



Лекция 6. GSM стандарт

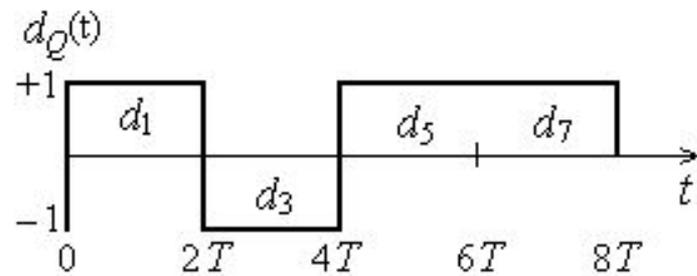
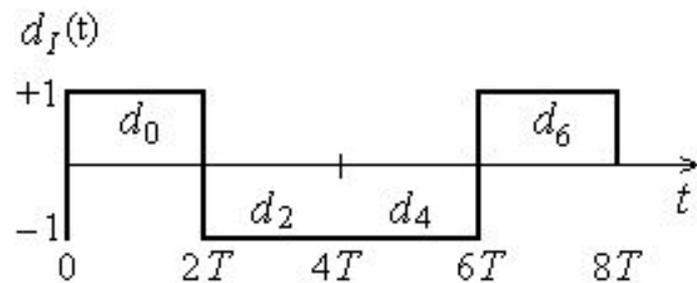
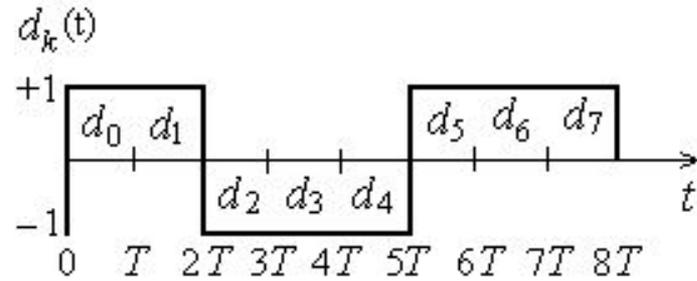


Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM – М: Эко-Трендз, 2005. 296 с.



Применение некоторых модуляций в системах связи

1. Передача сигналов с модуляцией QPSK



Потоки данных
(QPSK модуляция)

Исходный поток импульсов, состоящий из (± 1) , разделяется на два квадратурных потока.
 T - длительность импульса.
 $2T$ - длительность импульса в квадратурах.

QPSK сигнал

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} d_I(t) \cos\left(2\pi f_0 t + \frac{\pi}{4}\right) + \frac{1}{\sqrt{2}} d_Q(t) \sin\left(2\pi f_0 t + \frac{\pi}{4}\right)$$

$$s(t) = a(t) \cos(2\pi f_0 t + \theta(t))$$

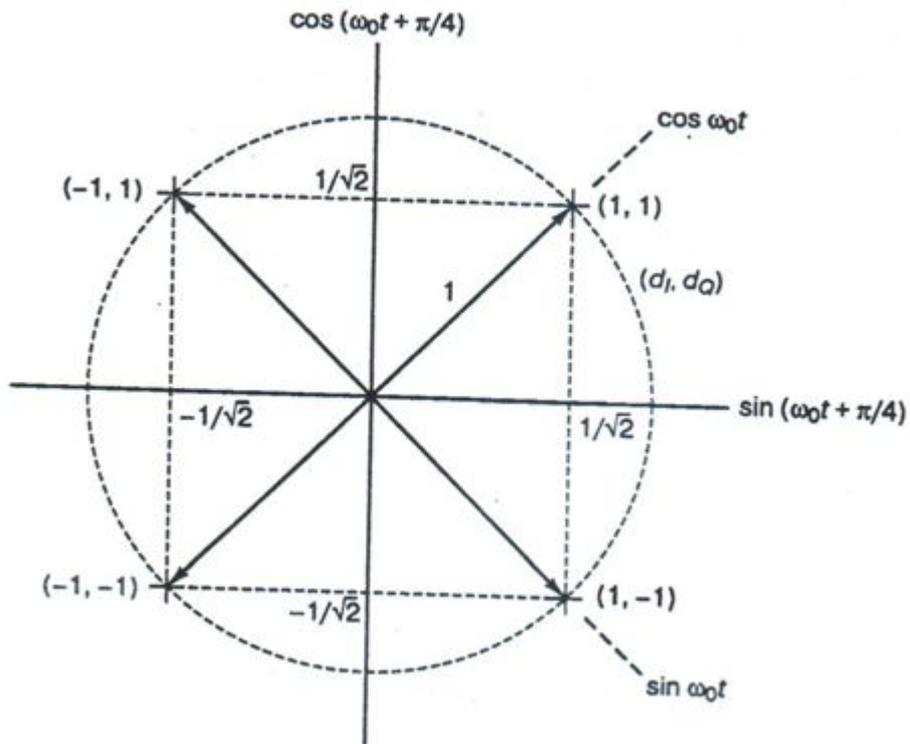
$$a(t) = \sqrt{0.5[d_I^2(t) + d_Q^2(t)]}, \quad \text{tg}\theta(t) = d_Q(t)/d_I(t)$$

За промежуток $2T$ фаза несущей может измениться один раз.

