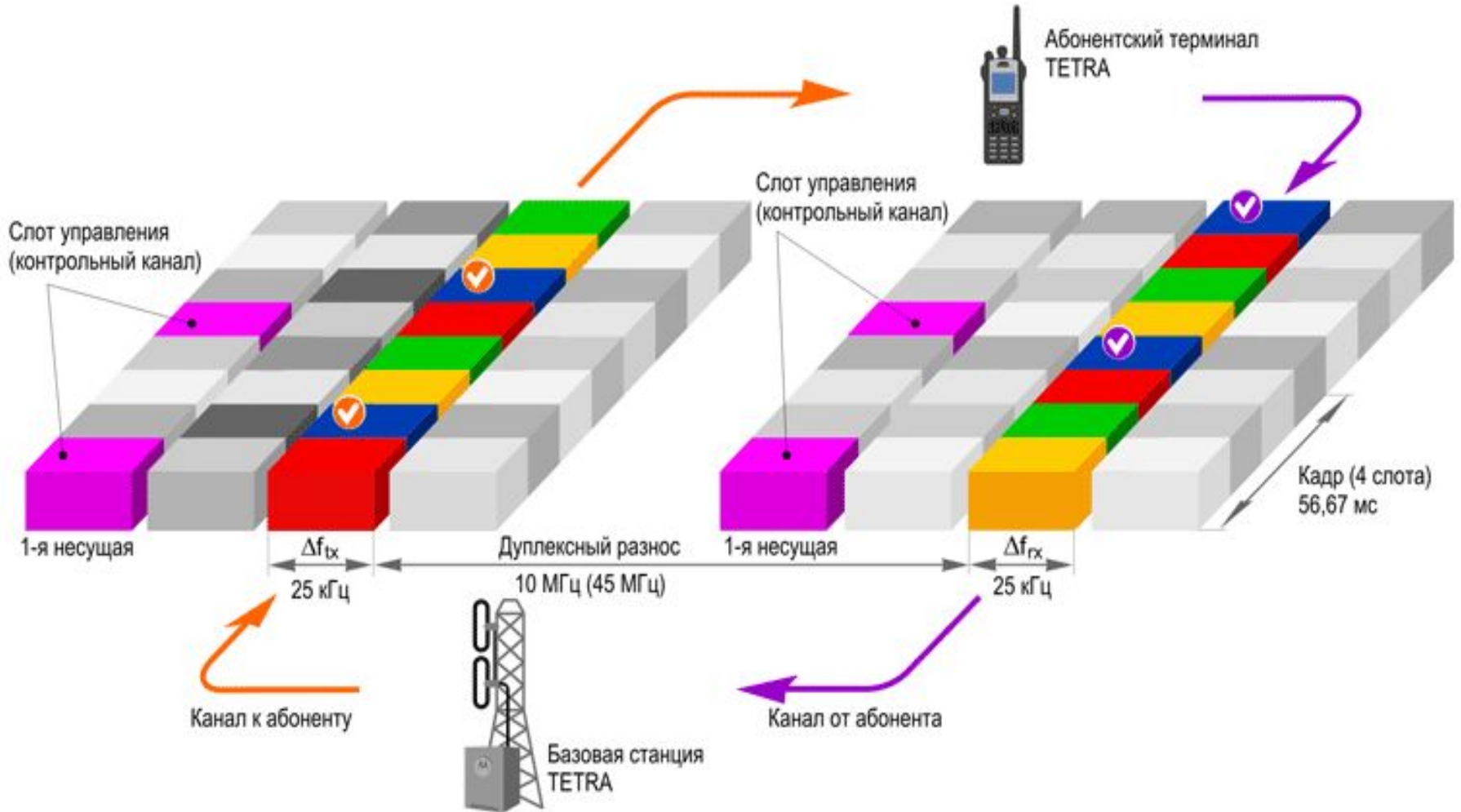
Соединение с существующей сетью NMT-450. Центр коммутации подвижной связи соединяется с сетью NMT-450 через четыре стандартные линии связи E2 и системы сигнализации SS №7.

Соединения с международными сетями GSM. В настоящее время обеспечивается подключение сети GSM в Москве к общеевропейским сетям GSM. Эти соединения осуществляются на основе протоколов систем сигнализации (SCCP) и межсетевой коммутации подвижной связи (GMSC).

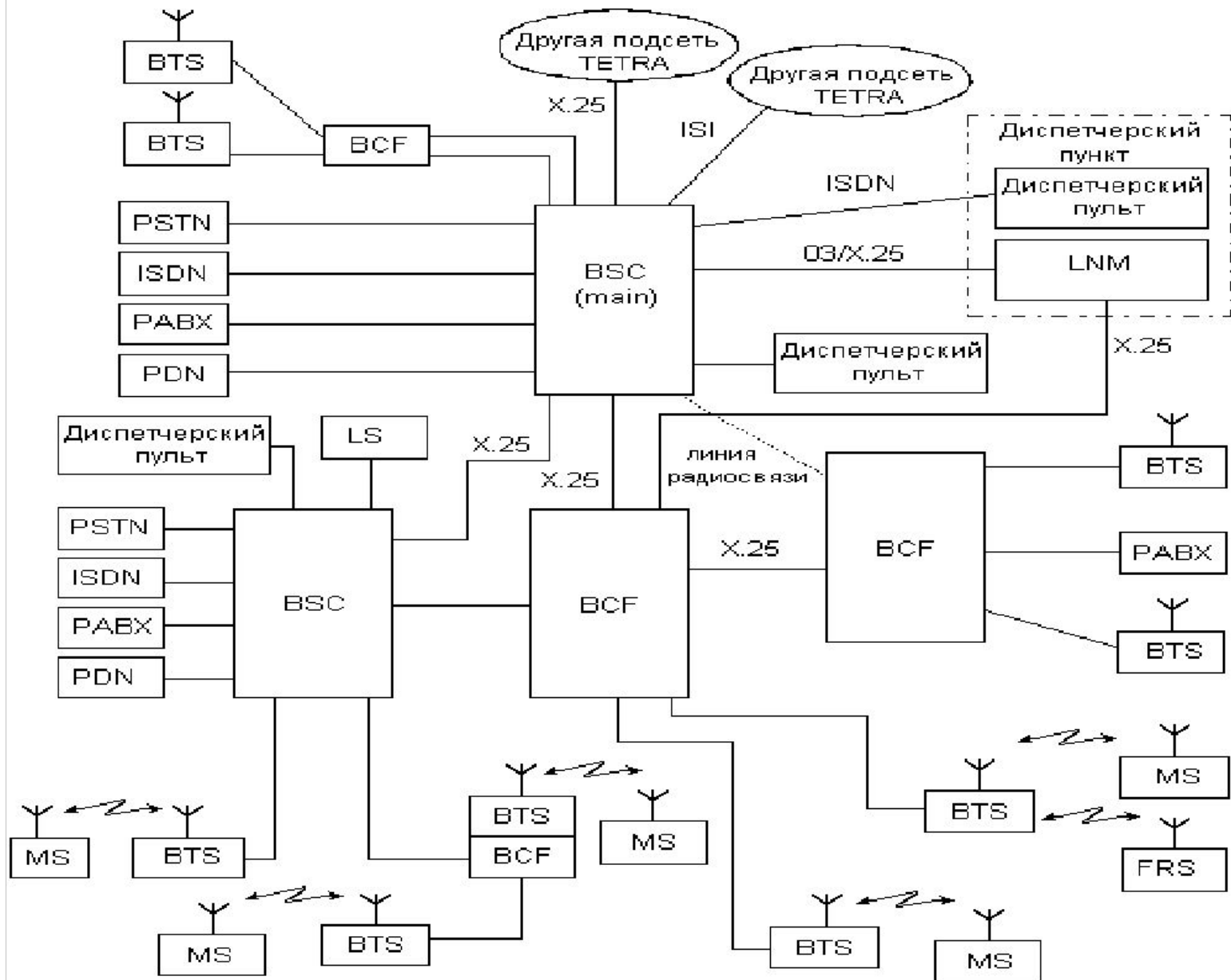
Сеть связи стандарта TETRA



Принцип передачи информации по радиоканалу



СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ TETRA



ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СЕТИ СТАНДАРТА TETRA

- Базовая приемопередающая станция (BTS) - обеспечивает связь в определенной зоне (ячейке). БС выполняет основные функции, связанные с передачей радиосигналов: сопряжение с МС, шифрование линий связи, пространственно-разнесенный прием, управление выходной мощностью МС, управление радиоканалами.
- Устройство управления БС (BCF) - элемент сети с возможностями коммутации, который управляет несколькими БС и обеспечивает доступ к внешним сетям ISDN, PSTN, PDN, PABX, а также используется для подключения ДП и терминалов ТОЭ;
- Контроллер БС (BSC) - элемент сети с большими по сравнению с устройством BCF коммутационными возможностями, позволяющий обмениваться данными между несколькими BCF. Так же, как и BCF обеспечивает доступ к внешним сетям. BSC имеет гибкую модульную структуру, позволяющую использовать большое число интерфейсов разного типа. В сетях TETRA контроллеры БС могут выполнять функции сопряжения с другими сетями TETRA и управления централизованными БД;
- ДП - устройство, подключаемое к контроллеру БС по проводной линии и обеспечивающее обмен информацией между оператором (диспетчером сети) и другими пользователями сети;
- Мобильная станция (MS);
- Стационарная радиостанция (FRS) - РС, используемая абонентом в определенном месте.
- Терминал ТОЭ - терминал, подключаемый к УУ базовой станцией BCF и предназначенный для контроля за состоянием системы, проведения диагностики неисправностей, учета тарификационной информации и т.п. С помощью таких терминалов реализуется функция управления ЛС (LNM - Local Network Management).

ВНЕШНИЕ СЕТИ

ISDN – цифровая сеть с интеграцией услуг.

PSTN – коммутируемая телефонная сеть общего пользования.

PDN – сеть пакетной передачи.

PTN – ведомственная (частная) телефонная сеть.

Функциональные возможности стандарта TETRA

1. Голосовые вызовы (Телекоммуникационные услуги – Teleservice) – все типы услуг связанные с передачей речевой информации между абонентами.

- Дуплексный индивидуальный вызов (терминал-терминал).
- Полудуплексный индивидуальный вызов (терминал-терминал).
- Телефонный вызов (терминал – внешние телефонные сети).
- Групповые вызовы (терминал – группа терминалов) в которых дополнительно возможны:
 - циркулярный (широковещательный) вызов (диспетчер – все абоненты);
 - сканирование групп;
 - динамическое перегруппирование (объединение абонентов в группы без программирования абонентских терминалов);
 - позднее подключение (позволяет абоненту подключиться к уже действующей группе).
- Экстренные вызовы (вызовы с максимальным приоритетом).

Режимы работы системы

Нормальный режим В этом режиме общий канал управления на основной несущей частоте является главным каналом управления, отображается в тайм-слоте всех кадров (с 1 по 18) и служит для передачи всех общих служебных сигналов. Абонентские радиостанции, не участвующие в конкретном вызове, «прослушивают» такой канал.

Расширенный режим применяется в системах, использующих одновременно два или более каналов управления в целях обеспечения требуемого уровня сервиса – по времени установления соединения либо по степени надежности (при пакетной передаче данных). Дополнительные каналы управления способны работать в качестве общих вторичных каналов управления.

Режимы работы системы

Минимальный режим (ММ) ориентирован на зоны покрытия с «низким» трафиком. В этом режиме система выделяет все временные интервалы в главном канале управления для передачи трафика либо набора специализированных сигналов управления, поэтому для транспортировки общих служебных сигналов можно использовать только 18-й кадр.

В разрывном режиме, который чаще называют режимом разделения времени (TSM), радиочастотный канал используется совместно несколькими БС. Такой режим применим только для зон покрытия с очень низким уровнем трафика и очень ограниченным спектром выделенных частот. В разрывном режиме TSM основные сигналы управления передаются по главному каналу управления, который совместно задействуется несколькими БС; каналы трафика используются базовыми станциями также совместно.

Режимы работы системы

Для абонента система стандарта TETRA может функционировать в следующих режимах:

- транкинговой связи;
- с открытым каналом;
- непосредственной связи.

В режиме транкинговой связи система работает либо с выделенным частотным каналом управления, либо с распределенным.

При работе сети связи с выделенным каналом управления приемопередающие станции предоставляют абонентам несколько частотных каналов, один из которых - *канал управления* - предназначен для обмена служебной информацией.

При работе сети с распределенным каналом управления служебная информация передается либо в специально выделенном временном канале (одном из 4-х каналов, организуемых на одной частоте), либо в контрольном кадре мультикадра (одном из 18).

Режимы работы системы

Передача сообщений абонента.

1. *Транкинг сообщений* (messagetrunking). Канал присваивается в начале сеанса связи и освобождается по его окончанию.

2. *Транкинг передач* (transmissiontrunking). Канал присваивается только на время одной транзакции (периода передача/прием), после чего он освобождается. Для следующей транзакции может быть выделен новый канал.

3. *Квазитранкинг передач* (quasi-transmissiontrunking). Канал так же, как и в транкинге передач освобождается после транзакции, однако с некоторой задержкой, что позволяет снизить количество сигналов управления.

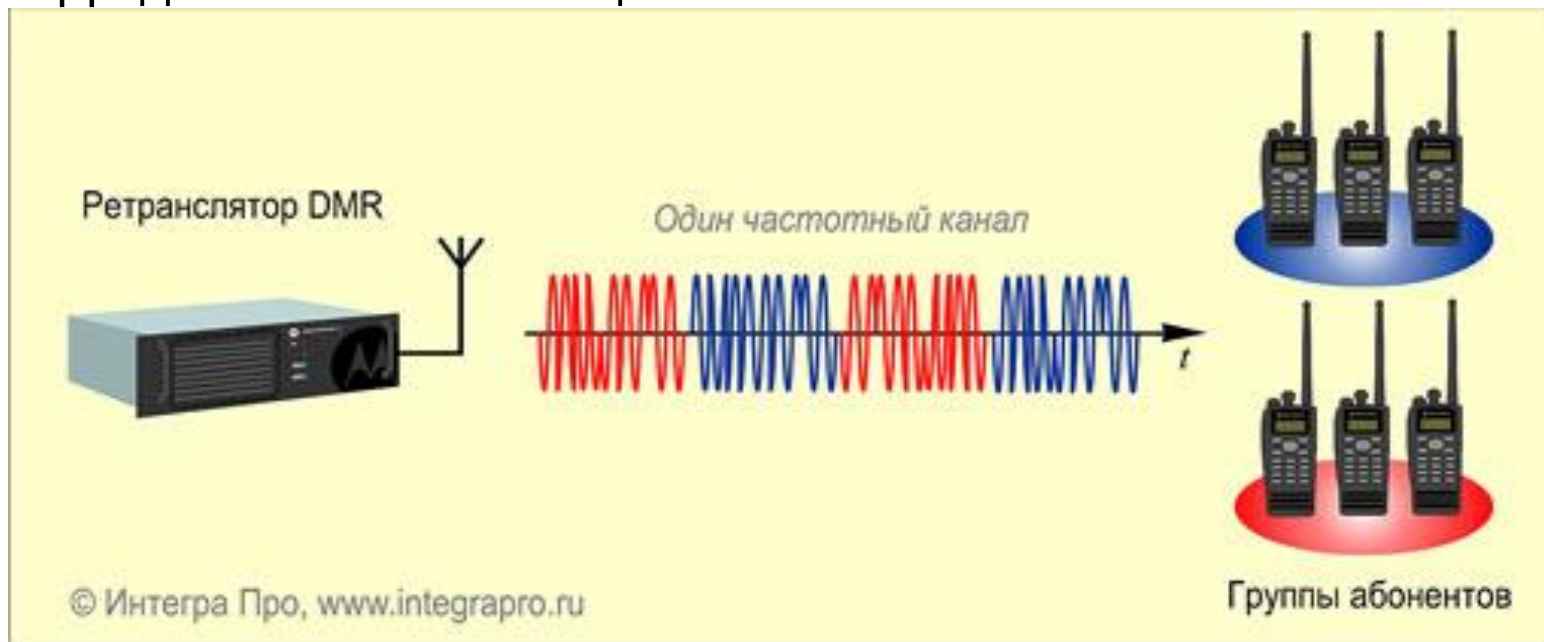
Режимы работы системы

В режиме с открытым каналом группа пользователей имеет возможность устанавливать соединение «один пункт - несколько пунктов» без какой-либо установочной процедуры. Любой абонент, присоединившись к группе, может в любой момент использовать этот канал. В режиме с открытым каналом радиостанции работают в двухчастотном симплексе.

