

Система цифрового вещания DAB



Дисциплина ЦТЗММ

Основные характеристики системы

Система предназначена
*для доставки высококачественных
цифровых звуковых программ и данных,*
передаваемых наземными и спутниковыми
передатчиками, и принимаемых
автомобильными, переносными и
стационарными приемниками цифровых
сигналов



Основные характеристики системы

Передача ведется в диапазонах частот:

174 — 240 МГц (T-DAB)

1452 — 1492 МГц (T-DAB и S-DAB),

Полоса частот радиоканала: 1,536 МГц



Основные характеристики системы

Система DAB способна обеспечить качество звучания компакт-диска.

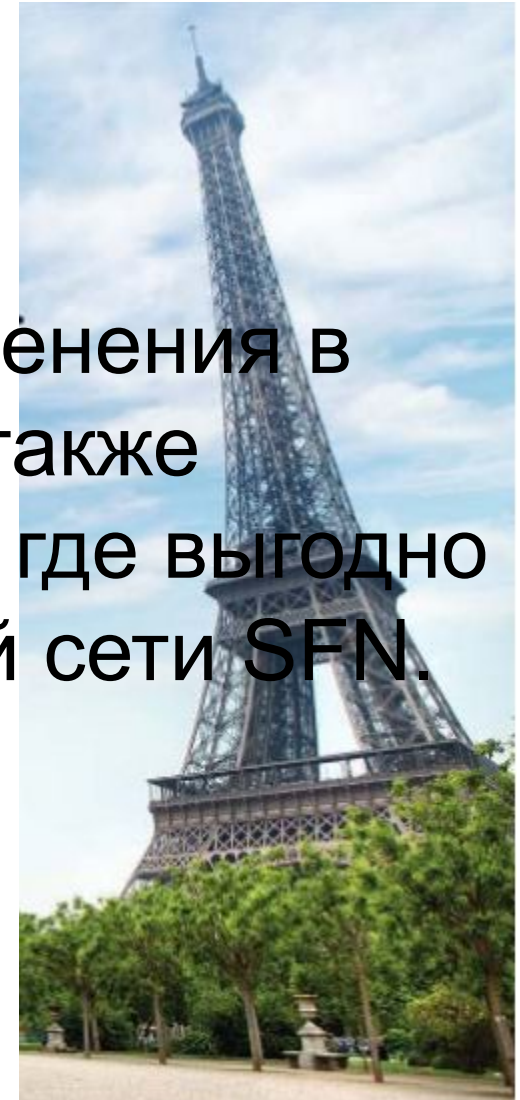
В радиоканале могут быть переданы одновременно несколько программ с разным уровнем качества;

Возможна одновременная передача большого объема сопутствующей программам дополнительной информации.



Основные характеристики системы

Система удобна для применения в *крупных городах*, а также *густонаселенных районах*, где выгодно построение одночастотной сети SFN.