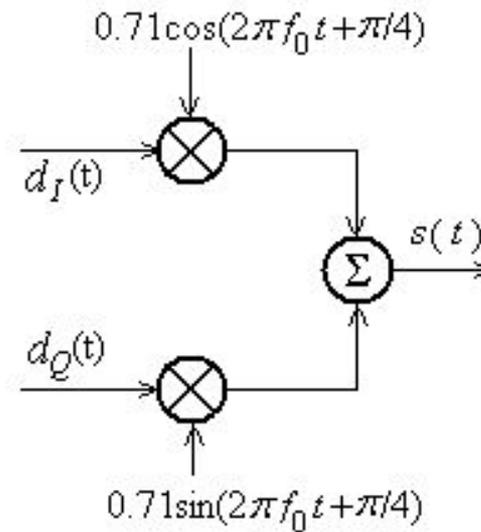
Импульсы не меняют знака - фаза не изменяется.

Один импульс меняет знак - фаза изменяется на $\pm 90^\circ$.

Оба импульса меняют знак - фаза изменяется на 180° .

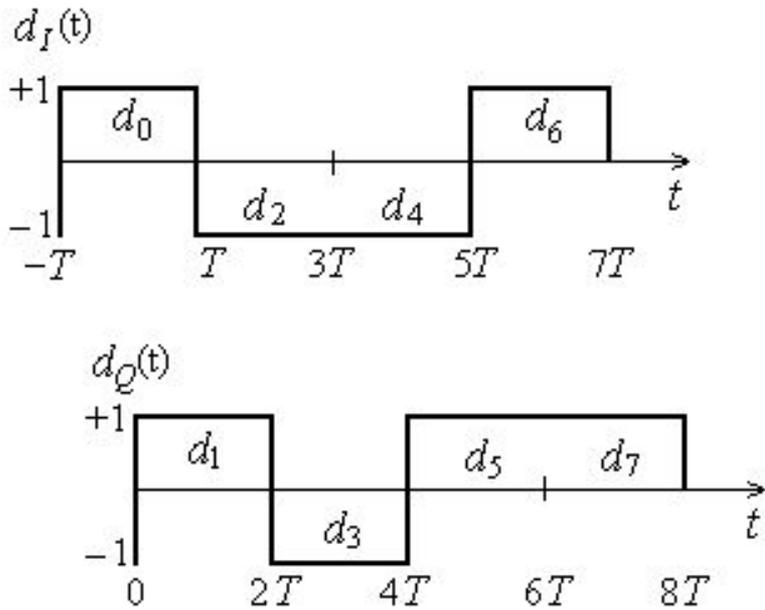


Сигнальное пространство
для схем QPSK и OQPSK



QPSK модулятор

2. Передача сигналов с модуляцией OQPSK (Offset QPSK)

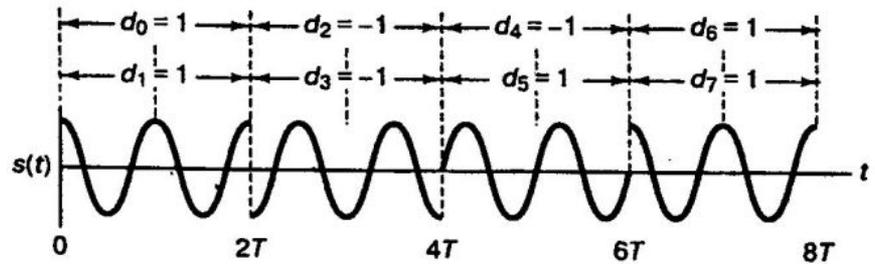


Потоки данных (OQPSK модуляция)

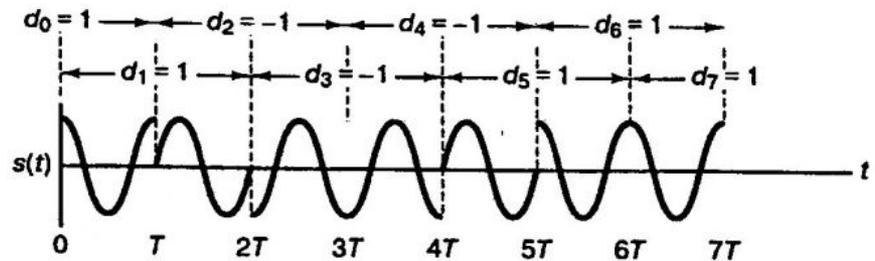
QPSK и OQPSK сигналы

В QPSK потоки импульсов $d_I(t)$ и $d_Q(t)$ синхронизированы так, что их переходы совпадают по времени.

В OQPSK эти потоки синхронизированы со сдвигом на T . Поэтому фаза несущей не может измениться на 180° . За каждые T секунд фаза может измениться только на 0° или $\pm 90^\circ$.

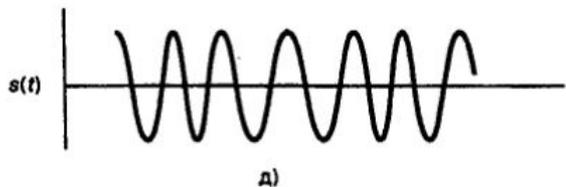
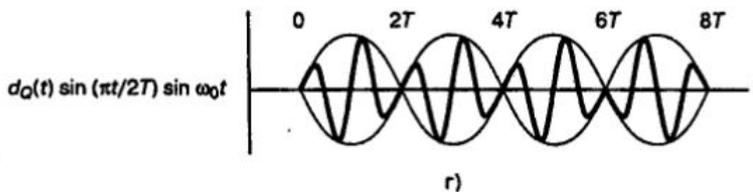
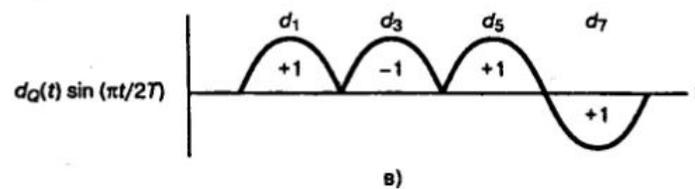
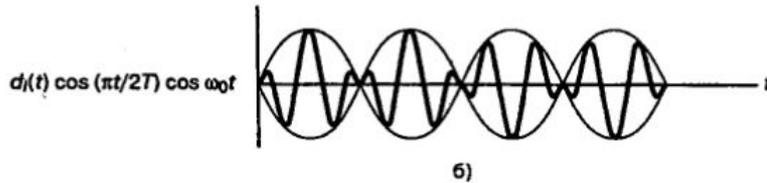
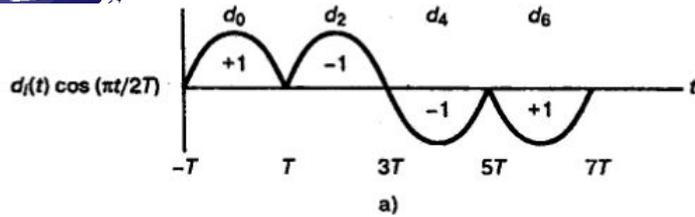