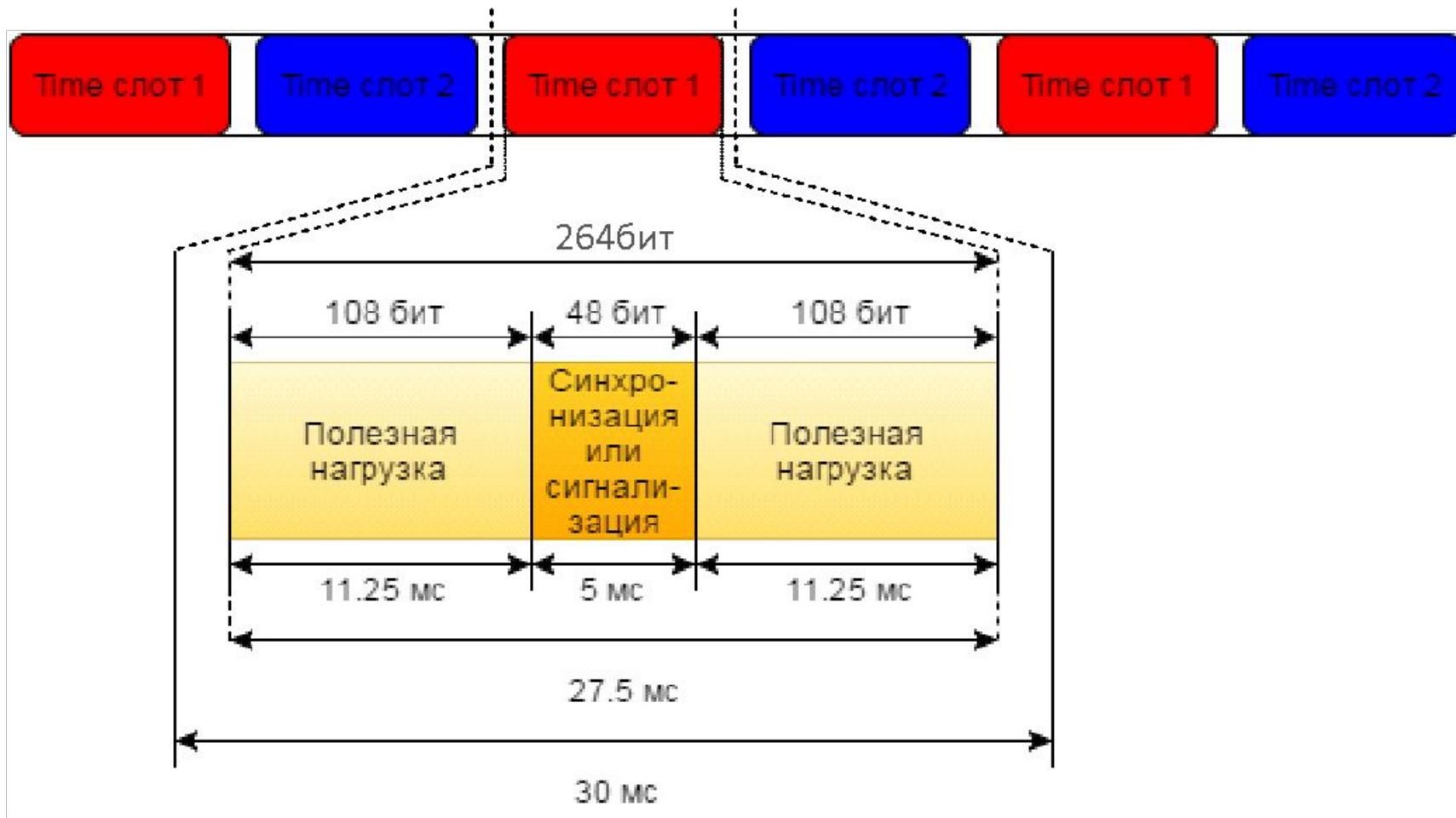
В режиме непосредственной (прямой) связи между терминалами устанавливаются двух- и многоточечные соединения по радиоканалам, не связанным с каналом управления сетью, без передачи сигналов через базовые приемопередающие станции.

СИСТЕМА СВЯЗИ СТАНДАРТА DMR

В основе технологии DMR лежат механизмы TDMA (Time Division Multiple Access – многостанционный доступ с временным разделением каналов), что позволяет разместить два временных интервала на одной частотной несущей с сеткой частот 12,5 кГц. Сети радиосвязи стандарта DMR могут быть реализованы в диапазонах 136 – 174 МГц и 403 – 470 МГц, в частности, для железнодорожного транспорта перспективно использование стандарта в выделенном для ОАО «РЖД» диапазоне 160 МГц.



Радиоинтерфейс стандарта DMR



ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СТАНДАРТА DMR

- цифровая обработка сигнала;
- управление аккумуляторной батареей;
- приоритетный аварийный вызов;
- улучшенный режим «свободные руки»;
- встроенный приемник GPS сигналов для реализации приложений по контролю местоположения;
- удаленный контроль;
- опциональное шифрование;
- дуплексный вызов (в проекте);
- одновременная передача голоса и данных (в том числе пакетных);
- работа в аналоговом режиме, что особенно актуально при постепенной замене аналоговых систем.

Типы вызовов реализуемых в рамках стандарта DMR:

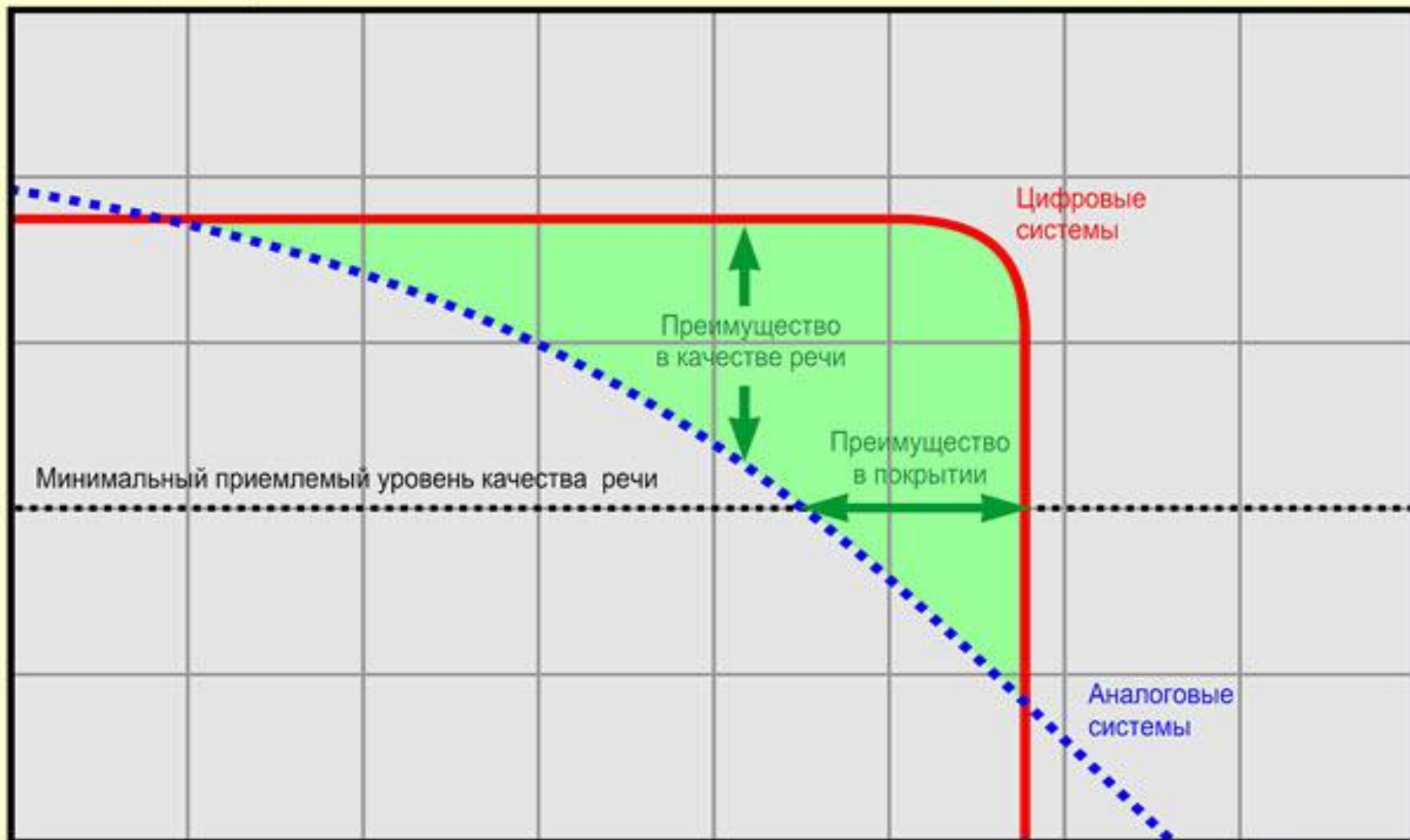
- индивидуальный вызов «радиостанция – радиостанция»;
- групповой вызов «радиостанции – группа радиостанций»;
- групповой вызов «радиостанция – все радиостанции»;
- передача пакетных данных с канальной скоростью 2 кбит/с.

Стандарт DMR отличается быстрым установлением вызова (до 200 мс) и поддержкой режима «поздний вход» для групповых вызовов.

Ретранслятор кроме радиоинтерфейса имеет проводной интерфейс для подключения к среде IP и взаимодействия репитеров между собой. Такая конфигурация позволяет создавать распределенные сети без географических ограничений.

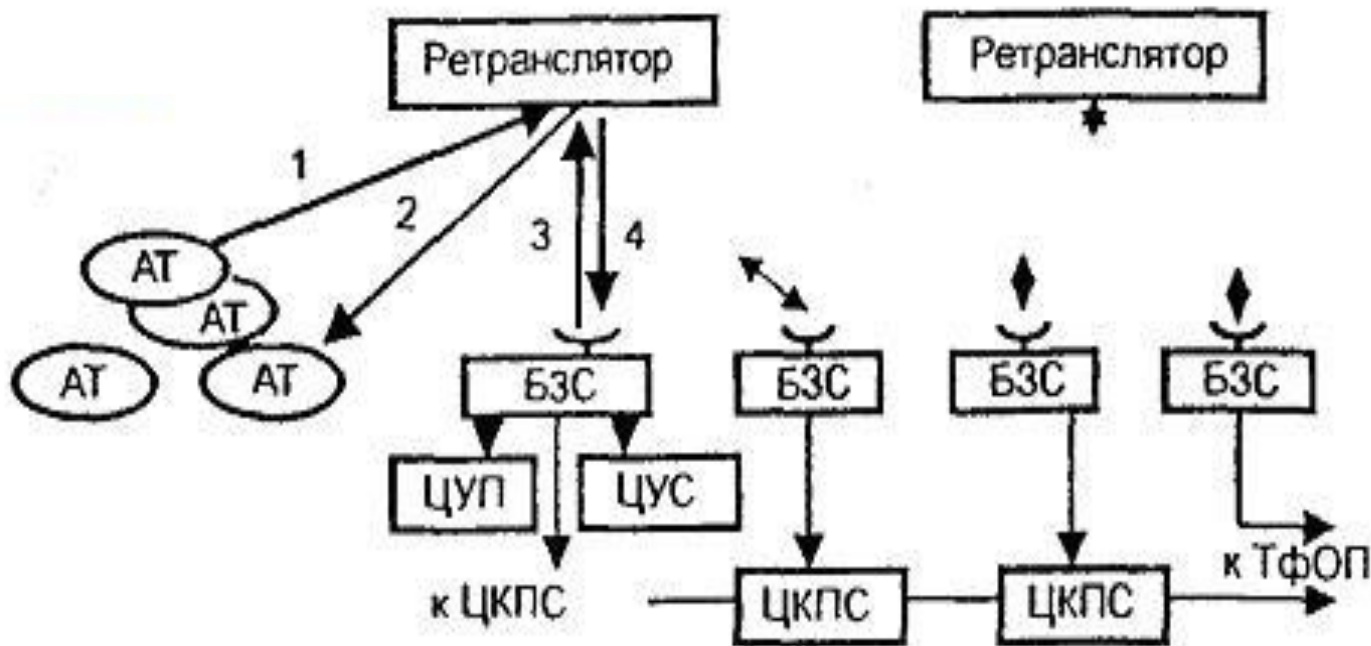
Сравнительный график качества связи

Качество передачи речи



Расстояние

СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ



Спутниковая система связи содержит: *космический сегмент, земной сегмент, линии радиосвязи и абонентские терминалы (АТ).*

Космический сегмент образуют ретрансляторы на ИСЗ.

В земной сегмент входят базовые земные станции (БЗС), центр управления сетью (ЦУС) и центр управления полетом (ЦУП).

ЦУС планирует использование ресурсов спутника в системе, распределяет ресурсы ретрансляторов ИСЗ между БЗС, обеспечивает БЗС данными для слежения за ИСЗ. Он же планирует трафик.

ЦУП контролирует орбиты ИСЗ, обрабатывает телеметрию, формирует команды, передает на ЦУС сведения о состоянии и ресурсе ИСЗ. Как правило, центры подключены к одной из БЗС и не имеют собственного радиотехнического оборудования. Вся телеметрия и управление выполняются через БЗС по радиоканалам. БЗС также называют станциями сопряжения или шлюзовыми станциями. Все соединения между абонентами спутниковой системы выполняются через БЗС. Для этого в схеме БЗС предусмотрены интерфейсы.

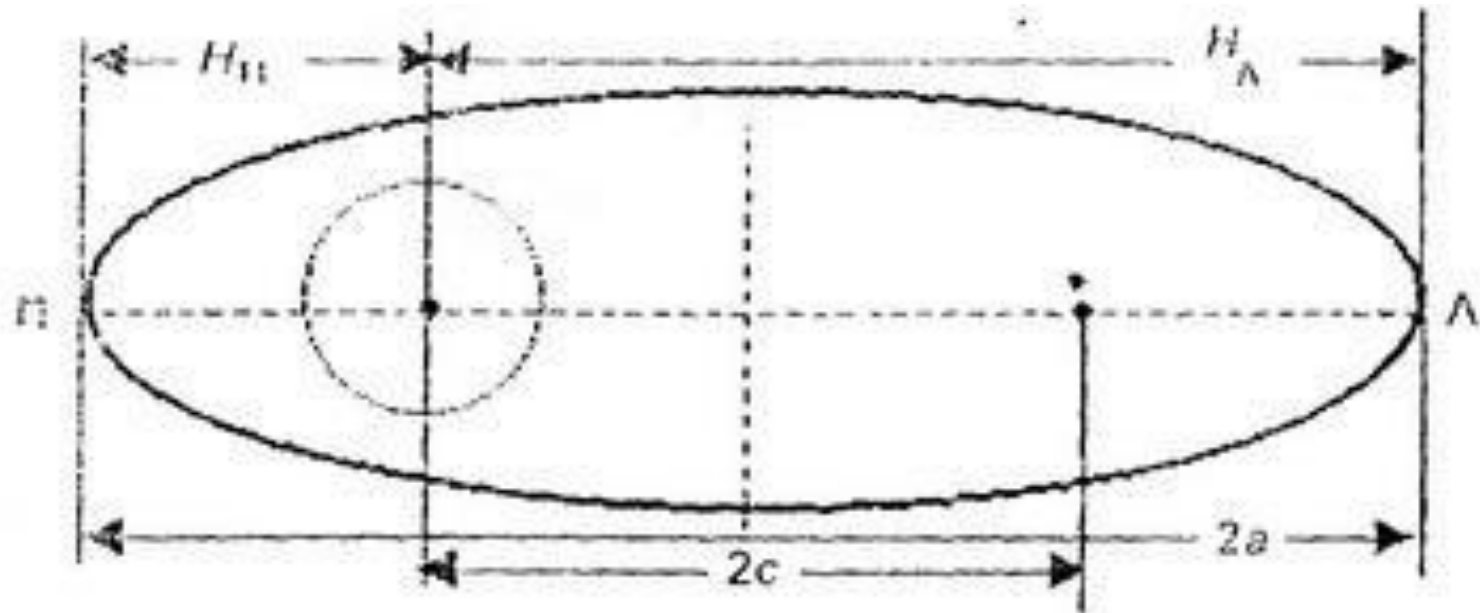
Линии радиосвязи подразделяются на мобильные, фидерные, межспутниковые, командные и телеметрические.