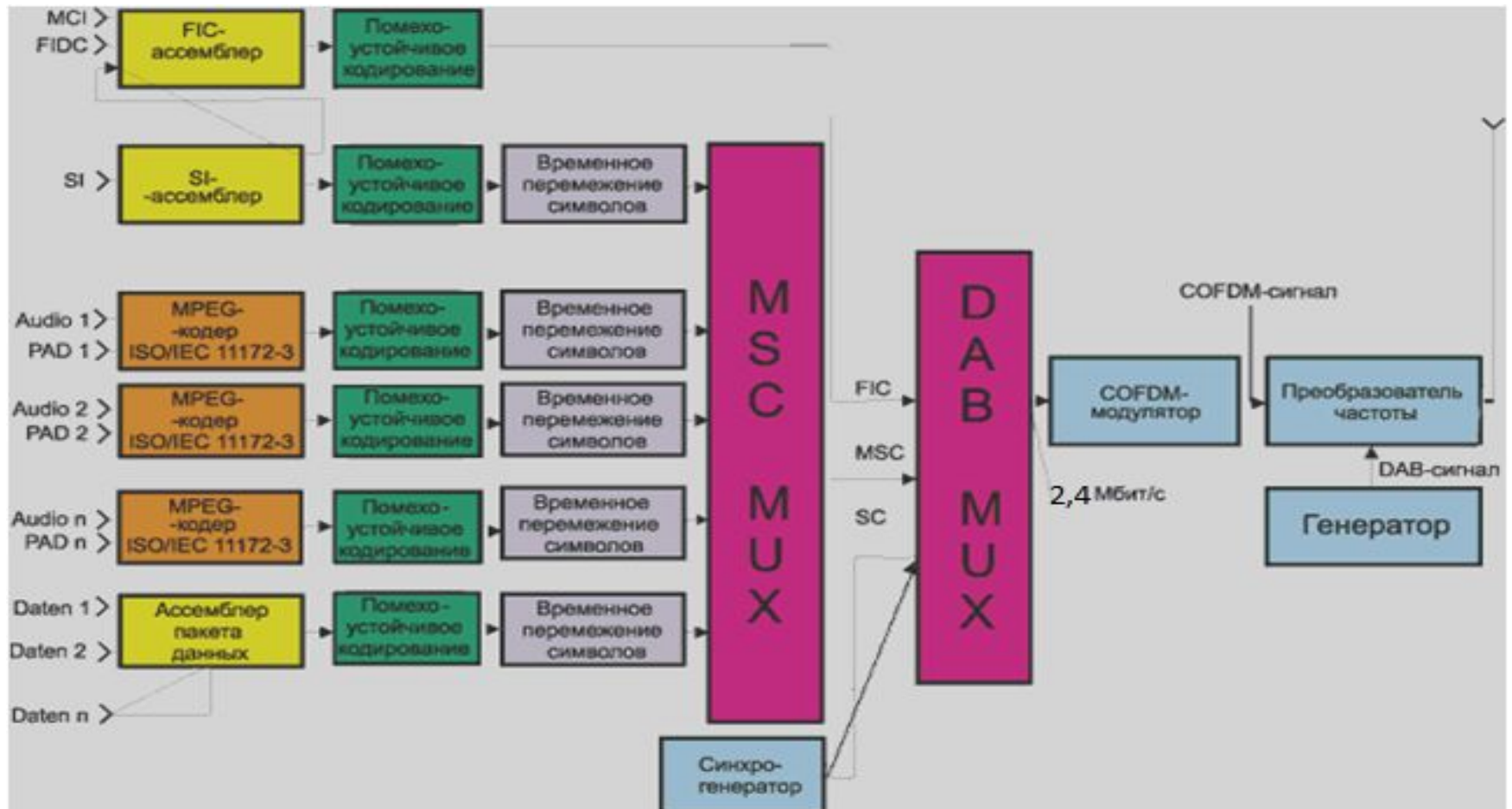
Основные характеристики системы

Предполагается применение системы
на региональном уровне
и просто в качестве отдельно работающих
радиостанций.

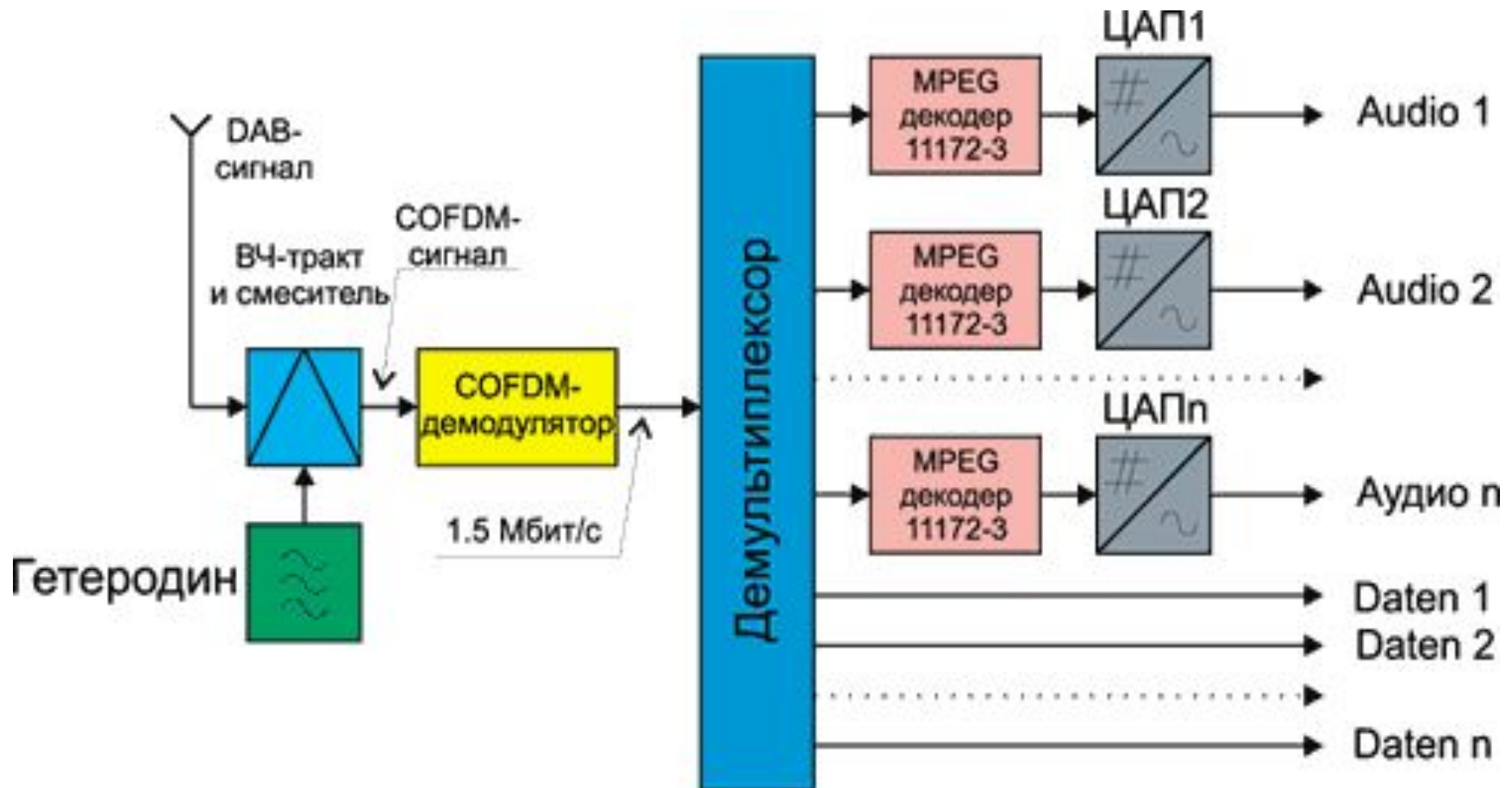
*Основное преимущество DAB — высокое
качество радиоприема в движущемся
автомобиле*



Структурная схема передающей части системы



Структурная схема приемной части системы



Каналы передачи цифровых потоков

В системе DAB формируются *три канала передачи цифровых потоков*:

MSC - канал пользователя

(Main Service Channel)

FIC - канал быстрой информации

(Fast Information Channel)

SC - канал синхронизации

(Synchronization Channel)



Каналы передачи цифровых потоков

Цифровой поток канала пользователя MSC используется для передачи:

звуковых сигналов радиовещания и цифровых данных PAD (Programme Associated Data), связанных с программами ЗВ.