а) QPSK



б) OQPSK

3. Манипуляция с минимальным частотным сдвигом (ММС)



ММС - разновидность OQPSK с синусоидальным взвешиванием символов.

— Это модуляция по частоте с памятью.

$$s(t) = d_I(t) \cos\left(\frac{\pi t}{2T}\right) \cos(2\pi f_0 t) - d_Q(t) \sin\left(\frac{\pi t}{2T}\right) \sin(2\pi f_0 t)$$

$$d_I = \pm 1, d_Q = \pm 1, \quad s(t) = \pm \cos\left(2\pi f_0 t + \frac{\pi t}{2T}\right)$$

$$d_I = \pm 1, d_Q = \mp 1, \quad s(t) = \pm \cos\left(2\pi f_0 t - \frac{\pi t}{2T}\right)$$

1. Сигнал $s(t)$ имеет постоянную составляющую
2. Фаза несущей непрерывна при изменении значений $d_I(t)$ и $d_Q(t)$
3. Сигнал $s(t)$ - частотно манипулированный сигнал с частотами передачи

$$f_1 = f_0 + \frac{1}{4T} \quad f_2 = f_0 - \frac{1}{4T}$$

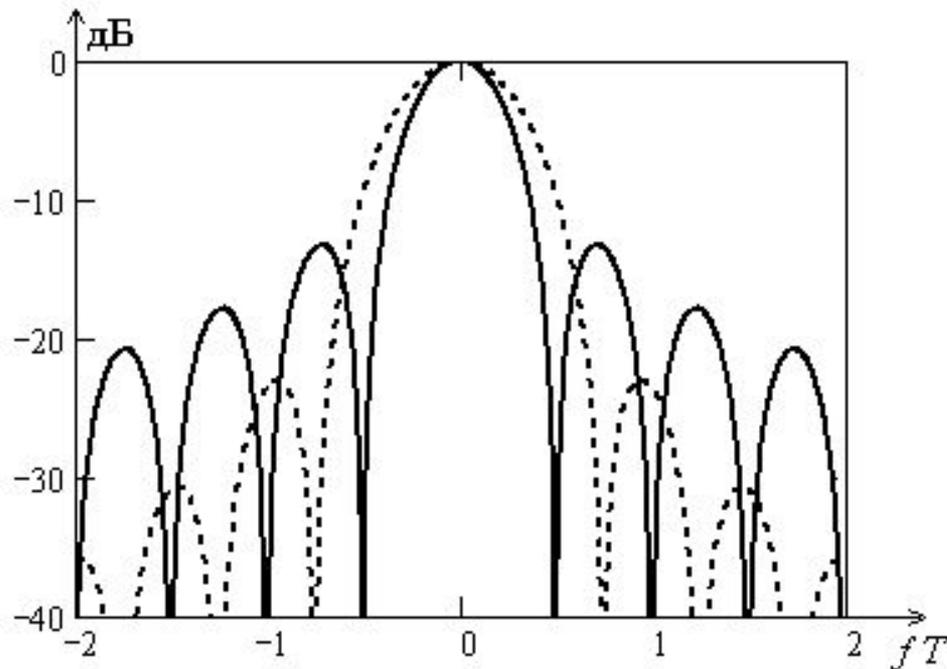
4. Разнесение между частотами - $1/2T$

Нормированная спектральная плотность мощности ММС сигнала

$$\Phi_{vv}(f) = \left(\frac{\cos 2\pi fT}{1 - 16f^2T^2} \right)^2$$

Нормированная спектральная плотность мощности QPSK и OQPSK сигналов

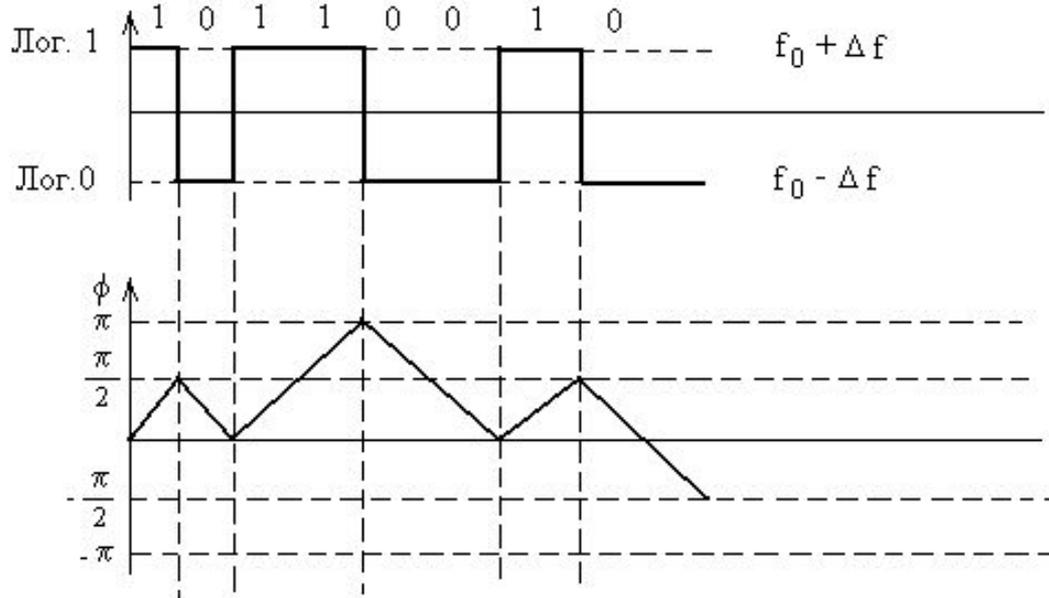
$$\Phi_{vv}(f) = \frac{\sin^2(2\pi fT)}{(2\pi fT)^2}$$