Мобильные - это линии радиосвязи с абонентскими терминалами. На схеме это линия 1 "вверх" и линия 2 "вниз".

Линии радиосвязи с БЗС называются фидерными. На схеме это линия 3 "вверх" и линия 4 "вниз". В некоторых спутниковых системах связи организованы межспутниковые линии между соседними ретрансляторами на одной орбите и на соседних орбитах. Командные и телеметрические линии как правило совмещены с фидерными.

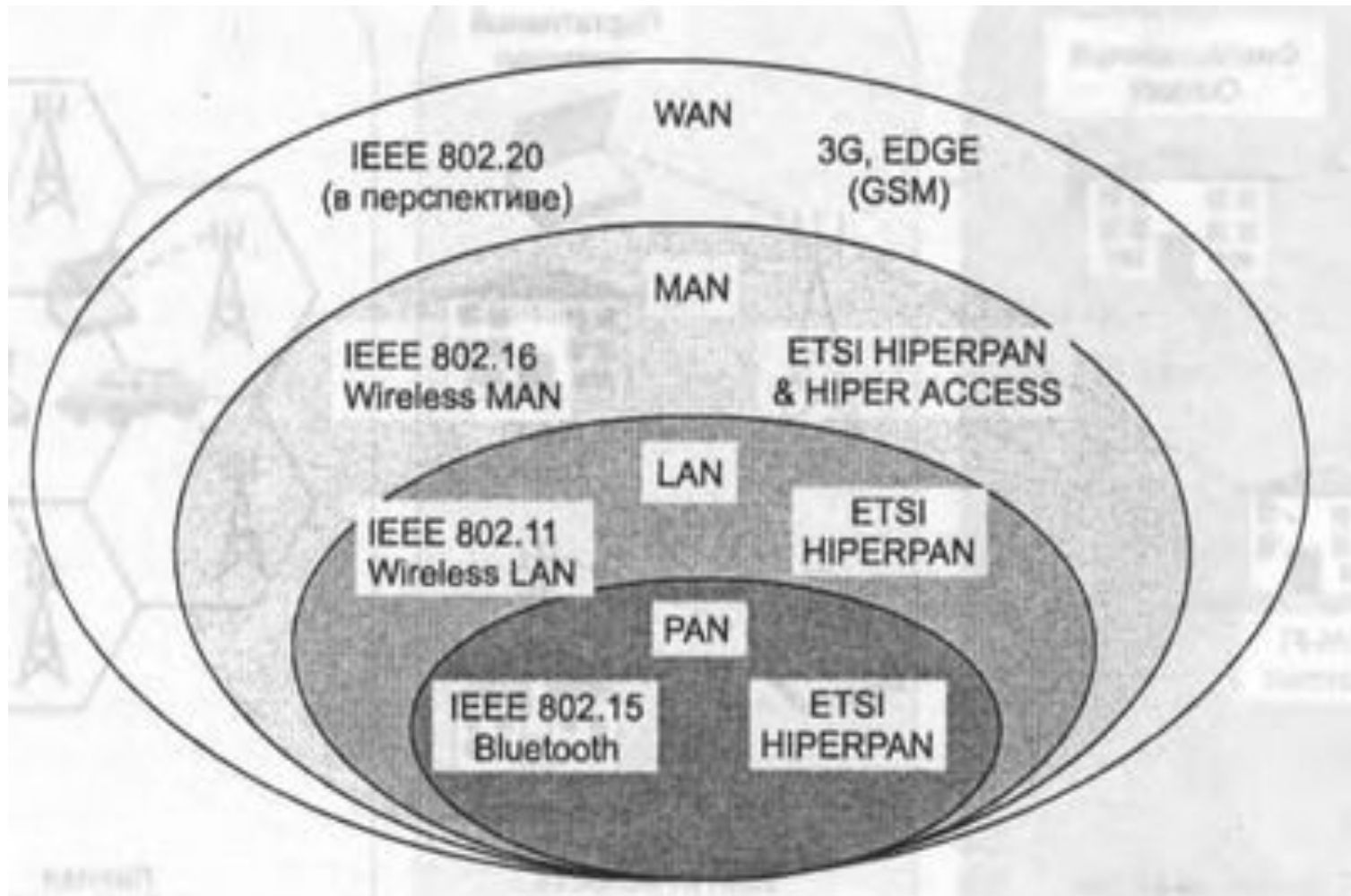
Абонентские терминалы подразделяют на портативные, перевозимые и стационарные. По техническим возможностям это может быть однорежимный терминал, который может работать только в спутниковых системах подвижной связи, двухрежимный и многорежимный.

Эллиптическая орбита



A — апогей орбиты; П — перигей орбиты; H_A — высота апогея; H_P — высота перигея, a — большая полуось орбиты, c — малая полуось орбиты; ПА — линия апсид

БЕСПРОВОДНЫЕ СЕТИ СВЯЗИ



БЕСПРОВОДНЫЕ СЕТИ СВЯЗИ

√ **персональные сети** (Personal area networks, PAN) – это, как правило, домашние сети для беспроводного взаимодействия домашней аппаратуры.

Радиус действия таких сетей порядка 10 м;

√ **локальные сети** (Local area networks, LAN) – это сети локального уровня для обслуживания офиса или нескольких близкорасположенных помещений.

Чаще всего под LAN-сетью понимают компьютерную сеть. Радиус действия такой беспроводной сети не более 100 м;

√ **городские сети** (Metropolitan area networks, MAN) – это сети уровня районов крупного города, всего города или некоторого региона. Здесь могут быть объединены сети разного типа и назначения. Такие сети могут иметь радиус обслуживания от нескольких сотен метров до 50 и более километров;

√ **глобальные сети** (Wide area networks, WAN) – это сети, способные обеспечить соединение и передачу трафика в глобальных масштабах.

Очевидно, что глобальные сети включают в себя в качестве сегментов сети иных типов, в том числе проводные сегменты, оптоволоконные и беспроводные. На разных сегментах глобальных сетей используются разные технологии, оптимальные по скорости передачи, занимаемой полосе частот на каждом сегменте. К таким сетям, в частности, относится сеть доступа в Интернет.

Сети Wi-Fi

Беспроводные сети Wi-Fi основаны на стандарте IEEE 802.11.

Существуют три основных редакции этого стандарта:

- 802.11a – диапазон 5 ГГц, модуляция с использованием OFDM;
- 802.11b – диапазон 2,4 ГГц, модуляция DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), расширение спектра методом прямой последовательности;
- 802.11g – диапазон 2,4 ГГц, модуляция с использованием OFDM.

Устройства, основанные на этих стандартах, не конфликтуют друг с другом, однако устройства, основанные на стандартах 802.11a и 802.11g, совместимы друг с другом, а с устройствами, основанными на стандарте 802.11b, несовместимы. Технология модуляции OFDM более адаптивна к среде и к условиям интерференции, поэтому она используется чаще. Стандартом в этой технологии предусматривается использование 64 поднесущих. Для устранения возможных коллизий при одновременной работе многих пользователей в стандарте 802.11 предусмотрено использование протокола устранения конфликтов при множественном доступе CSMA/CA. В нем на основе испытательных посылок определяет состояние сети и устанавливает очередность передачи/приема.

Сети WiMAX

Для создания сетей MAN-уровня предлагается WiMAX-технология. Она поддерживает сотовые структуры, обслуживает большее число пользователей, обладает значительно большей производительностью и решает проблемы мобильной связи. Технология WiMAX является как бы естественным развитием Wi-Fi на более высоком уровне.

Для расширения зоны покрытия от уровня LAN до уровня MAN стандартом 802.11s предусмотрена возможность создания сотовой структуры сети.

В этой технологии также используется модуляция OFDM, но количество поднесущих увеличено до 256 (по сравнению с 64 в Wi-Fi).

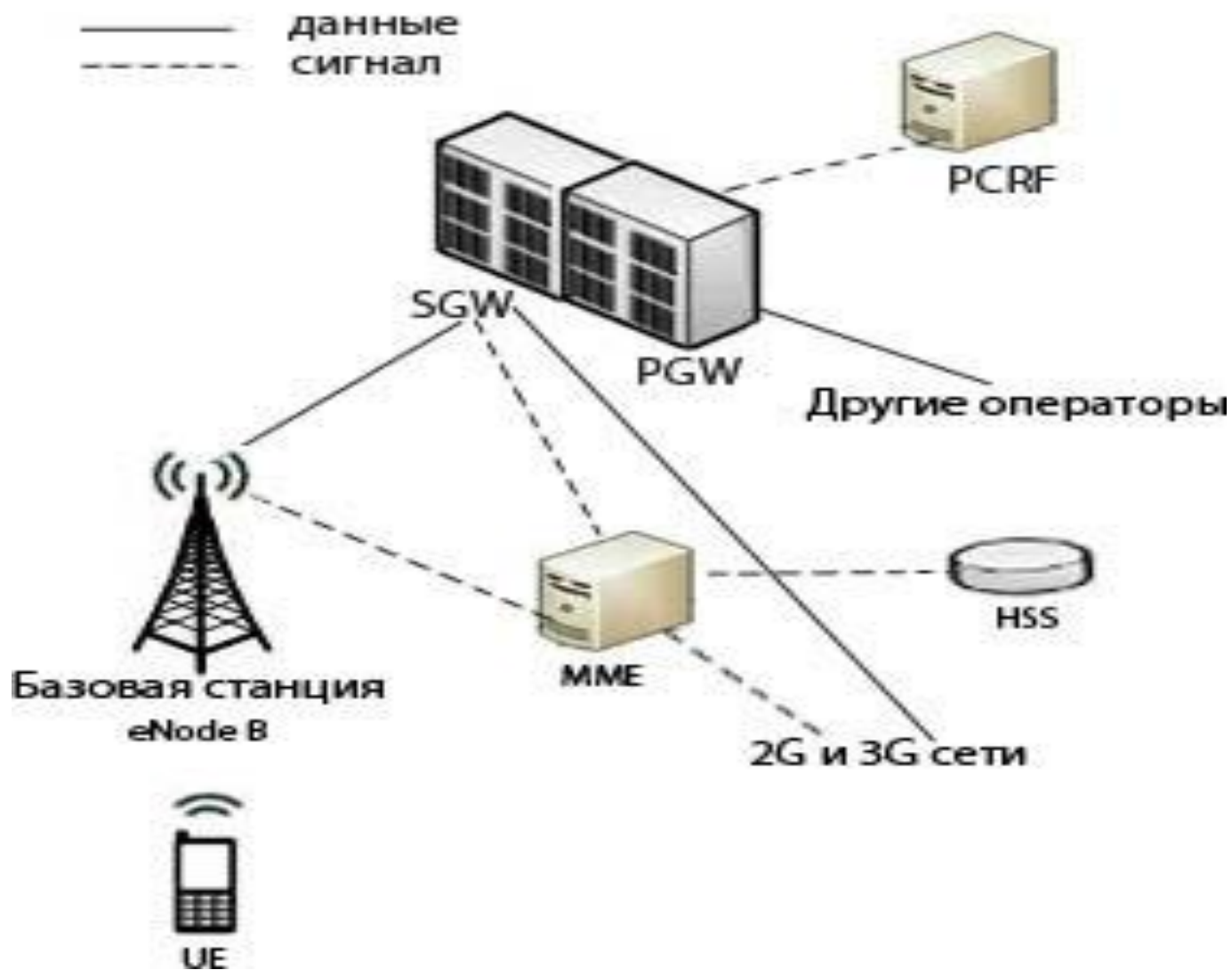
Сети WiMAX

Стандарт 802.16 предусматривает полосы частот 20, 25 и 28 МГц в диапазонах от 10 до 66 ГГц. Этим стандартом предусматривается применять метод прямого расширения спектра с использованием одной несущей SC (SingleCarrier).

Стандарты 802.16-2004 и 802.16e предназначены для работы на частотах от 2 ГГц до 11 ГГц и позволяют гибко устанавливать полосы от 1,25 МГц до 20 МГц.

Стандарт 4G (LTE)

Структура сотовой сети стандарта 4G (LTE)



Структура сети LTE

- Обслуживающий шлюз (SGW) – выполняет функции обработки и маршрутизации пакетных данных из подсистемы базовых станций. Обслуживающий шлюз соединяется непосредственно с сетями 2G и 3G того же оператора. Это существенно упрощает передачу соединения в сети предыдущих поколений при ухудшении зоны покрытия или перегрузке сети.
- Шлюз соединения с другими сетями (PGW) – маршрутизирует информацию (голос, пакетные данные) из сети (в сеть) данного и других операторов.
- Узел управления мобильностью (MME) – предназначен для управления мобильностью клиентов сети LTE.
- Сервер абонентских данных (HSS) – представляет собой объединение в одном устройстве регистров VLR, HLR, AUC.
- Узел выставления счетов (PCRF) – предназначен для формирования клиентам счетов за оказанные услуги связи.

Структура сети LTE

- **Базовая станция eNodeB** кроме функций собственно базовой станции, выполняет еще функции контроллера базовых станций LTE. Такое решение позволяет упростить расширение сети, так как отпадает необходимость добавления новых контроллеров и расширения емкости существующих
- **Терминал UE**. Преимуществом стандарта LTE является большой выбор терминалов. Кроме сотовых телефонов могут использоваться ноутбуки, планшетные компьютеры, видеочамеры и игровые устройства со встроенными модулями совместимости с сетями четвертого поколения.

Диапазоны и полосы частот LTE

В разных структурах сетей 4G могут использоваться частотные полосы от 1,4 до 20 МГц.

Наиболее приоритетным для сетей 4G является частотный диапазон 2,3 ГГц.

Другие диапазоны частот: 2,5 ГГц;

2,1 ГГц – доступен очень узкий диапазон;

3,5 ГГц – перспективный частотный диапазон .

В сетях LTE используется временное TDD и частотное FDD разделение сигналов.

Функционирование сети

Система кодирования OFDM – ортогональное частотное разделение каналов с мультиплексированием – представляет собой цифровую схему модуляции, которая использует большое число ортогональных поднесущих частот.

Технологии передачи данных MIMO – предусматривает передачу данных посредством N-антенн и прием M-антеннами, причем принимающие и передающие антенны расположены между собой на таком расстоянии, чтобы получить минимальную корреляцию.