Скорость передачи данных PAD может варьироваться в пределах 65–667 кбит/с



Каналы передачи цифровых потоков

Цифровой поток канала MSC состоит из логических кадров (фреймов) CIF (Common Interleaved Frame) с временным перемежением, являющихся частью кадра передачи.

Логический кадр CIF состоит из 55296 бит, передаваемых каждые 24 мс.



Каналы передачи цифровых потоков

Наименьшая адресуемая часть кадра CIF содержит целое число так называемых единиц емкости CU (Capacity Units).

Одна такая единица CU содержит 64 бита.

Целое число CU составляет единицу передачи в канале MSC, называемую ***субканалом.***

Каналы передачи цифровых потоков

Таким образом, канал MSC состоит из множества субканалов.

В каждом субканале может передаваться *одна или несколько* компонент канала пользователя.

Информация, передаваемая в субканалах, подвергается сверточному кодированию и временному перемежению.



Каналы передачи цифровых потоков

Диапазон изменения скоростей цифрового потока канала MSC без учета избыточных битов помехоустойчивого кодирования лежит в пределах

0,6–1,8 Мбит/с

(зависит от выбранного уровня защиты информации).

Предельная пропускная способность канала MSC составляет 2,304 Мбит/с.

Каналы передачи цифровых потоков

Организация субканалов и канальных
компонент называется
конфигурацией мультиплексирования
(MCI – Multiplex Configuration Information)



Каналы передачи цифровых потоков

Информация о мультиплексировании MCI
включает:

сведения об организации субканалов,
перечень каналов U , входящих в
вещательный канал ЦРВ,
связь между субканалами и
компонентами каналов U ,
управление реконфигурацией
мультиплексирования.



Каналы передачи цифровых потоков

Цифровой поток канала быстрой информации FIC используется для быстрого доступа к информации в приемнике.



Каналы передачи цифровых потоков

По каналу FIC передаются:

- информация о мультиплексировании MCI данных в канале пользователя MSC,
- часть сервисной информации SI (Service Information),
- информация управления условным доступом (CA),
- данные быстрого доступа FIDC (Fast Information Data Channel), например сигналы гражданской обороны и т.п.

Каналы передачи цифровых потоков

В канале FIC не используется временное перемежение цифровых данных, поэтому он не имеет задержки по времени, возникающей при выполнении этой процедуры.

Данные канала FIC подвергаются скремблированию и защищены сверточным кодом.



Каналы передачи цифровых потоков

В этом канале формируются блоки быстрой информации FIB (Fast Information Blocks).

Длина каждого блока FIB составляет 256 бит, из них 16 бит – это дополнительные биты помехоустойчивого кодирования CRC-кода.



Каналы передачи цифровых потоков

Цифровой поток *канала синхронизации*
SC используется внутри передающей
части системы для:
синхронизации кадра передачи,
оценки состояния субканалов,
идентификации передатчика.



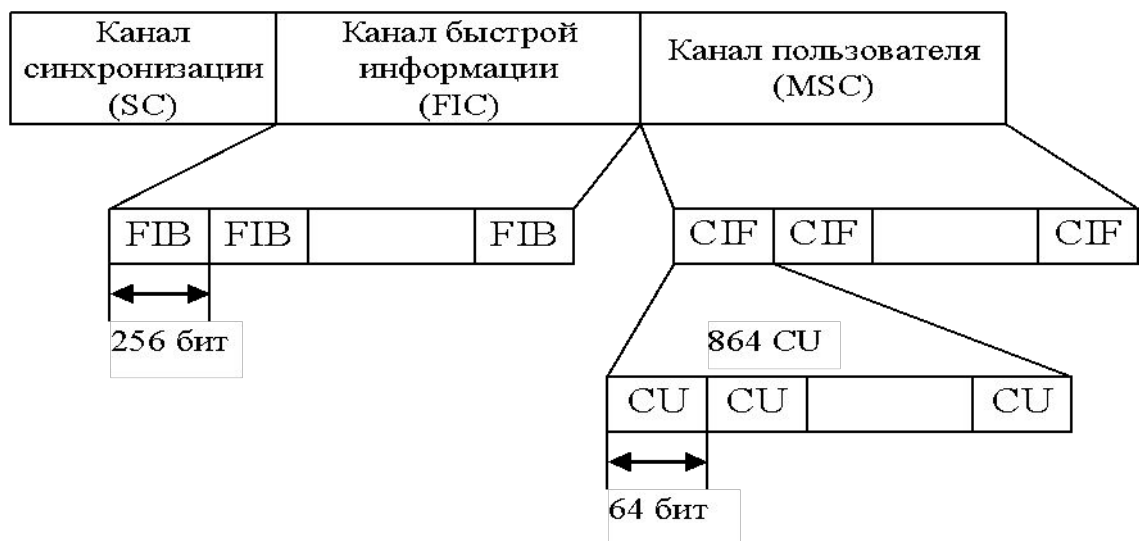
Каналы передачи цифровых потоков

Цифровой поток канала пользователя
MSC со скоростью
не более 2,304 Мбит/с

в мультиплексоре кадра передачи
объединяется с потоком канала FIC и
символами канала синхронизации SC



Кадр мультиплексного потока



Каналы передачи цифровых потоков

После объединения суммарный цифровой
поток

со скоростью **2,4 Мбит/с**

поступает на COFDM-модулятор (COFDM-кодер).

Далее COFDM-сигнал переносится преобразователем частоты в полосу частот радиоканала, усиливается и излучается в эфир.