Спектральная плотность мощности QPSK или OQPSK сигнала и ММС сигнала (пунктир)

Боковые максимумы для ММС сигнала значительно ниже, чем для QPSK или OQPSK сигналов

4. Гауссова частотная манипуляция с минимальным частотным сдвигом (GMSK - Gaussian Minimum Shift Keying) -



На интервале одного символа фаза несущей частоты изменяется на 90 град. и непрерывна при переходе от одного символа к другому

Амплитуда изменяется только при передаче 1.
Это - дифференциальное кодирование.

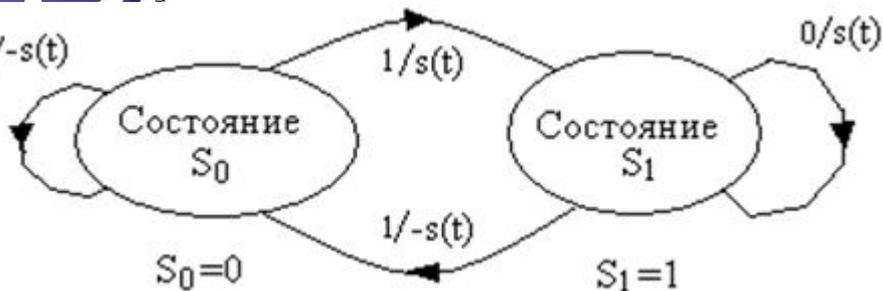
$b_k = a_k \oplus b_{k-1}$

$\{a_k\}$ – входная двоичная информационная последовательность кодера,
 $\{b_k\}$ – выходная последовательность кодера, \oplus - суммирование по модулю 2.
 $b_k=1$, передаваемый сигнал – положительный прямоугольный импульс,
 $b_k=0$, передаваемый сигнал – это отрицательный прямоугольный импульс.

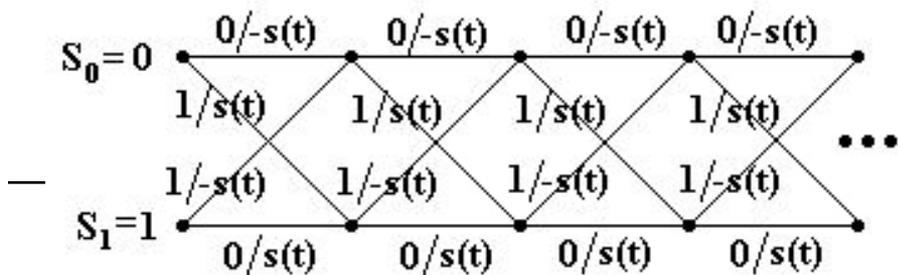
Операция дифференциального кодирования вводит память в сигнал.

Диаграмма состояний кодера и модулятора

НИЖЕГ
ПОС



Решетчатая диаграмма кодера и модулятора

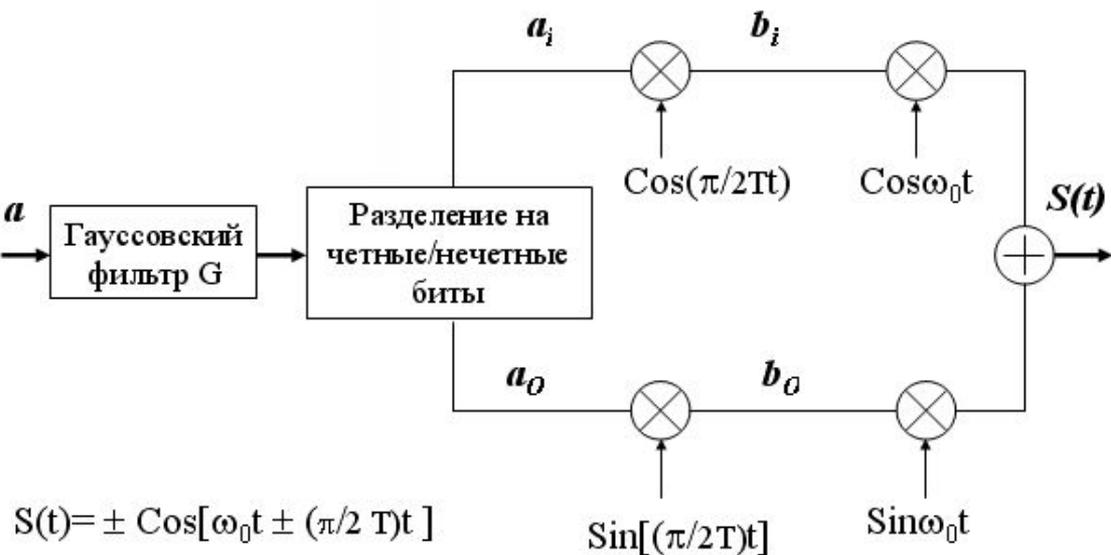


$$b_k = a_k \oplus b_{k-1}$$

ИХ гауссова фильтра нижних частот

$$h(t) = \exp\left(-\frac{2\pi^2 (BT)^2 t^2}{\ln(2)T^2}\right)$$

BT - безразмерная величина,
 B - полоса фильтра Гаусса по уровню -3 дБ,
 T - длительность импульса
 BT=0.3 (GSM стандарт)