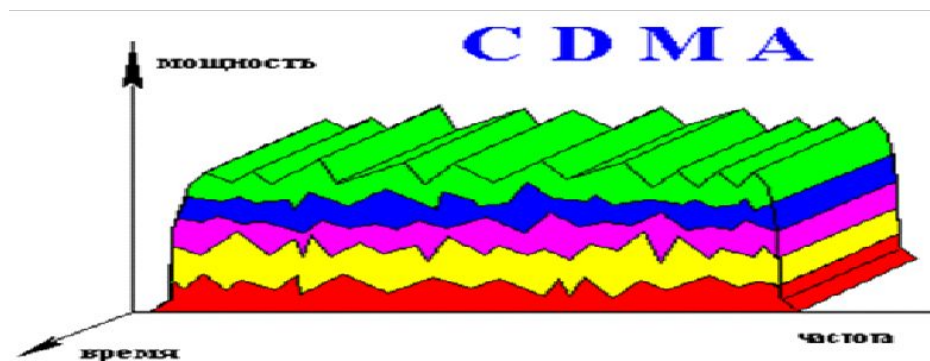
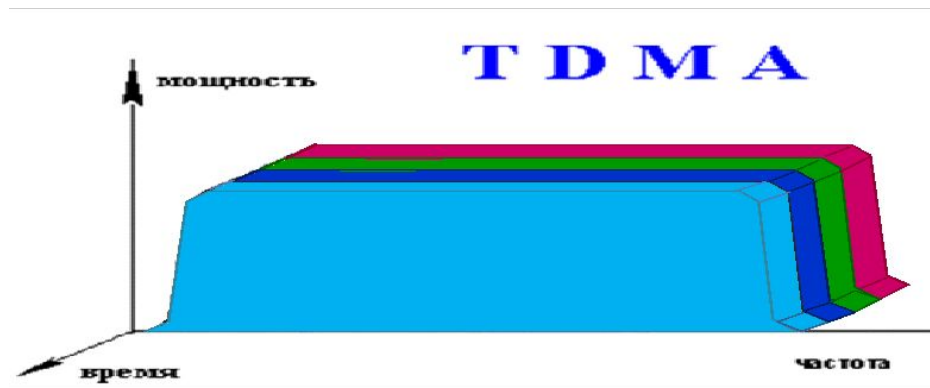
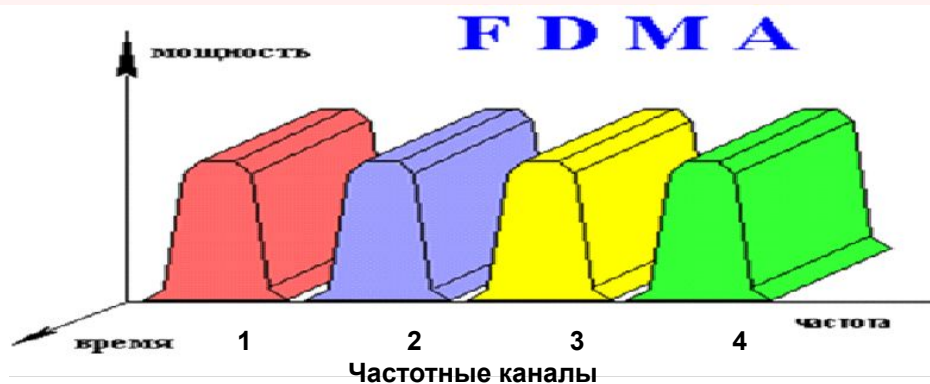
Технология стандарта LTE поддерживает хэндовер и роуминг с сотовыми сетями поколений 2G и 3G

СИСТЕМА СВЯЗИ СТАНДАРТА CDMA

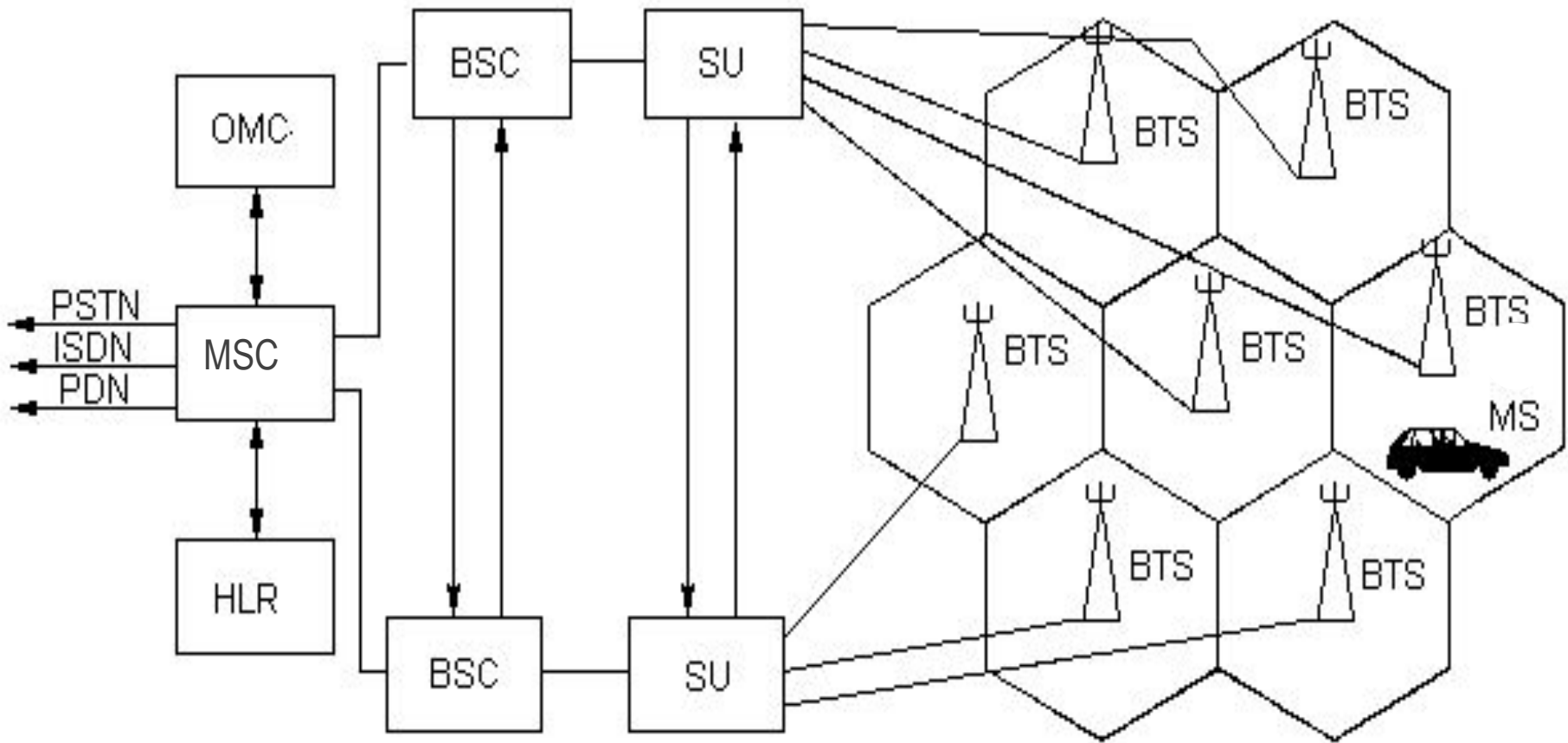
CDMA – система сотовой связи с кодовым разделением каналов.

1. Более высокое качество связи по сравнению с другими стандартами сотовой связи.
2. Более высокая скорость передачи данных и более широкие возможности использования CDMA терминалов.
3. Меньшее энергопотребление терминалов.
4. Большая емкость сети (более полное использование частотного ресурса).
5. Стандарт CDMA более приспособлен к переходу к следующим поколениям сотовых сетей.

РЕЖИМЫ УПЛОТНЕНИЯ КАНАЛОВ



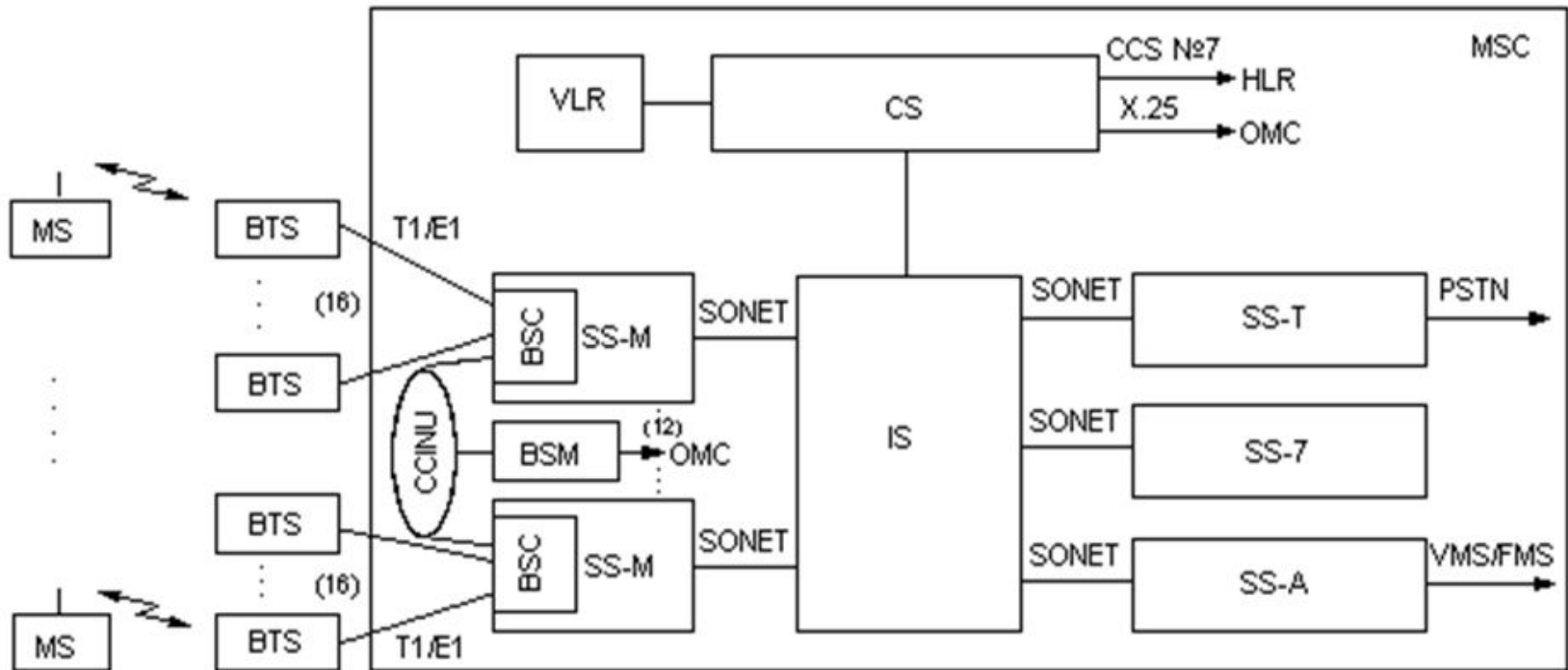
АРХИТЕКТУРА СЕТИ CDMA



MS - подвижная станция
BTS - базовая станция
SU - устройство выбора кадра
MSC - центр коммутации подвижной связи
BSC - контроллер базовой станции

OMC - центр управления и обслуживания
DB - база данных
PSTN - телефонная сеть общего пользования
ISDN - цифровая сеть с интеграцией служб
PDN - сеть пакетной коммутации

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ CDMA



CS - подсистема управления
 IS - подсистема внутренней связи
 SS-M - подсистема коммутации мобильной связи
 SS-T - подсистема коммутации соединительных линий
 SS-7 - подсистема коммутации SS №7
 SS-A - подсистема коммутации ARS
 BSM - управление мобильными станциями
 CCINU - центральное внутрисетевое устройство
 BSC - контроллер базовой станции

MS - подвижная станция
 BTS - базовая станция
 MSC - центр коммутации подвижной связи
 HLR - регистр положения
 VLR - регистр перемещения
 OMC - центр управления и обслуживания
 PSTN - телефонная сеть общего пользования
 VMS - система речевой почты
 FMS - система факсимильной связи

ПРИНЦИП РАБОТЫ СИСТЕМЫ

Передача речи и данных по стандарту IS-95 осуществляется кадрами длительностью 20 мс. Скорость передачи в пределах сеанса связи может изменяться от 1,2 до 9,6 кбит/с, но в течение одного кадра она остается неизменной.

На БС формируются прямые каналы (ПК):

- канал пилот-сигнала (PI),
- синхроканал (SYNC),
- вызывной канал (PCH),
- канал трафика (TCH).

В MS используются два типа обратных каналов (ОК):

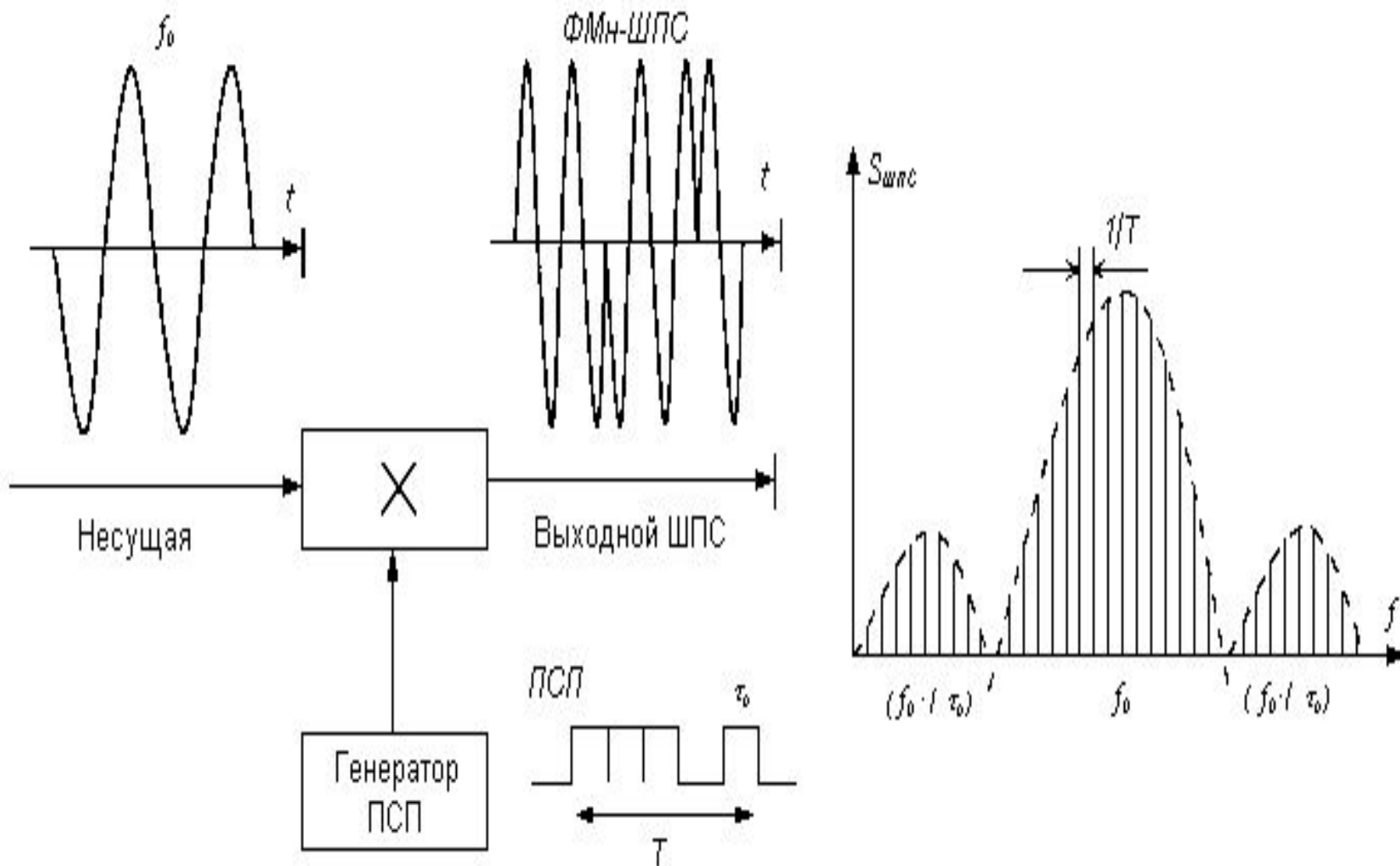
- доступа (ACH);
- трафика (TCH).

ПРИНЦИП РАБОТЫ СИСТЕМЫ

В стандарте CDMA передаваемую информацию кодируют и код превращают в шумоподобный широкополосный сигнал (ШШС) так, что его можно выделить снова, только располагая кодом на приемной стороне. При этом одновременно в широкой полосе частот можно передавать и принимать множество сигналов, которые не мешают друг другу.

На всех базовых станциях установлены приемники GPS - ГЛОНАСС, на выходе которых формируются временные интервалы с точностью 10^{-10} с.