Защита цифровых данных в субканалах системы DAB

Защита цифровых данных в субканалах системы DAB

Помехоустойчивому кодированию (канальному кодированию) подвергаются цифровые данные каналов MSC и FIC. Для этой цели использован **сверточный код с процедурой перфорирования** (выкалывания), (Rate Compatible Puncturing Convolutional Codes).



Защита цифровых данных в субканалах системы DAB

Эта процедура позволяет применять коды с различной избыточностью без изменения декодера приемника,

учесть чувствительность разных элементов цифрового потока к ошибкам, применяя режимы с равной (EER) и неравной (UER) защитой цифровых данных от ошибок



Защита цифровых данных в субканалах системы DAB

Перфорирование состоит в систематическом удалении из процесса передачи некоторых битов с выхода основного кодера.

При этом:

структура кода не меняется,

количество информационных символов не меняется



Защита цифровых данных в субканалах системы DAB

Все семейство используемых сверточных кодов образовано из одного материнского кода.

Производные коды формируются из материнского кода путем выкалывания некоторых битов на выходе сверточного кодера.



Защита цифровых данных в субканалах системы DAB

На приемной стороне необходимо знать, какие именно биты были исключены при кодировании (индекс выкалывания).

Для всего такого семейства сверточных кодов требуется один декодер



Защита цифровых данных в субканалах системы DAB

Благодаря этой процедуре реализованы ***разные уровни защиты*** от ошибок в блоках цифровых данных канала MSC.

Уровень защиты меняется от *самого низкого* (к информационным битам добавляется только один проверочный бит) до *максимального* (три проверочных бита приходятся на каждый информационный).



Защита цифровых данных в субканалах системы DAB

Всего предусмотрено **пять** уровней защиты. Неравной защите от ошибок подвергаются разные части логических кадров CIF.

Защита цифровых данных в субканалах системы DAB

Количественная связь между корректирующей способностью сверточного кода и защитным уровнем задается таблично для всех возможных значений скорости $R_{зв}$.

Пример

$R_{зв}$, кбит/с	Защитный уровень p				
	1	2	3	4	5
64 ; 128	0,34	0,41	0,5	0,57	0,75

Защита цифровых данных в субканалах системы DAB

Помехоустойчивое кодирование применяется для борьбы с одиночными ошибками.

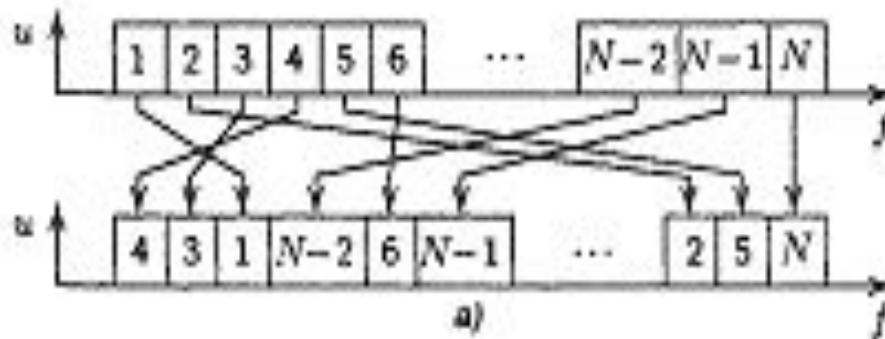
Для борьбы с групповыми ошибками используется временное перемежение сверточно закодированных данных.

Оно выполняется только в канале пользователя MSC.



Защита цифровых данных в субканалах системы DAB

Для эффективной борьбы с последствиями селективных замираний используется перемежение цифровых данных потока по несущим частотам радиоканала



Защита цифровых данных в субканалах системы DAB

Вследствие такого перемежения отдельные части цифрового потока *одной и той же программы* передаются на *нескольких несущих частотах*, расположенных равномерно во всей полосе частот радиоканала.



Модуляция поднесущих частот в системе DAB

Модуляция поднесущих частот в системе DAB

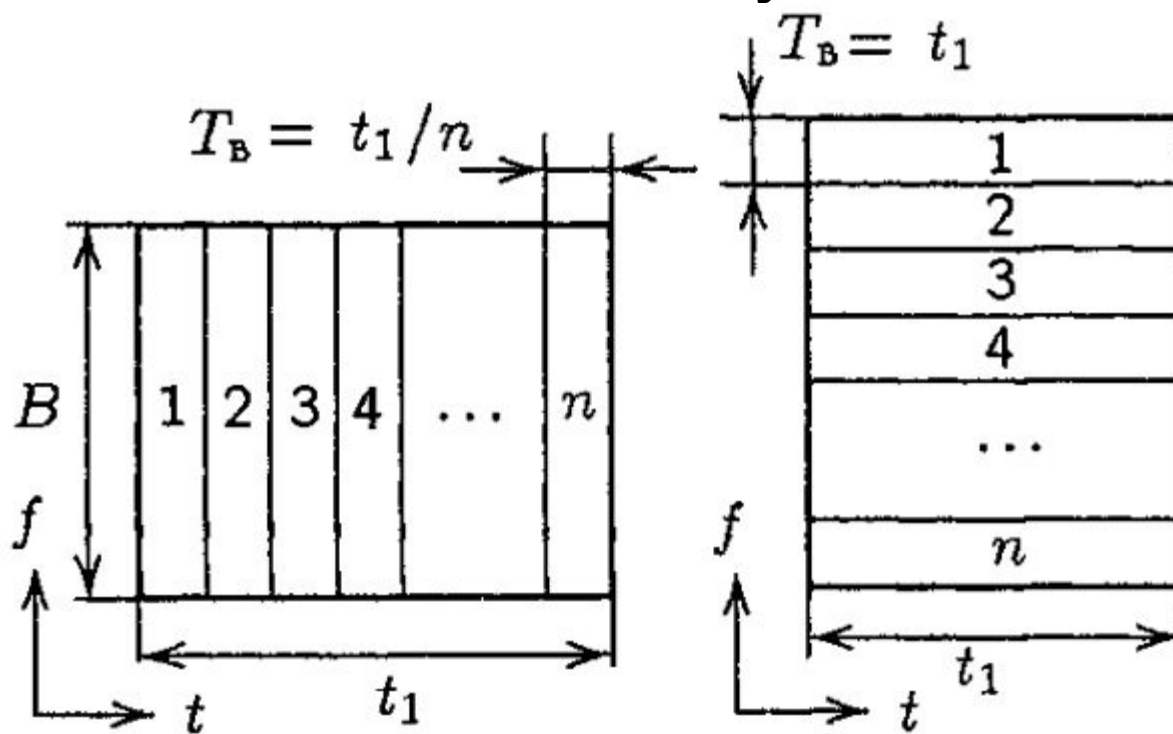
В системе DAB используется модуляция OFDM, точнее, ее разновидность COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex).