$$S(t) = \pm \text{Cos}[\omega_0 t \pm (\pi/2 T)t]$$

GMSK модулятор



История сотовой связи до GSM

Год	Этап
1979	В Европе определены полосы частот для сотовой связи
1982	Основана “Group Special Mobile” в рамках СЕРТ (Conference of European Postal and Telecommunication Administrations)
1986	Определена долгосрочная программа GSM
1988	Организован комитет GSM в рамках ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Завершен первый тендер.
1990	Определены Рекомендации Фазы 1 GSM.
1991	Фаза 1 GSM Рекомендации DCS1800 определена как новое поколение радиосвязи



История сотовой связи до GSM (продолжение)

Год	Этап
1992	Комитет GSM переименован и получил новое название: “Global System for Mobile Communication”. Определена фаза 2 рекомендации DCS1800
1992	Начата коммерческая эксплуатация GSM
1993	Определены основные технические требования фазы 2. В сентябре, в Великобритании, введена в эксплуатацию первая сеть GSM

Число пользователей мобильной связи (в млн.)

(по Феер Л. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра. Пер. с англ. М.: Радио и связь, 2000. 520 с.)

140 (1996 г.)	205 (1997 г.)
290 (1998 г.)	380 (1999 г.)
500 (2000 г.)	680 (2001 г.)



Общее описание сетей GSM

▣ **Области использования**

- Передача речевых сигналов и данных
- Передача вызывных и аварийных сигналов
- Подключение к сетям общего пользования, сетям передачи данных и цифровым сетям с интеграцией служб

▣ **Высокая степень совместимости**

- Перемещение в зонах обслуживания без прерывания соединения: автоматический «бесшовный» роуминг
- Широкое распространение сетей GSM во всем мире. Простота интеграции новых операторов GSM
- Высокая степень стандартизации оборудования разных производителей
- Использование протокола X.25 для передачи трафиковой и служебной информации в сети



Общее описание сетей GSM

□ **Высокая степень гибкости системы**

- Постоянный контроль излучаемой мощности в радиоканале
- Разветвленная структура управления и мониторинга
- Гибкая структура баз данных абонентов

□ **Безопасность при передачи сообщений**

- Шифрование сообщений

□ **Защита от ошибок в радиоканале, вызванных действием шумовых помех, помех по соседним каналам и замираний**

- Блочное и сверточное кодирование с перемежением
- Медленные переключения рабочих частот в процессе сеанса связи со скоростью 217 скачков в секунду
- Использование эквалайзинга в аппаратуре связи и алгоритмов разнесенного приема

Основные характеристики сетей GSM

• Частоты передачи подвижной станции и приема базовой станции(GSM 900/1800/1900), МГц	890-915/ 1710-1785/ 1850-1910
• Частоты приема подвижной станции и передачи базовой станции, МГц	935-960/ 1805-1880 1930-1990
• Выделенная полоса частот, МГц	2×25 / 2 ×75 / 2 ×60
• Дуплексный разнос частот приема и передачи, МГц	45 / 95 / 80
• Ширина полосы канала связи, МГц	0.2
• Скорость преобразования речевого кодека, кбит/с	13
• Скорость передачи сообщений в радиоканале, кбит/с	9.6
• Максимальное количество каналов связи	124/ 374
• Вид модуляции	GMSK
• Количество скачков по частоте в секунду (SFH)	217
• Максимальный радиус соты, км	35
• Схема множественного доступа	FDMA, TDMA
• Длительность символа, мксек	3,69



Частотный диапазон GSM-900 / GSM-1800

$$F_{\text{uplink}}(n) = 890.2 + 0.2(n-1)$$

$$F_{\text{downlink}}(n) = F_{\text{uplink}}(n) + 45$$

$$n=1,2,\dots,124$$

$$F_{\text{uplink}}(n) = 1710.2 + 0.2(n-1)$$

$$F_{\text{downlink}}(n) = F_{\text{uplink}}(n) + 95$$

$$n=1,2,\dots,374$$

- Частоты передачи подвижной станции и приема базовой станции, МГц (uplink)
- Частоты приема подвижной станции и передачи базовой станции, МГц (downlink)

GSM uplink

GSM downlink

GSM uplink

GSM downlink

915

935

960

1710

1785

1805

1880

Классы мобильных станций

Класс модели MS	Максимальная выходная мощность		Допустимое отклонение мощности, дБ
	Вт	дБм	
1	20	43	1,5
2	8	39	1,5
3	5	37	1,5
4	2	33	1,5
5	0,8	29	1,5

Модель 1-го класса устанавливается на транспортных средствах

Основные службы GSM

GSM		
Телеслужбы	Службы передачи	Дополнительные службы
<ul style="list-style-type: none"> • Передача речи • Экстренный вызов (Emergency call) • Факс • Служба коротких сообщений (SMS) 	<ul style="list-style-type: none"> • Асинхронная передача данных со скоростью 300-9600 bps. • Синхронная передача данных со скоростью 1200-9600 bps • Попеременная передача Факс/Данные со скоростью 300-9600 bps 	<ul style="list-style-type: none"> • Переадресация вызова • Запрет вызова • Функция АОН, антиАОН • Конференц-связь • Связь для ограниченной группы пользователей • Предоставление информации о счете