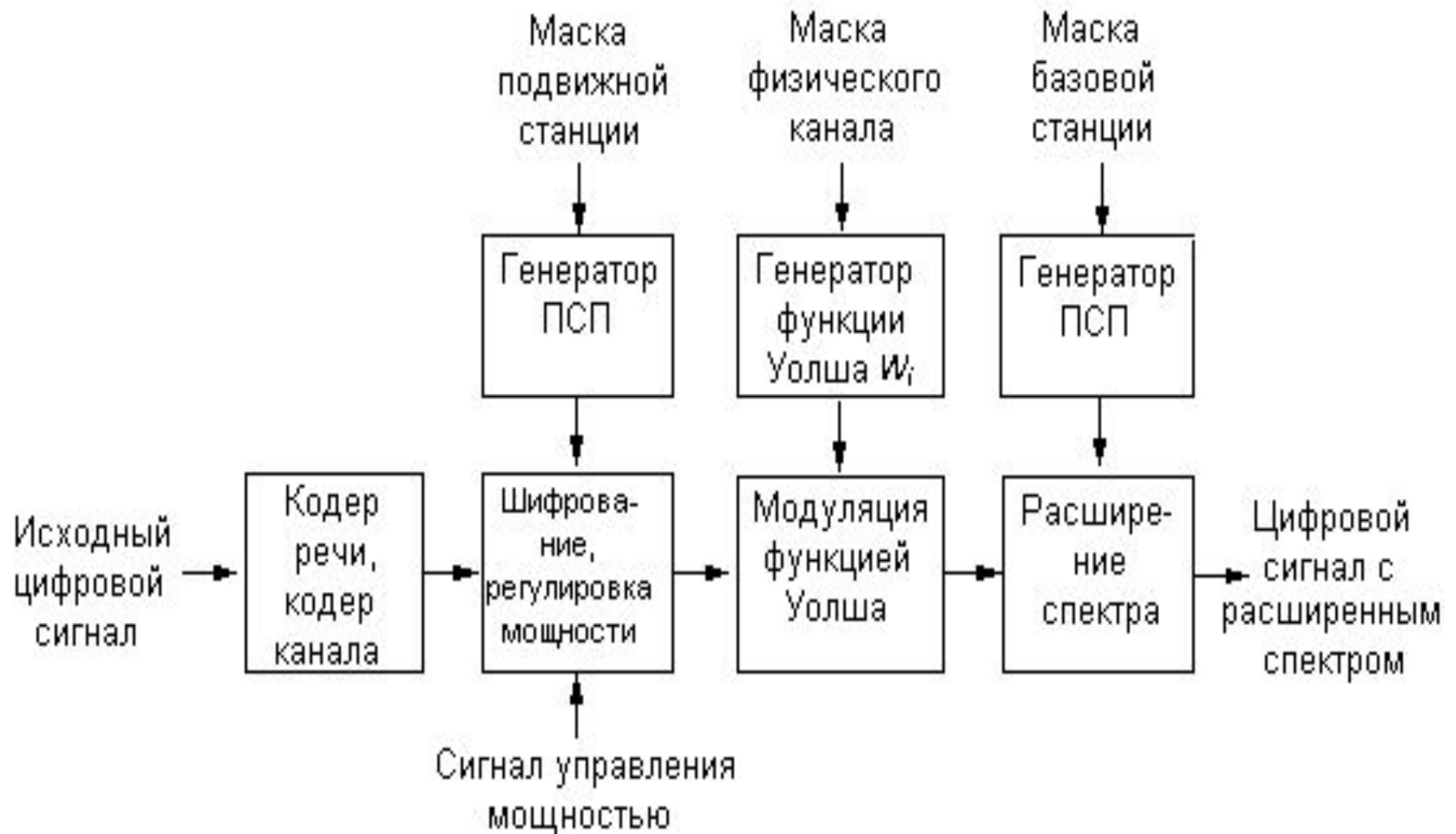
Расширение спектра частот



Параметры кодовых последовательностей

Тип сигнала	Длина кода	Выполняемые функции	
		Базовая станция	Мобильная станция
Код Уолша	64	Кодовое уплотнение или разделение 64 каналов CDMA	Помехоустойчивое кодирование
Короткий код	32768	Разделение сигналов базовых станций по величине циклического сдвига	Код с одинаковым фиксированным циклическим сдвигом - как опорный сигнал скремблера
Длинный код	$2^{42}-1$ (4.4×10^{12})	Прореженный длинный код - как опорная последовательность скремблера	Длинный код с разными циклическими сдвигами - как адресная последовательность

Схема обработки сигналов в передающем тракте



Канальное кодирование и модуляция

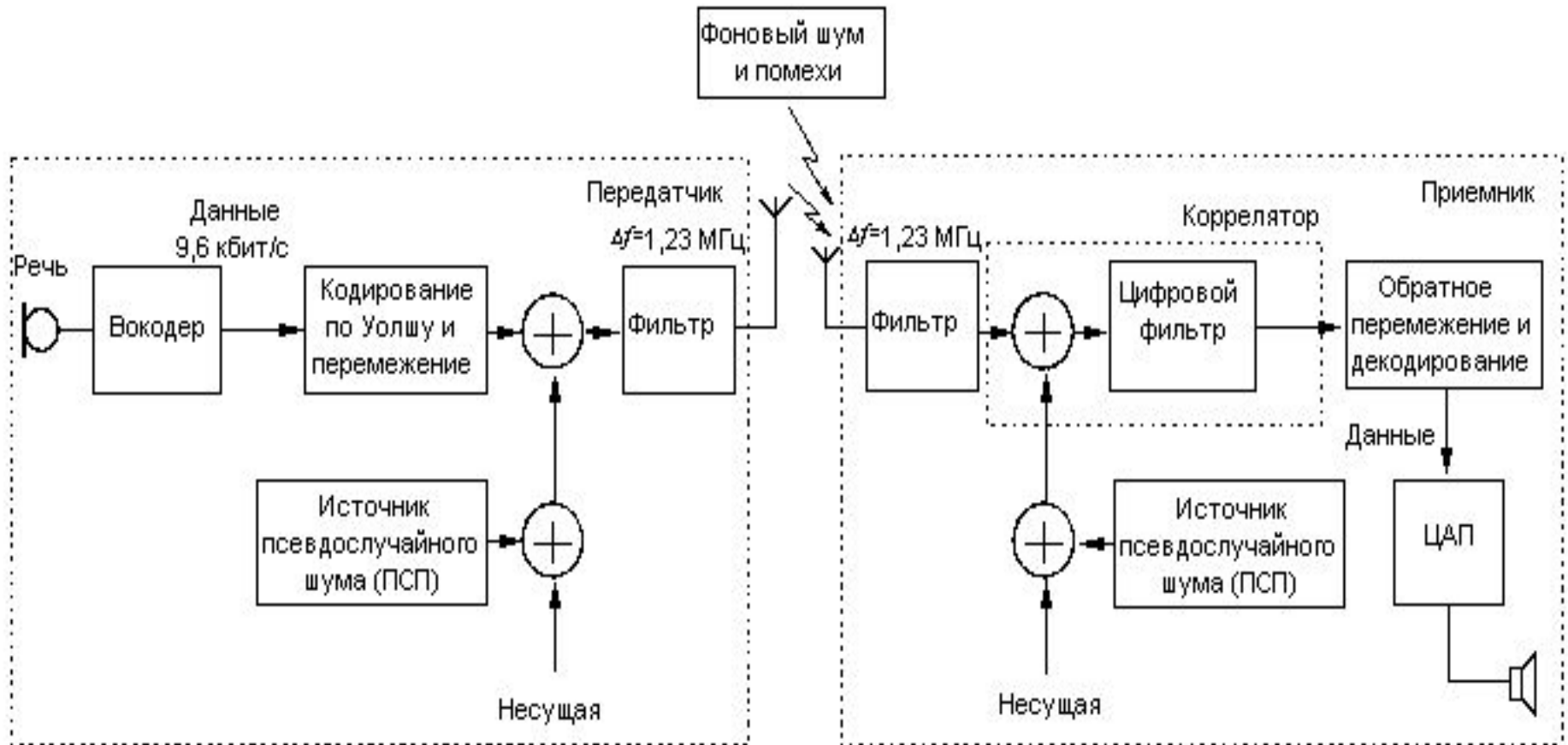
Параметр	Базовая станция			Мобильная станция		
	PI	SYNC	PCH	TCH	ACH	PCH
Тип канала	PI	SYNC	PCH	TCH	ACH	PCH
Число одновременно передаваемых каналов	1	1	7	55	1	1
Входная скорость, кбит/с	H/п	1,2	2,4	1,2	4,8	1,2
			4,8	2,4		2,4
			9,6	4,8	4,8	
				9,6		9,6
Скорость кодирования	H/п	1/2	1/2	1/2	1/3	1/3
Скорость на выходе сверточного кодера, кбит/с	H/п	4,8	4,8	2,4	14,4	3,6
			9,6	4,8	7,2	
			19,2	9,6		14,4
				19,2		28,8
Выходная скорость кодированного потока, кбит/с	H/п	4,8	19,2	19,2	28,8	28,8
Скорость после кодового преобразования, кбит/с	H/п	H/п	H/п	H/п	307,2	307,2
Метод модуляции в радиоканале	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	OQPSK	OQPSK

Канал пилот-сигнала (PI)

Пилот-сигнал - это сигнал несущей, который используется MS для выбора базовой станции (по наиболее мощному сигналу), а также в качестве опорного для синхронного детектирования сигналов информационных каналов. Излучение пилот-сигнала происходит непрерывно. Для его передачи используют функцию Уолша нулевого порядка (W_0).

В канале синхронизации передается сигнал для установки синхронизации. По этому сигналу MS может определить системное время и сдвиг пилот-сигнала БС во время первоначального вхождения в систему. Работает с фиксированной скоростью 1200 бит/с.

Принцип работы системы связи CDMA



Регулировка мощности

Эффективная работа системы с кодовым доступом возможна при условии выравнивания сигнала от различных абонентов на входе базовой станции. Причем чем выше точность выравнивания, тем больше зона покрытия БС.

В системе предусматривается три механизма регулировки мощности:

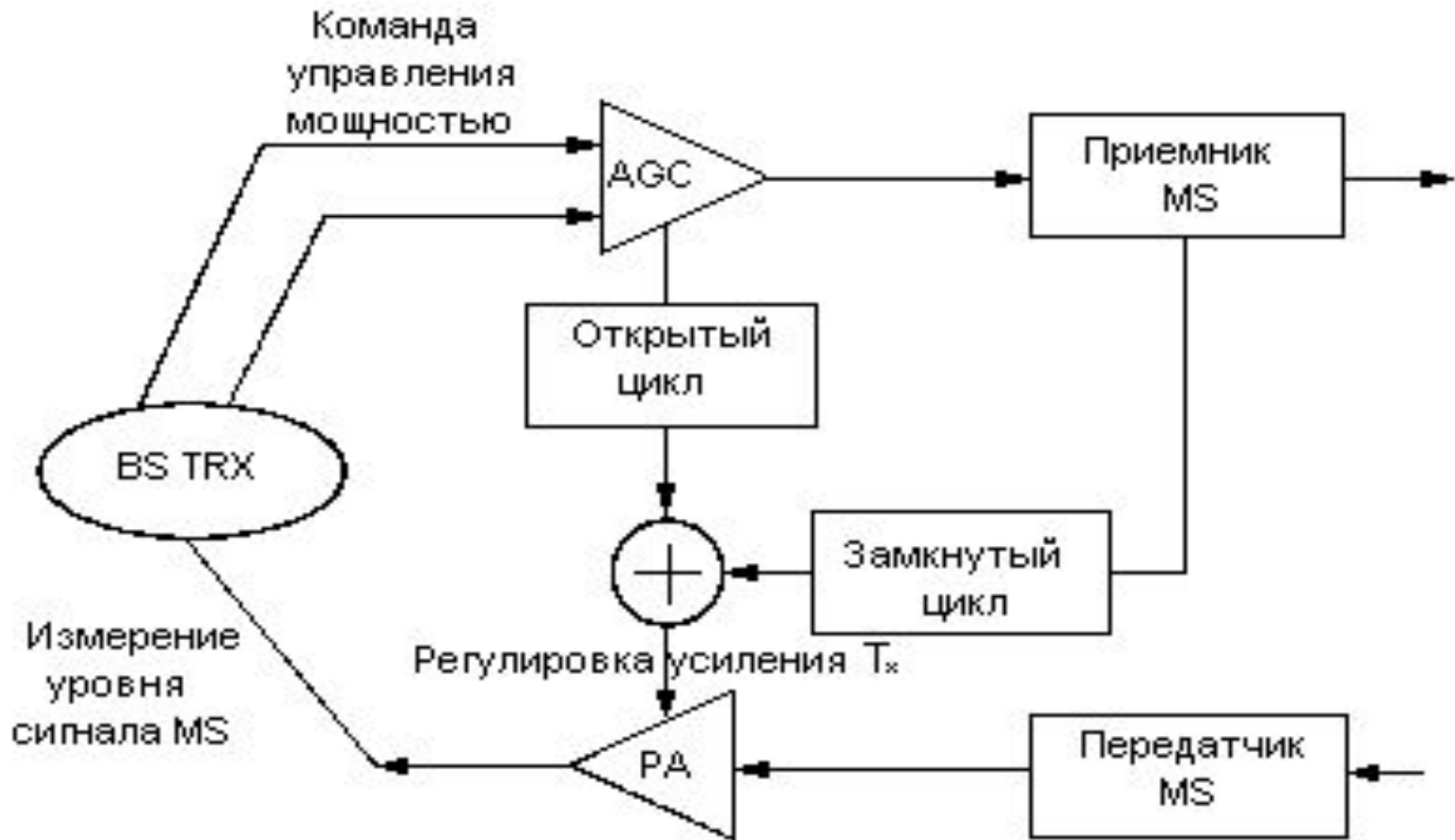
- в обратном канале (ОК) - внешняя петля регулирования;**
- в прямом канале - разомкнутая петля (открытый цикл);**
- в прямом канале - замкнутая петля (замкнутый цикл).**

Регулирование мощности в обратном канале

Все MS непрерывно передают информацию об уровне ошибок в принимаемых сигналах. На основании этой информации БС распределяет излучаемую мощность между MS таким образом, чтобы в каждом случае обеспечить требуемое качество речи.

Но это не обеспечивает желаемой точности регулировки мощности, так как прямой и обратный каналы работают в разных частотных диапазонах (разнос частот 45 МГц), имеют различные уровни затухания сигналов и по-разному подвержены воздействию помех.

Схема управления мощностью в прямом канале



Регулировка мощности

При открытом цикле MS после включения ищет сигнал БС. После синхронизации MS по этому сигналу производится замер его мощности и вычисляется мощность передаваемого сигнала, необходимая для обеспечения соединения с БС.

Процесс повторяется каждые 20 мс, но он не обеспечивает желаемой точности регулировки мощности.

При замкнутом цикле БС постоянно оценивает вероятность ошибки в каждом принимаемом сигнале. Если она превышает программно заданный порог, то БС дает команду соответствующей MS увеличить мощность излучения. Этот процесс повторяется каждые 1,25 мс.