Здесь исходный цифровой поток в кодированной последовательности распределяется на большое число поднесущих частот.



Модуляция поднесущих частот в системе DAB

При этом в каждом таком канале скорость цифрового потока уменьшается в n раз, где n – число поднесущих частот.

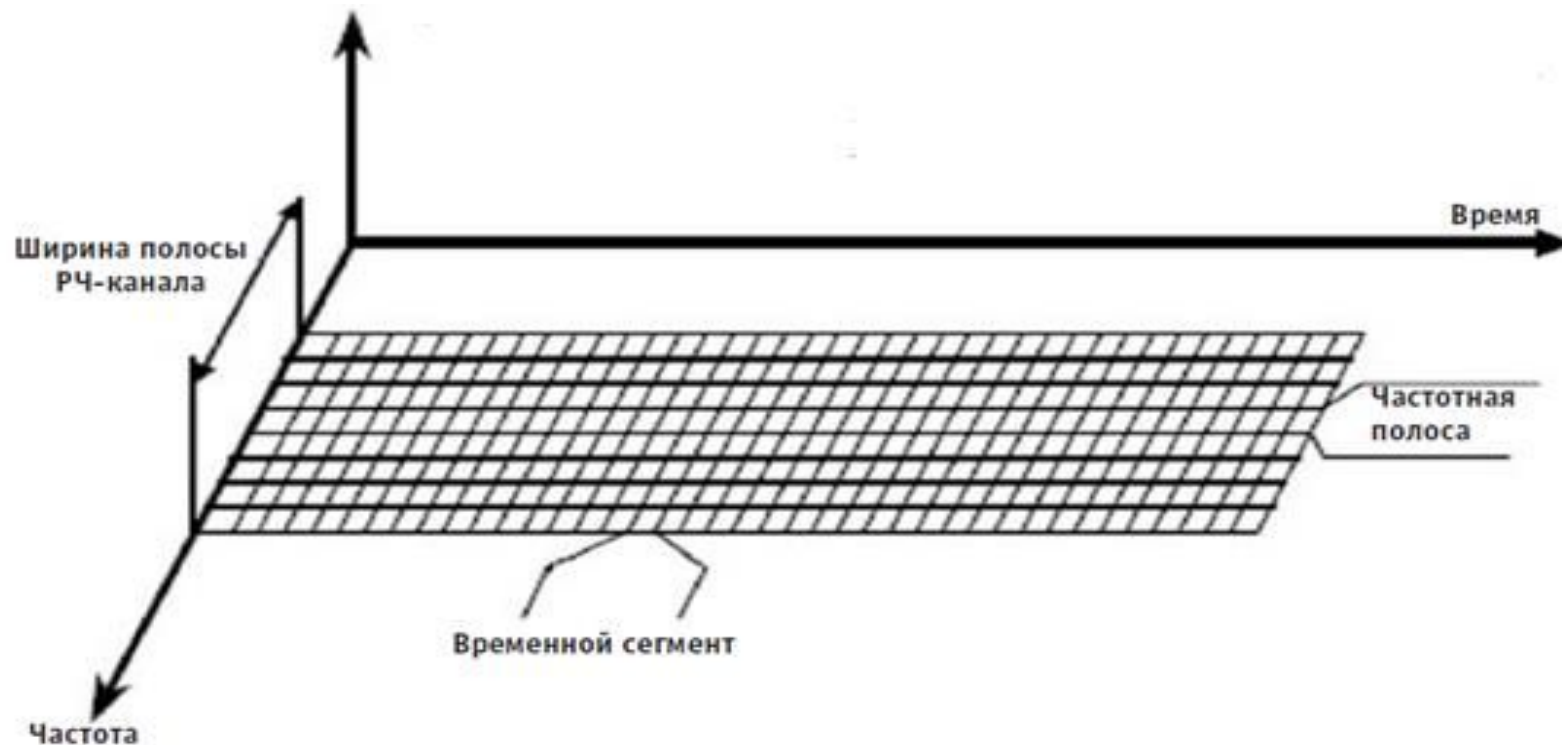


Модуляция поднесущих частот в системе DAB

В OFDM имеется возможность
применить «расщепление» наземного
канала передачи во времени и по частоте.

В результате радиочастотный канал
организуется
в виде *набора узких частотных полос*
и в виде *коротких во времени смежных*
«временных сегментов».