Функциональное построение сети GSM

MS – Mobile station

- ME – Mobile Equipment
(Оборудование мобильной станции)
- SIM-card – Subscriber Identity Module
(Карта идентификации абонента)

BSS – Base Station Subsystem

- BTS – Base Transceiver Station
(Базовая станция приемапередачи)
- BSC – Base Station Controller
(Контроллер базовых станций)
- TC – Transcoder (Транскодер)

NSS – Network switching subsystem

(подсистема сетевой коммутации)

- MSC – Mobile Service Switching Center
(Центр коммутации мобильной связи)
- HLR – Home Location Register
(Домашний регистр местоположения)
- VLR – Visitor Location Register
(Временный регистр местоположения)
- EIR – Equipment Identity Register
(Регистр идентификации оборудования)
- AUC – Authentication Center
(Центр аутентификации)

OSS – Operation Supporting Subsystem

(подсистема управления и обслуживания)

- NMC – Network Maintenance Center
(Сетевой центр управления)
- OMC – Operation and Maintenance Center
(Центр управления и обслуживания)

Структура радиointерфейса

Из всех интерфейсов, используемых в сотовой сети GSM, особое место занимает интерфейс обмена между мобильной и базовой станциями, называемый Air-Interface (Air-IF) или радиointерфейс.

Передача информации в канале трафика организуется следующими друг за другом кадрами (фреймами), длительностью 4.615 мс.

Каждый кадр состоит из 8 временных интервалов – слотов, длительностью 577 мкс.

При полноскоростном кодировании все последовательные кадры содержат информацию одних и тех же 8 каналов речи.

При полускоростном кодировании четные и нечетные кадры содержат информацию разных речевых каналов, то есть информация одного и того же речевого канала передается через кадр и в общей сложности передается информация 16 речевых каналов.

При полноскоростном кодировании информационный кадр может быть одним из двух видов:

- кадр канала трафика (8 слотов, длительностью 4.615 мс),
- кадр канала управления (8 слотов, длительностью 4.615 мс).

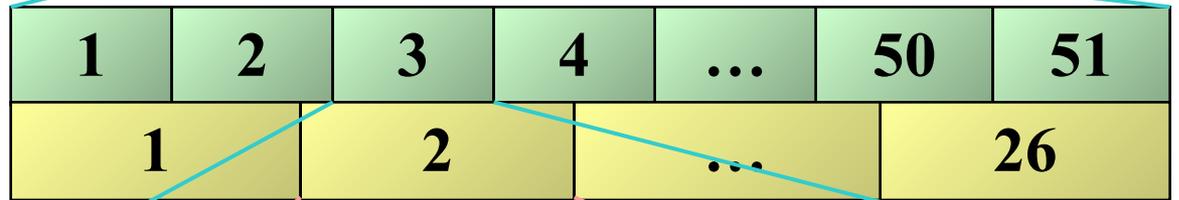
Таким образом, информационный кадр имеет одну и ту же длительность и состоит из 8 слотов. Однако слоты в кадре канала трафика и канала управления имеют различную структуру и различное информационное содержание.

Структура радиоинтерфейса

**Гиперкадр,
3ч 28мин 53.760с**



Суперкадр, 6.12 с



**Мультикадр канала
трафика, 120 мс**



**Мультикадр канала
управления, 235 мс**



**Кадр канала трафика
(управления), 4.615 мс**



Слот, 577 мкс

1. Слот канала трафика:

TB – хвостовые биты ($2 \cdot 3 = 6$ бит);

ED (Encrypted Data) – закодированные информационные биты ($2 \cdot 57 = 114$ бит);

S (Stealing flag) – скрытые флажки, определяющие тип передаваемой информации (2 бита);

TS (Training Sequence) – обучающая последовательность (26 бит)

G (Guard period) – защитный интервал (длительностью 8.25 бит)

Информационные пакеты длиной 148 бит образуют слот канала трафика длительностью 156.25 бит.

Длительность одного бита равна ($577 \text{ мкс} / 156.25$) = 3.69 мкс.

Слот, 577 мкс



Структура слота каналов управления имеет 4 варианта:

1. Слот пакета коррекции частоты:

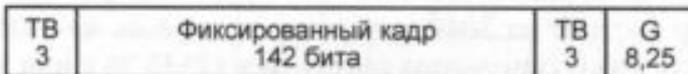
TB (Tail Bits) – хвостовые биты ($2 \cdot 3 = 6$ бит);

Фиксированный набор из 142 бит;

G (Guard period) – защитный интервал (длительностью 8.25 бит)

Длительность пакета составляет 156.25 бит или 577 мкс.

Пакет
коррекции
частоты



2. Слот пакета синхронизации:

TB (Tail Bits) – хвостовые биты (6 бит);

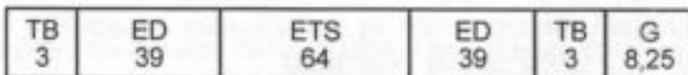
ED (Encrypted Data) – закодированные информационные биты ($2 \cdot 39 = 78$ бит);

ETS (Extended Training Sequence) – расширенная обучающая последовательность (64 бит)

G (Guard period) – защитный интервал (длительностью 8.25 бит)

Длительность пакета составляет 156.25 бит или 577 мкс.