Технические характеристики стандарта CDMA

Характеристика	Значение
Диапазон частот передачи MS, МГц	824,040-848,860
Диапазон частот передачи BTS, МГц	869,040-893,970
Относительная нестабильность несущей частоты BTS	$\pm 5 \times 10^{-8}$
Относительная нестабильность несущей частоты MS	$\pm 2,5 \times 10^{-6}$
Вид модуляции несущей частоты	QPSK (BTS), O-QPSK (MS)
Ширина спектра излучаемого сигнала, МГц: по уровню -3 дБ по уровню -40 дБ	1.25 1.50
Тактовая частота ПСП, МГц	1.2288
Число каналов BTS на одной несущей	1 пилот-канал, 1 канал сигнализации, 7 каналов персонального вызова, 55 каналов связи
Число каналов MS	1 канал доступа, 1 канал связи
Скорость передачи данных, бит/с: в канале синхронизации в канале персонального вызова и доступа в каналах связи	1200 9600, 4800 9600, 4800, 2400, 1200

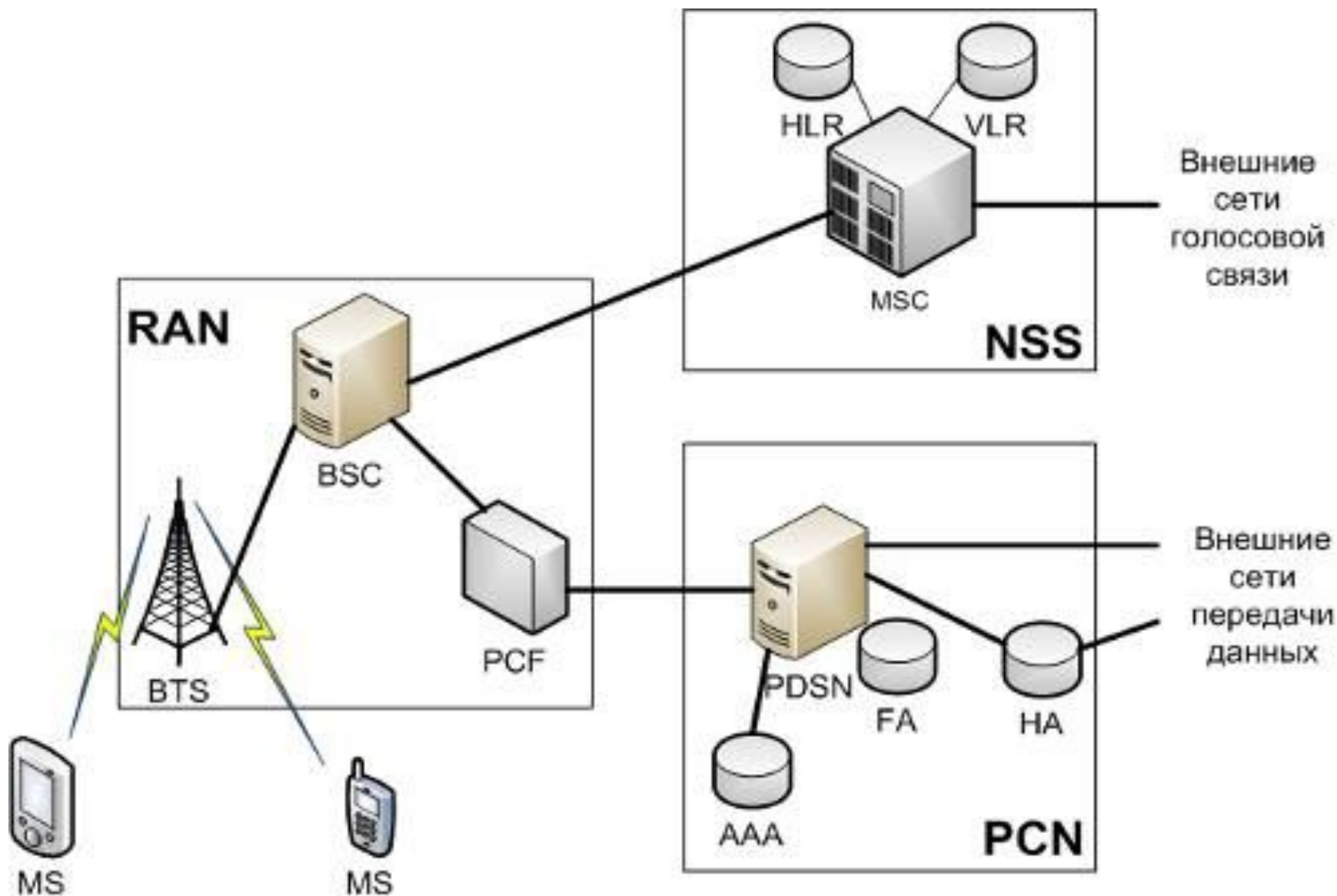
Стандарт CDMA2000

CDMA2000 – это технология, которая обеспечила эволюцию сетей CDMAOne/IS-95 к стандартам 3G.

Особенности стандарта CDMA2000:

- усовершенствованный алгоритм управления мощностью;
- разнесенная передача – каждая антенна может принимать/передавать до 6 различных сигналов. При этом MS выбирает частоту с наибольшим уровнем сигнала;
- умные антенны (Smart Antennas) БС позволяют формировать отдельные лучи передачи сигнала для каждого абонента с точностью в несколько десятков метров. Благодаря Smart antenna реализован пространственный метод множественного доступа абонентов (SDMA - Space Division Multiple Access);
- используются более эффективные вокодеры и бóльшее число расширяющих кодов (Walsh code – 128 вместо 64).

Структура сети стандарта CDMA2000



PCN – сеть с коммутацией пакетов;

RAN – сеть радио доступа;

PCF – устройство контроля пакетных соединений;

AAA – сервер для проведения аутентификации и авторизации абонентов, биллинга и выставления счетов;

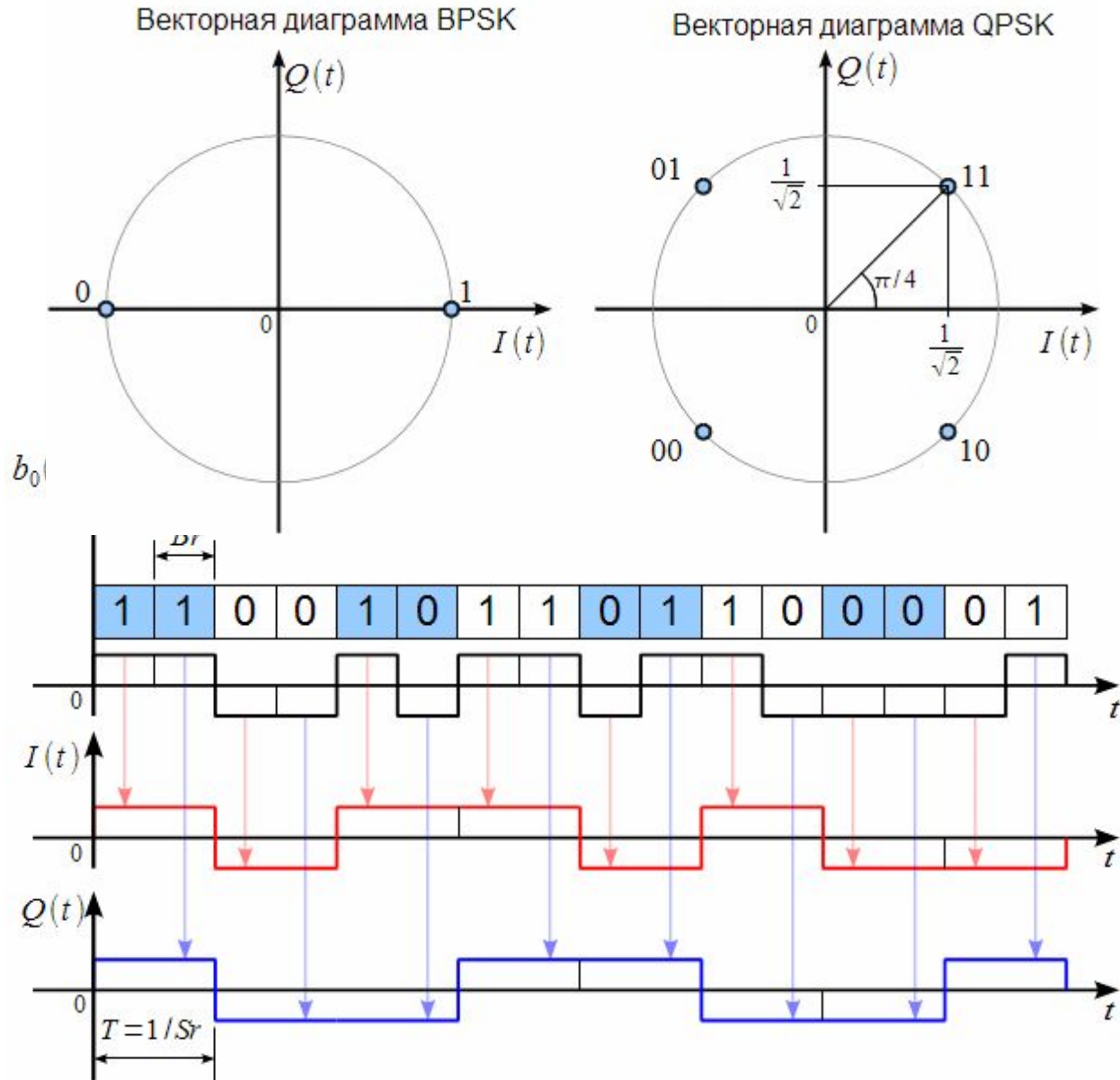
HA – домашний агент обеспечивает бесшовный роуминг с другими сетями CDMA2000, регистрацию абонентов, передачу пакетов к PDSN;

PDSN/FA – обслуживающий узел пакетной сети, объединенный с внешним агентом – шлюз между сетью радио доступа и внешними пакетными сетями.

Устройство PDSN/FA выполняет следующие функции:

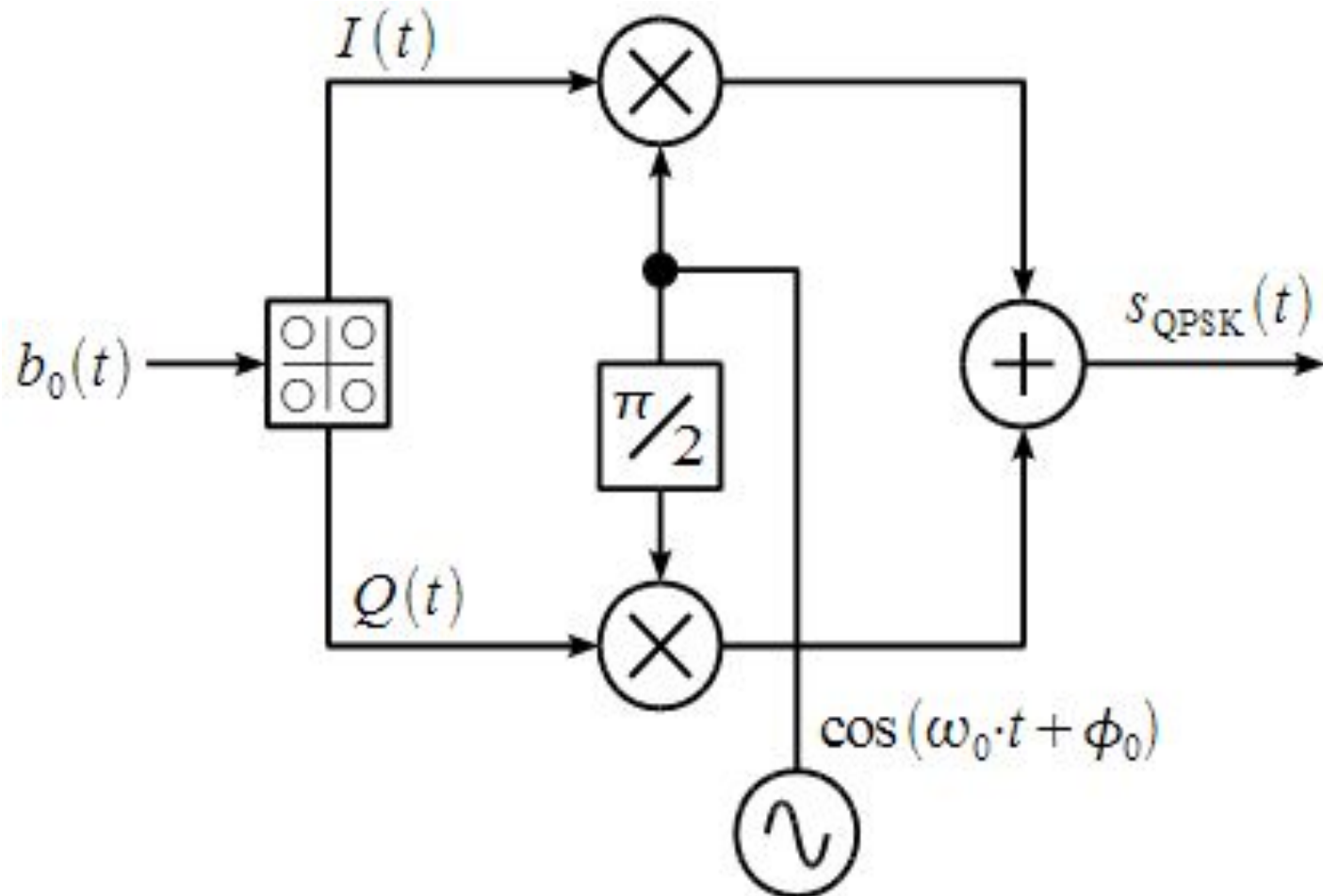
- ▶ управляет соединениями между системой базовых станций и пакетной сетью, включая установление, поддержание и завершение сессий;
- ▶ предоставляет IP-адреса абонентам сети;
- ▶ выполняет маршрутизацию пакетом между сетью оператора и внешними сетями передачи данных;
- ▶ формирует и передает счета за оказанные услуги в систему биллинга;
- ▶ управляет абонентскими услугами, в соответствии с профилями абонентов, полученными из AAA-сервера;
- ▶ проводит аутентификацию самостоятельно, либо передает запрос на аутентификацию в AAA-сервер.

Квадратурная фазовая манипуляция (QPSK)

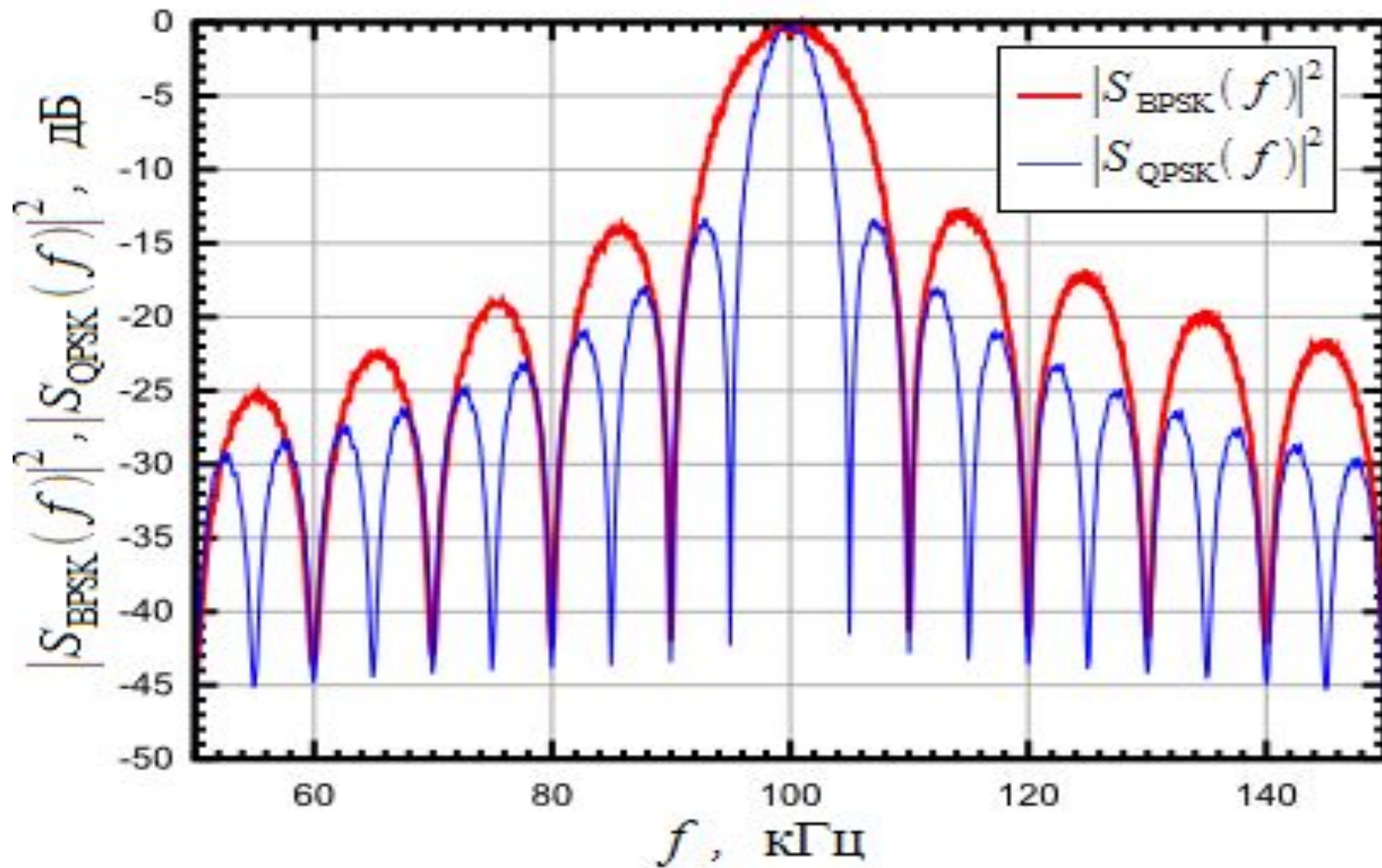


Структурная схема модулятора QPSK-4

$$s_{\text{QPSK}}(t) = I(t) \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \phi_0) - Q(t) \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + \phi_0)$$