Модуляция поднесущих частот в системе DAB

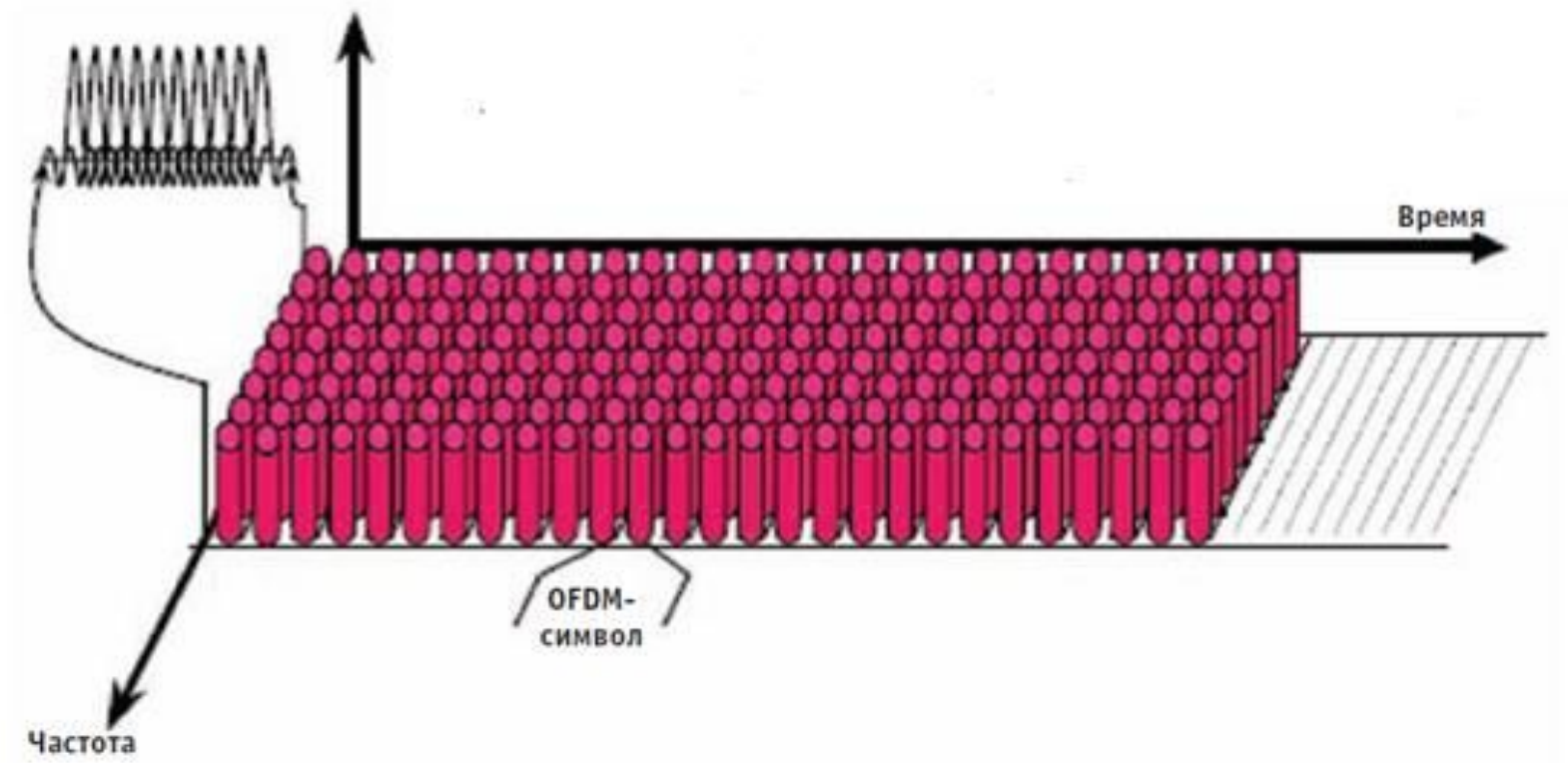


Модуляция поднесущих частот в системе DAB

Каждая частотно-временная ячейка имеет
свою собственную поднесущую
Набор поднесущих в определенном
временном сегменте
называется ***символом OFDM.***



Модуляция поднесущих частот в системе DAB



Модуляция поднесущих частот в системе DAB

Для устранения взаимных помех между поднесущими расстояние (промежуток) между ними выбирается равным обратной величине длительности символа: $\Delta f = 1/T_u$

Модуляция поднесущих частот в системе DAB

Между символами OFDM имеется так называемый ***защитный интервал*** длительностью T_g .

Его длительность не превышает $\frac{1}{4}$ полезной длительности символа T_u

Назначение – борьба с помехами, вызванными эхо-сигналами.