Пакет
синхронизации



Структура слова каналов управления имеет 4 варианта:

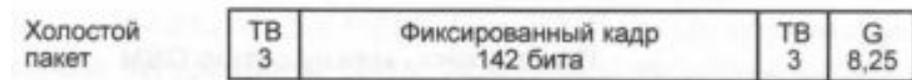
3. Слот холостого (dummy) пакета:

TB (Tail Bits) – хвостовые биты ($2 \cdot 3 = 6$ бит);

Битовой смеси (шум) длиной 142 бит;

G (Guard period) – защитный интервал (длительностью 8.25 бит)

Длительность пакета составляет 156.25 бит или 577 мкс.



4. Слот пакета доступа:

ET (Extended Tail) – расширенный хвост (8 бит);

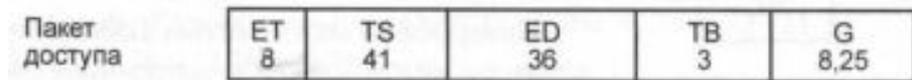
TS (Training Sequence) – расширенная обучающая последовательность (41 бит)

ED (Encrypted Data) – закодированные информационные биты (36 бит);

TB (Tail Bits) – хвостовые биты (3 бит);

G (Guard period) – защитный интервал (длительностью 68.25 бит)

Длительность пакета составляет 156.25 бит или 577 мкс.



Протоколы в сотовой сети мобильной связи GSM

Используется модель взаимодействия открытых систем – OSI (Open System Interconnection)

Модель взаимодействия открытых систем

Уровень	Абонентская система А	Абонентская система В
	Прикладные процессы	Прикладные процессы
7	Прикладной	Прикладной
6	Представительский	Представительский
5	Сеансовый	Сеансовый
4	Транспортный	Транспортный
3	Сетевой уровень	
2	Канальный уровень	
1	Физический уровень	
	Физическая среда соединения	

Нижний (первый) уровень модели – физический уровень. Он опирается на физические средства соединения между пользователями.

В системе GSM в качестве физического уровня выступает:

- радиоэфир (радиотракт) – между мобильной и базовой станциями
- волоконно-оптический тракт – между базовой станцией и центром коммутации.

Перечень услуг на каждом последующей уровне расширяется. Верхний (седьмой) уровень модели OSI – прикладной. Он предоставляет пользователю весь перечень услуг, обеспечиваемый всеми семью уровнями.

Протоколы в сотовой сети мобильной связи GSM

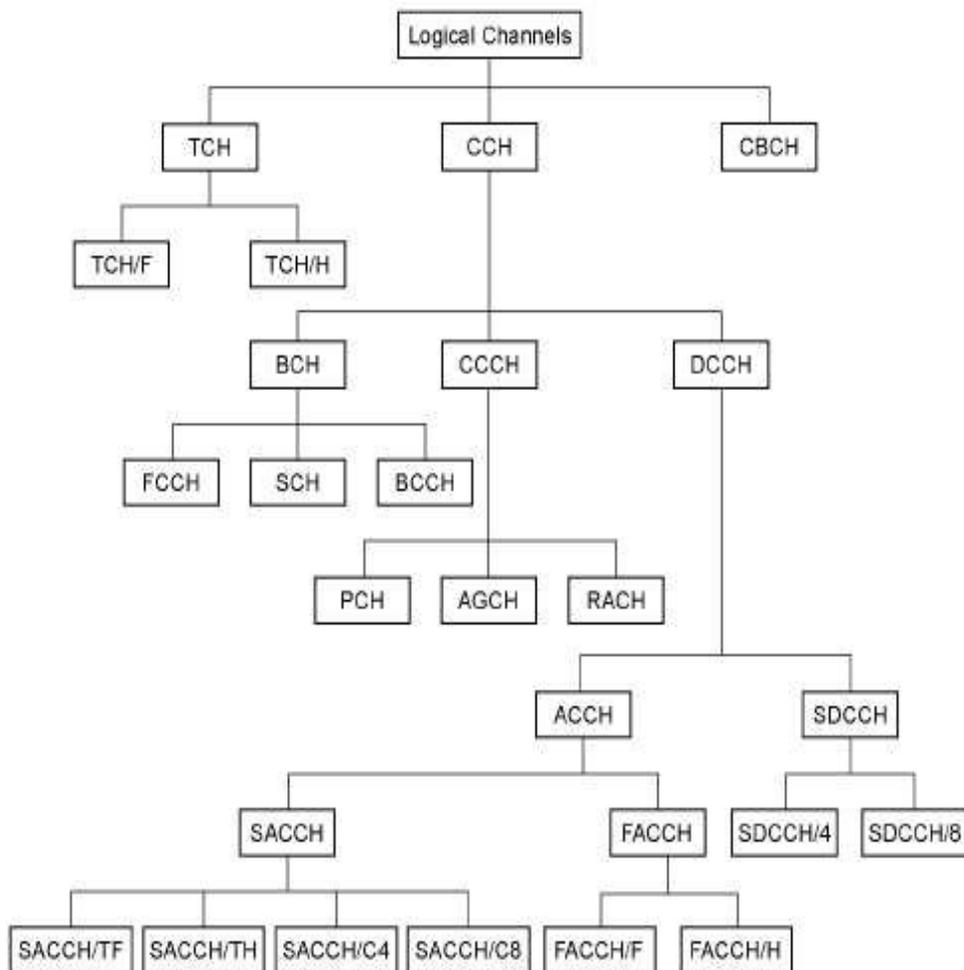
В цифровых системах передачи данных, к которым относится и сеть GSM, для передачи информации используется сетевая платформа, образуемая тремя нижними уровнями.