Спектр QPSK сигнала

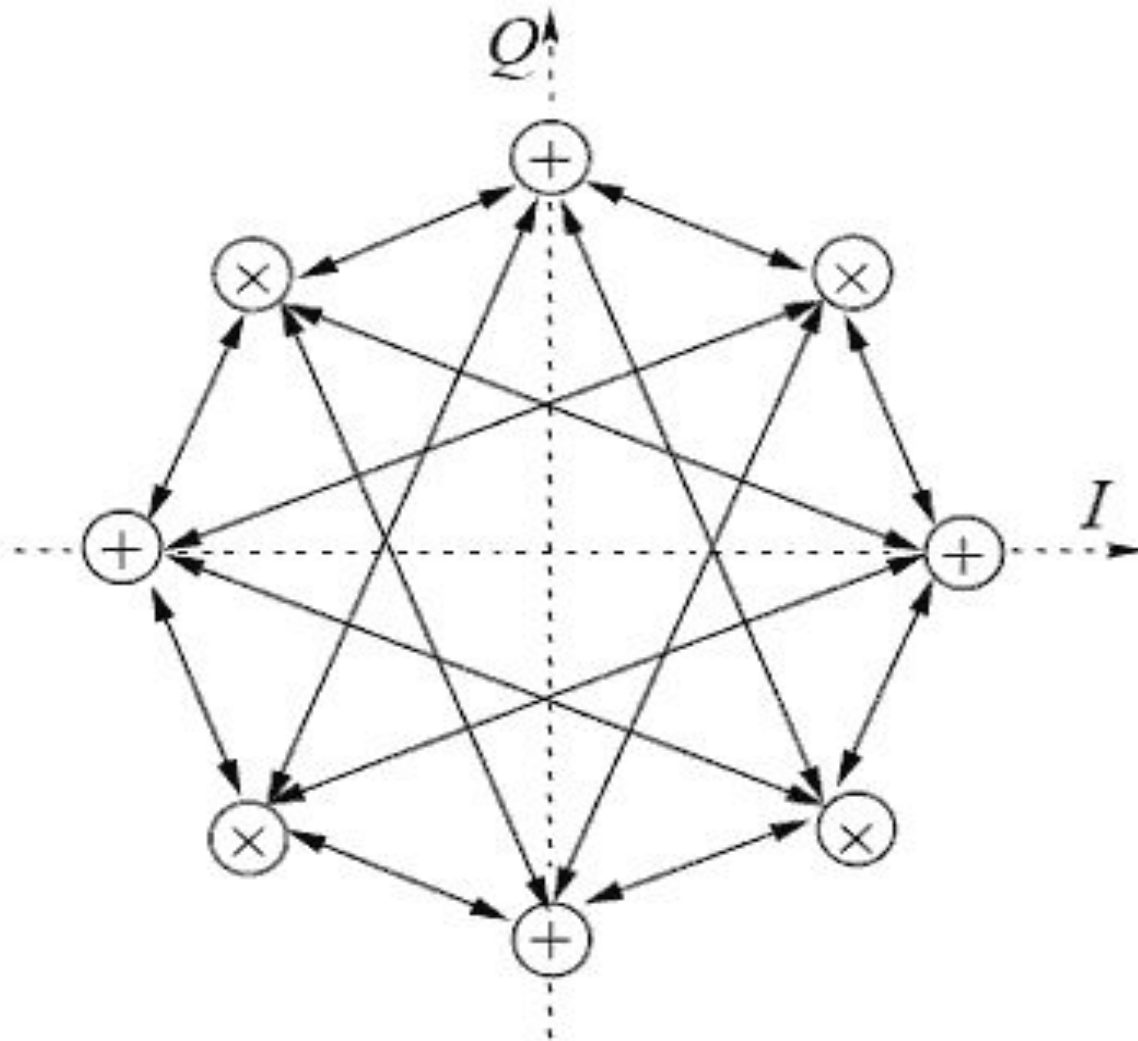


Дифференциальная квадратурная фазовая манипуляция (DQPSK)

Закон изменения фазы в модуляции DQPSK

Биты входной последовательности		Изменение фазы $\Delta\varphi_k = \Delta\varphi_k(x_k, y_k)$
Нечетные (первые биты)	Четные (вторые биты)	
1	1	$-3\pi/4$
0	1	$3\pi/4$
0	0	$\pi/4$
1	0	$-\pi/4$

Фазовая диаграмма переходов состояний сигналов DQPSK



Квадратурная амплитудная модуляция (QAM)

$$u(t) = U_I \cos(\omega t) + U_Q \sin(\omega t),$$

U_I ; U_Q – синфазная и квадратурные составляющие модулирующего сигнала.

Если на один из входов подан ноль напряжения, а на другой двоичная последовательность с относительными уровнями ± 1 , то имеем обычный балансный модулятор, обеспечивающий передачу 1 бит/символ.

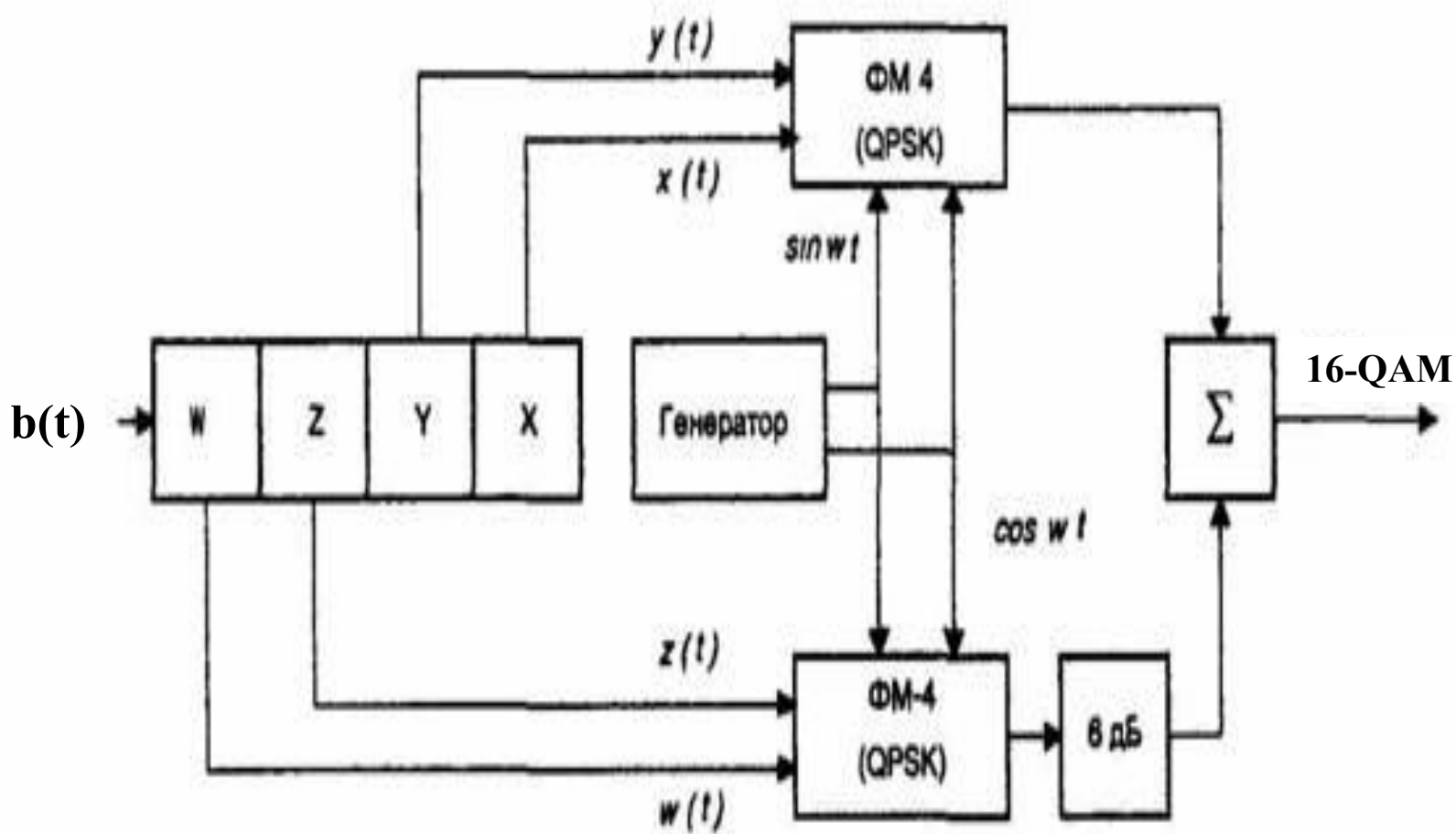
При подаче двоичных АИМ сигналов в оба канала модулятора по каждому из каналов передается 1 бит/символ, а общая скорость передачи составляет 2 бит/символ. В результате образуется сигнал квадратурной фазовой модуляции (QPSK).

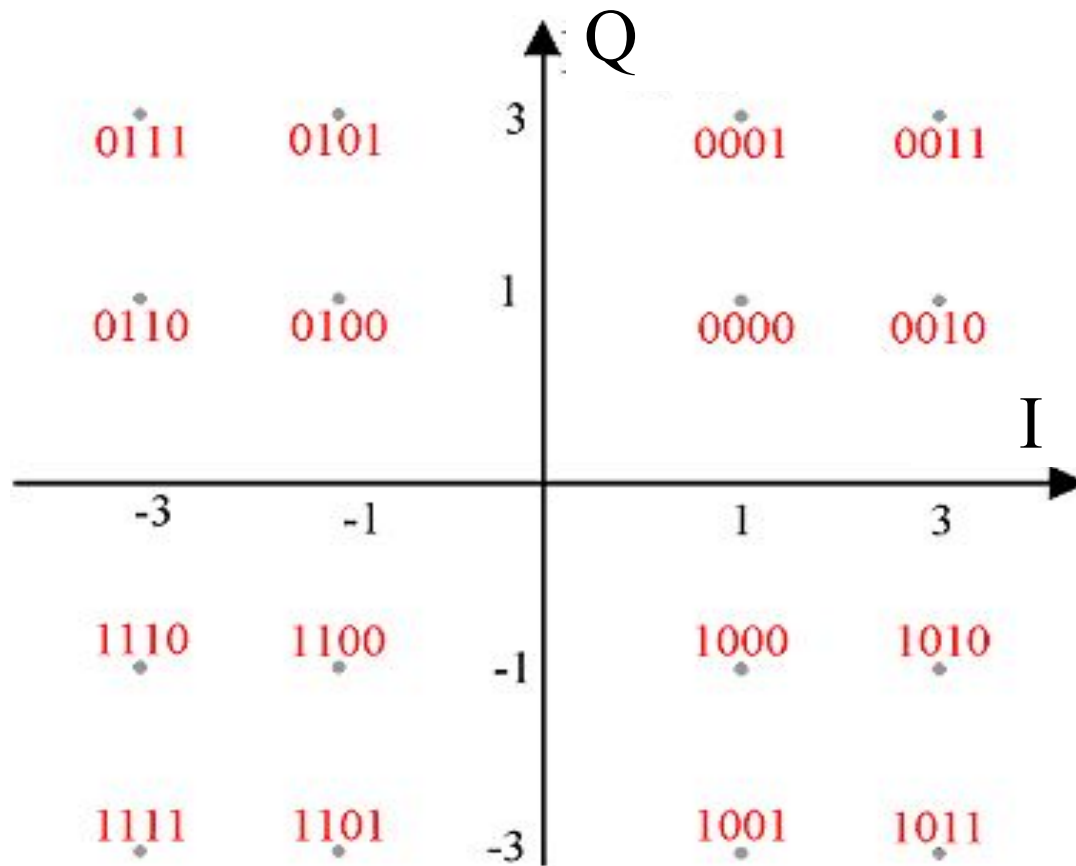
Квадратурная амплитудная модуляция (16-QAM)

Модуляция 16-QAM обеспечивает удельную скорость передачи 4 бит/символ.

Входной поток данных $b(t)$ разделяется на четыре подпотока $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ и $w(t)$ с соответственно уменьшенными скоростями.

Квадратурная амплитудная модуляция (QAM)

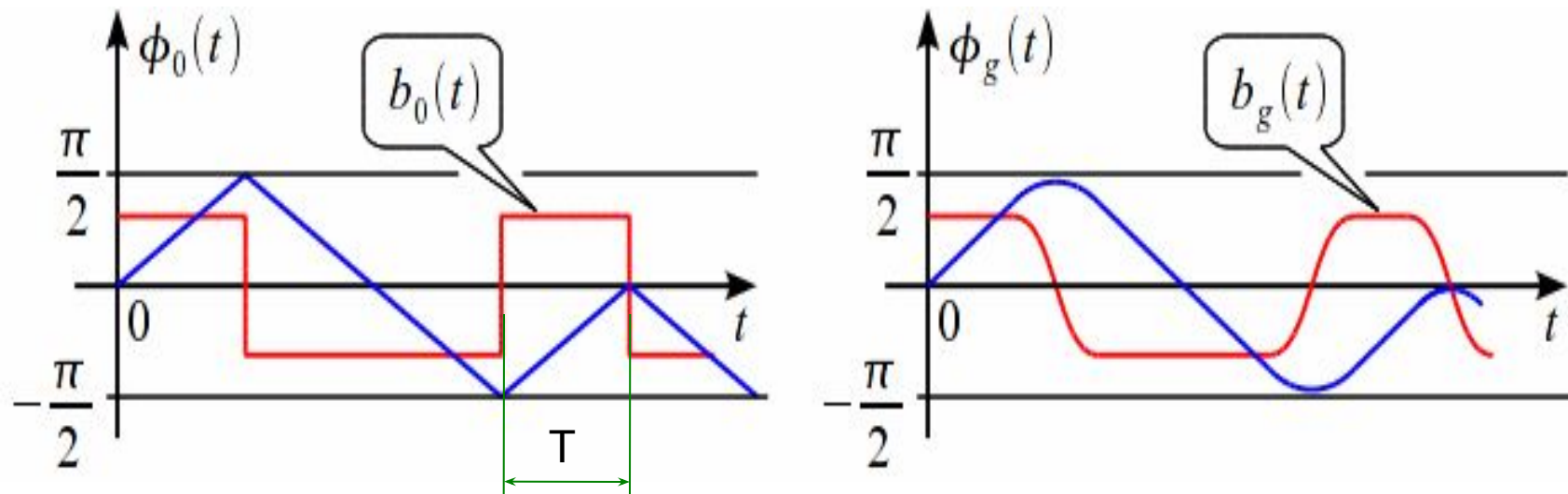




Применение многопозиционной QAM способствует передаче большего количества информации, однако в реальных условиях, при наличии помех, на приемной стороне возможно ошибочное определение амплитуды и фазы передаваемого сигнала.