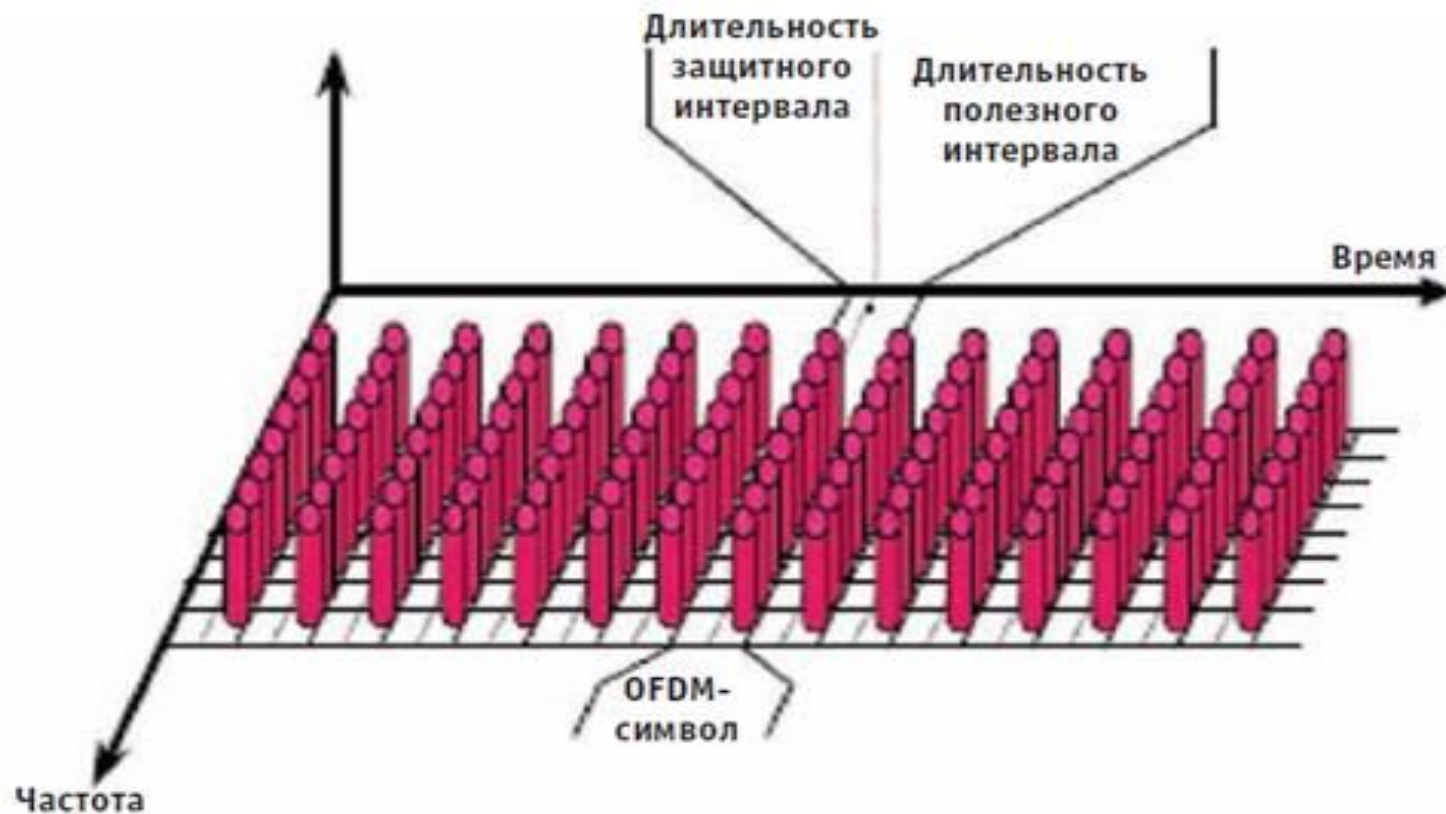
Модуляция поднесущих частот в системе DAB

Поскольку эхо-сигналы представляют собой задержанные во времени копии основного сигнала, начало данного символа OFDM подвергается «загрязнению» задержанным окончанием предыдущего (взаимные помехи между символами).



Модуляция поднесущих частот в системе DAB

Для устранения этого эффекта между двумя соседними символами OFDM вводится защитный интервал



Модуляция поднесущих частот в системе DAB

Его длительность должна удовлетворять условию

$$T_g \geq (d/c),$$

d – расстояние между передатчиками,

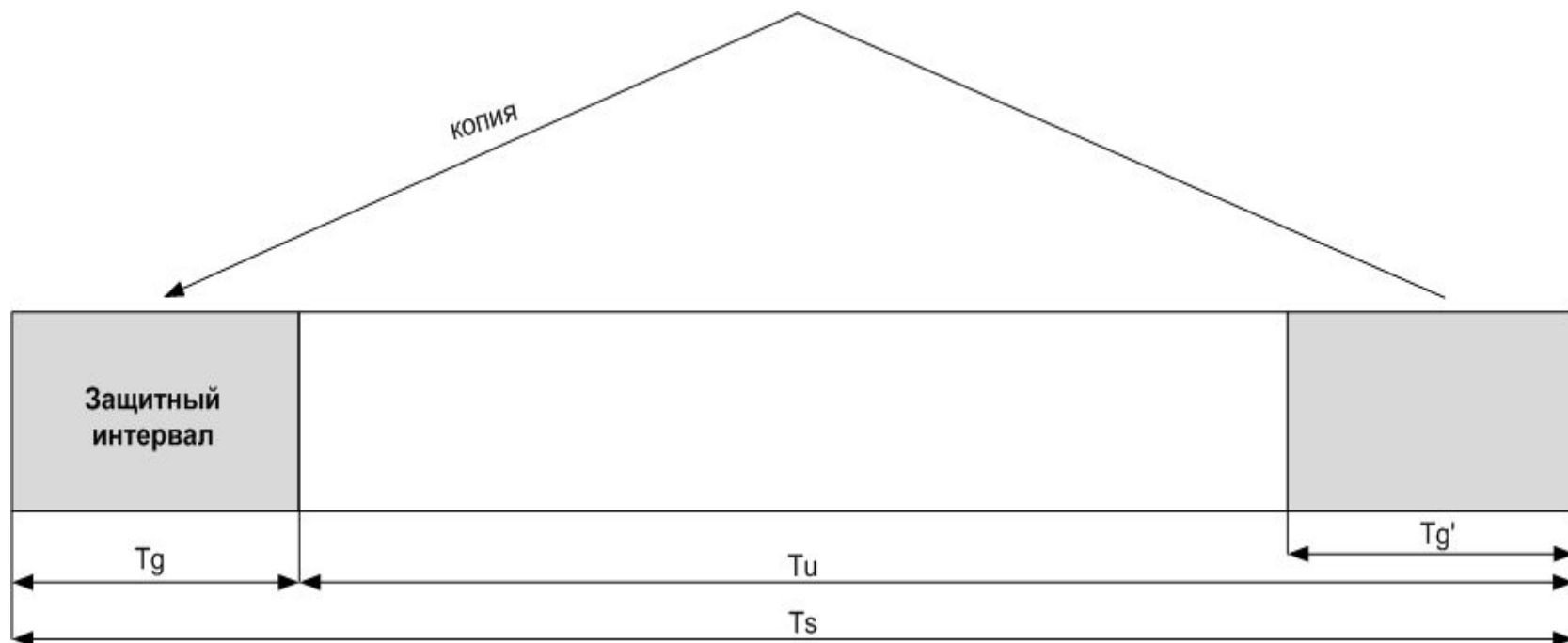
c – скорость распространения волны.