Основное преимущество QAM перед другими видами модуляции – в ее хорошей помехозащищенности

Частотная модуляция с гауссовой огибающей (GMSK)

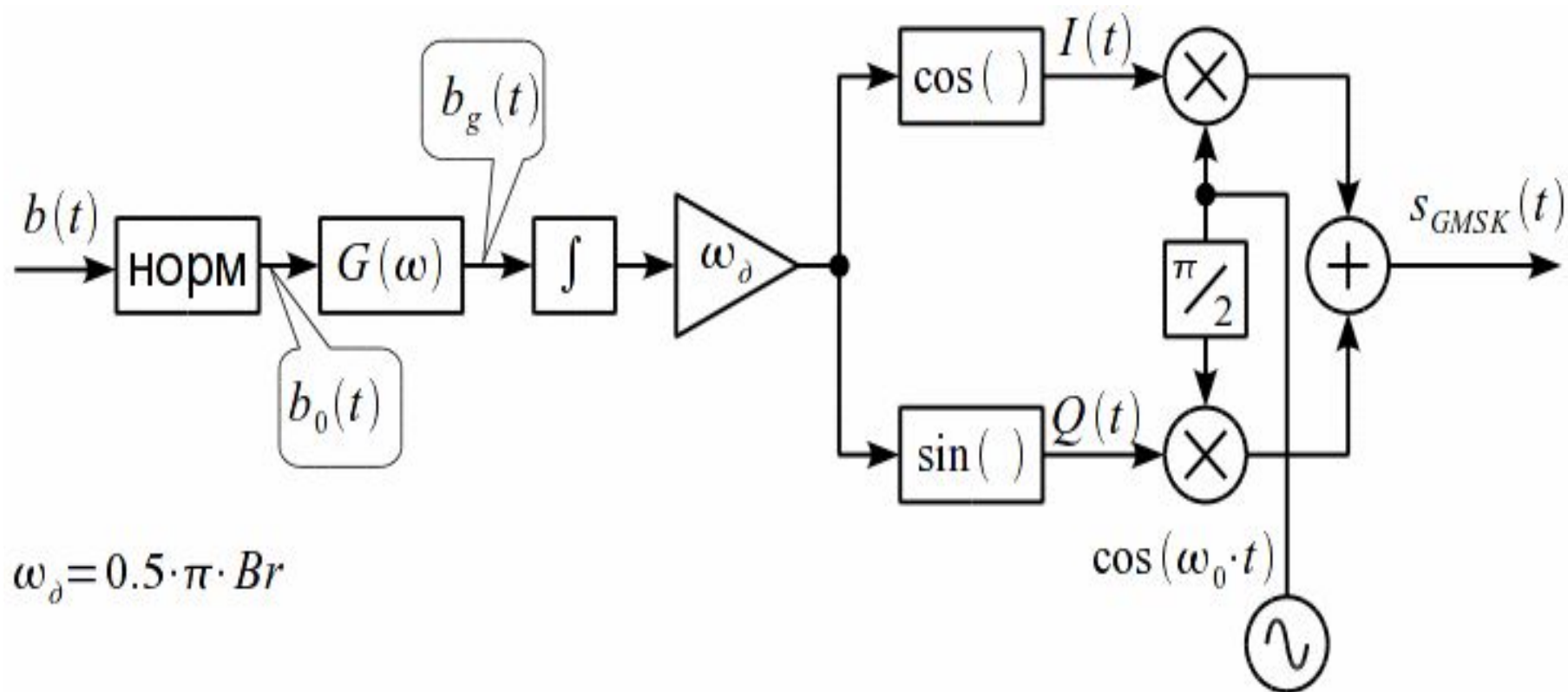


Девияция частоты ω_∂ GMSK берется минимально возможной для обеспечения непрерывности фазы несущего колебания в момент изменения модулирующего сигнала, и разделения сигналов 0 и 1:

$$\omega_\partial = 0,5\pi B,$$

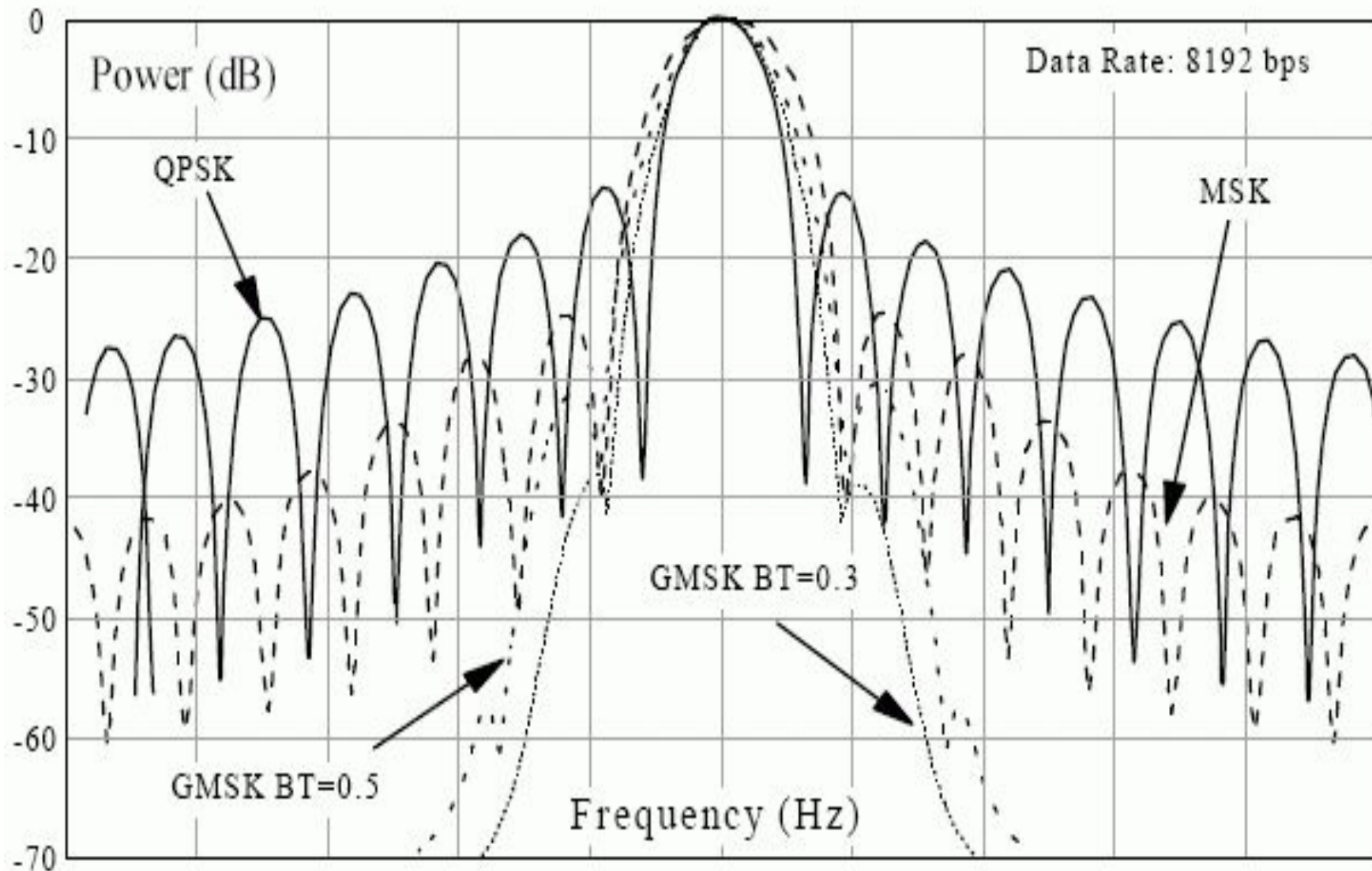
где $B=1/T$ – скорость передачи цифровой информации.

Модулятор GMSK



$$\omega_\delta = 0.5 \cdot \pi \cdot Br$$

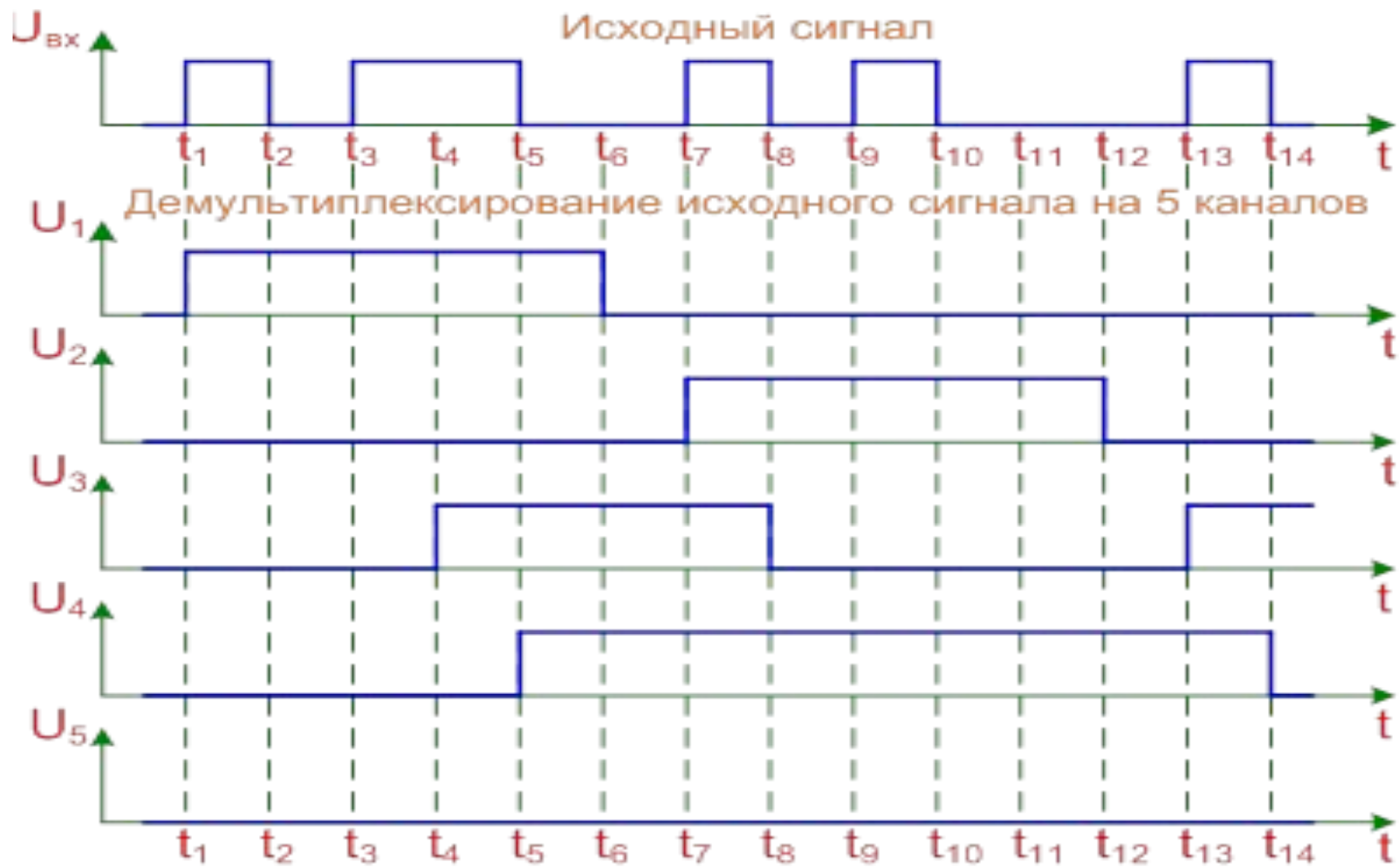
Спектры QPSK, MSK и GMSK сигналов



Модуляция OFDM

Способ модуляции с одновременным использованием нескольких несущих частот.

Передаваемый цифровой поток модулирующего сигнала «распараллеливается» и передается по нескольким каналам - путем модуляции нескольких несущих.

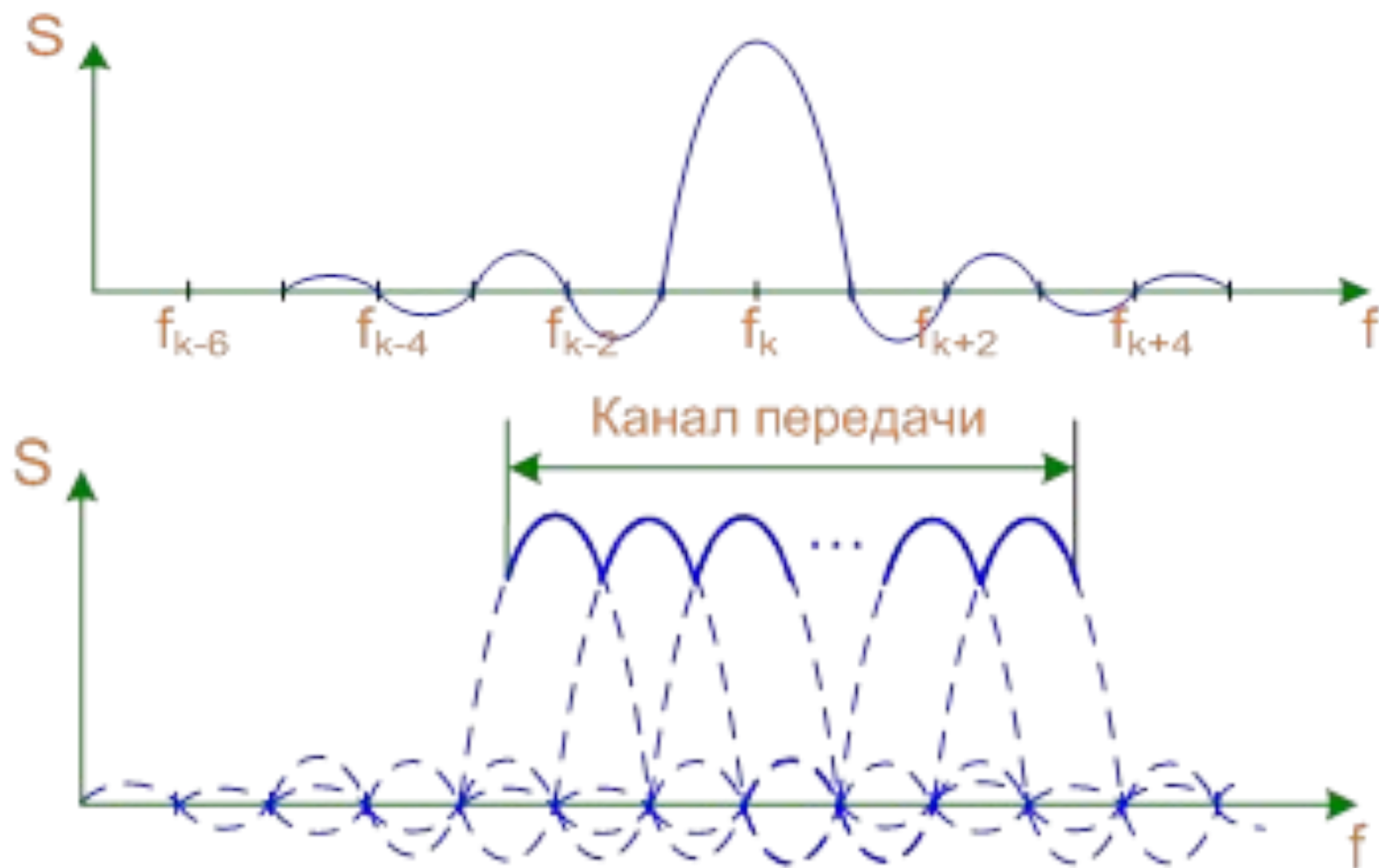


Выбор частот

Несущие частоты выбираются из следующих соображений:

- число несущих должно быть таким, чтобы при неизменной скорости потока данных на входе модулятора OFDM увеличить до требуемой величины время передачи одного символа на каждой несущей;
- несущие должны быть достаточно близки по частоте друг к другу, чтобы сократить занимаемую полосу частот канала связи;
- частоты несущих должны быть выбраны так, чтобы они не создавали взаимных помех. Это условие выполняется, если частоты удовлетворяют требованию ортогональности.

Смысл требования ортогональности: спектр сигнала на каждой несущей после модуляции должен иметь «нули» на других частотах, на которых расположены остальные несущие.



Модулятор OFDM