Если это условие выполнено, то приемники не испытывают помех от наложения сигналов, поступающих от соседних передатчиков одночастотной сети.



Модуляция поднесущих частот в системе DAB

Благодаря введению защитного интервала декодер игнорирует часть отраженных сигналов



Модуляция поднесущих частот в системе DAB

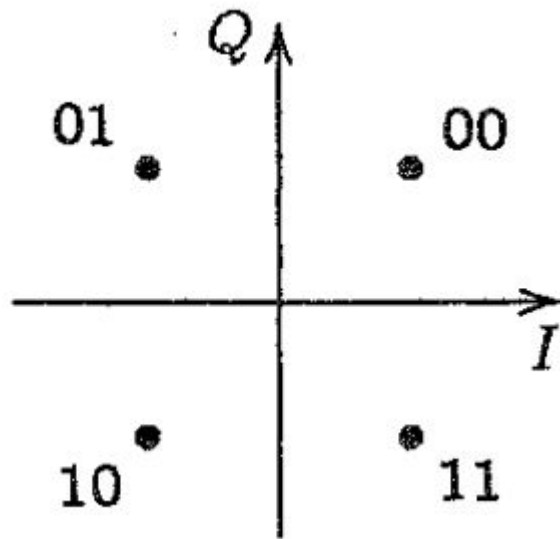
В системе DAB каждая из поднесущих частот ***модулируется по фазе***, образуя DQPSK-сигнал

После суммирования всего множества этих модулированных по фазе поднесущих частот получаем ***OFDM-символ***.



Модуляция поднесущих частот в системе DAB

Число бит, переданных одним OFDM символом, равно $2n$, так как каждый символ модуляции содержит здесь 2 бита.

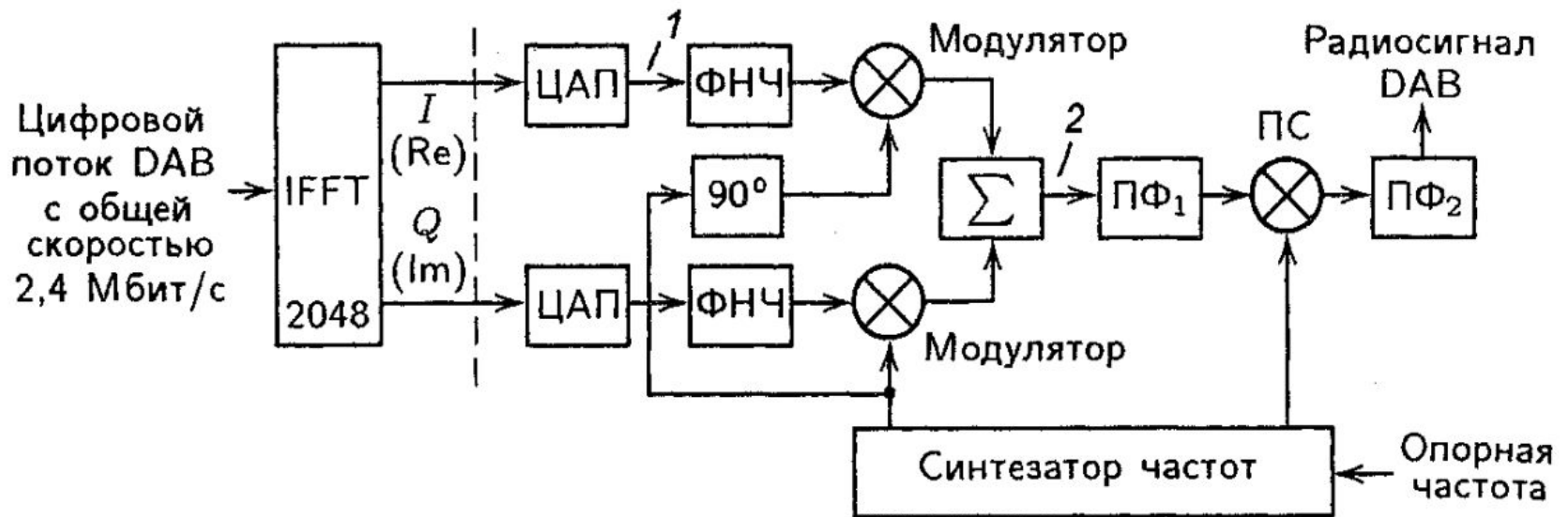


Сигнальное созвездие ФМ-4 (QPSK)

Каждая точка отображает гармонический сигнал с определенной фазой

Модуляция поднесущих частот в системе DAB

Структурная схема OFDM модулятора



Параметры передачи

Параметр	Значение параметра
Число передаваемых поднесущих	1536
Длительность символа OFDM, T_s	1,246 мс
Длительность полезной части символа OFDM, T_u	1 мс
Длительность защитного интервала, T_g	246 мкс
Частотный интервал между соседними поднесущими, Δf	1 кГц
Длительность кадра передачи, T_F	96 мс



Спектр радиосигнала