Трехуровневая структура радиointерфейса в сети GSM

Сетевой уровень	Управление вызовом (CM)
	Мобильное управление (MM)
	Управление радиоресурсами (RR)
Канальный уровень	Протокол доступа к каналу (мобильная версия — <i>LAPD_m</i>)
Физический уровень	Выбор скорости передачи бит
	Модуляция
	Мультиплексирование
	Канальное кодирование
	Построение кадра
	Организация физических и логических каналов
	Шифрование
	Перемежение
	Контроль за уровнем напряжения сигналов
Радиотракт	

Физический уровень отвечает за все физические атрибуты радиointерфейса: контроль за уровнем напряжения сигналов; перемежение (чередование блоков данных); оцифровка; организация физических и логических каналов; канальное кодирование; мультиплексирование данных; модуляция; синхронизация; организация дуплексной передачи данных; выбор скорости передачи данных и т.д.

Карта логических каналов



CCH - Control channels

BCH - broadcast channels

FCCH – frequency correction channel

SCH – synchronization channel

BCCH – broadcast control channel

CCCH – common control channels

PCH – paging control channels

AGCH – access grant channels

RACH – random access control channels

DCCH – dedicated control channels

SDCCH – stand-alone dedicated control channel

ACCH – associated dedicated control channel

SACCH – Slow associated dedicated control channel

FACCH – Fast associated dedicated control channel

TCH - Traffic Channel

TCH/F – Traffic Channel / Full rate

TCH/H – Traffic Channel / Half rate



Широковещательный канал управления (BCCH)

BCCH – Broadcast Control Channel:

- MS при включенном питании периодически отслеживает информацию BCCH
- используется для:
 - ✓ Идентификатор зоны расположения
 - ✓ Идентификатор соты
 - ✓ Список соседних сот
 - ✓ Список используемых в соте частот
 - ✓ Управление мощностью и коррекция частоты
 - ✓ Синхронизации

Организация физических каналов

- Для передачи каналов трафика (ТСН) и совмещенных каналов управления (АССН) используется 26-кадровый мультикадр.
- В полноскоростном канале связи в каждом 13-м кадре мультикадра передается пакет информации канала SACSН (медленный совмещенный канал управления). При этом каждый 26-й кадр мультикадра остается свободным.
- В полускоростном канале связи пакет информации канала SACSН передается в каждом 13-м и 26-м TDMA кадрах мультикадра.

Номера временного кадра

	0	1	2	3	4	5	6	7
0				T				
1				T				
2				T				
3				T				
4				T				
5				T				
6				T				
7				T				
8				T				
9				T				
10				T				
11				T				
12				A				
13				T				
14				T				
15				T				
16				T				
17				T				
18				T				
19				T				
20				T				
21				T				
22				T				
23				T				
24				T				
25				I				

Структура 26-кадрового мультикадра для передачи канала трафика, где
T - ТСН/F, A – SACSН, I - Idle (свободно) 27



Лекции 9-10. CDMA стандарт

Система связи является системой с расширенным спектром если:

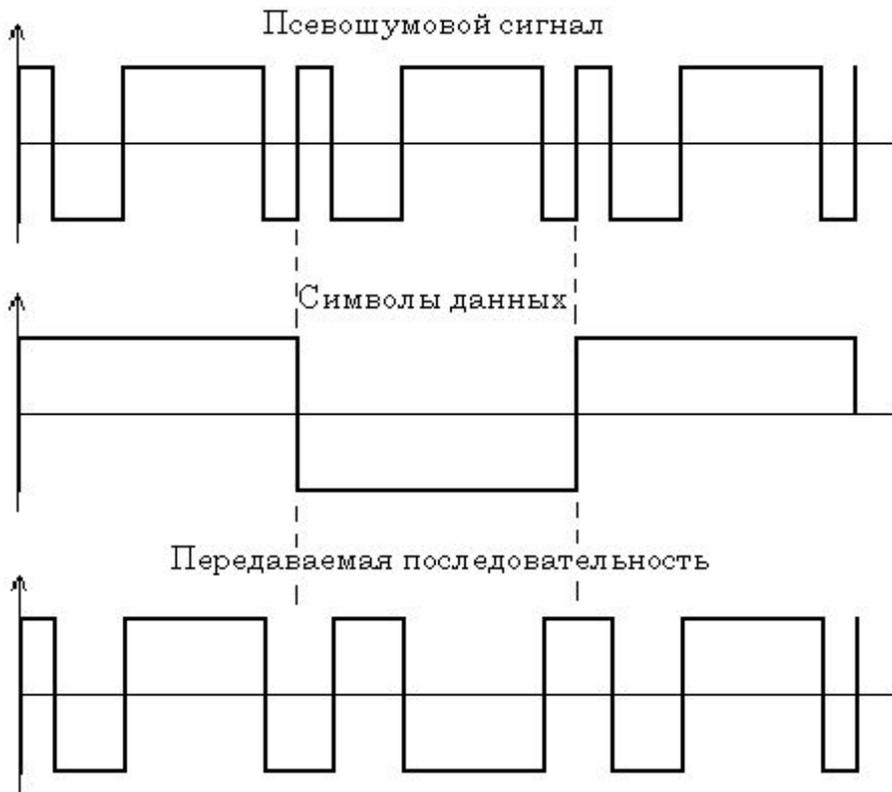
- используемая полоса значительно шире минимальной, необходимой для передачи импульсов;
- расширение спектра производится с помощью расширяющего (кодированного сигнала), который не зависит от передаваемой информации;
- восстановление исходных данных приемником («сужение спектра») осуществляется путем сопоставления полученного сигнала и синхронизированной копии расширяющего сигнала.

Основные преимущества систем связи с расширенным спектром:

- подавление помех;
- снижение плотности энергии;
- высокая разрешающая способность по времени;
- множественный доступ для управления совместным использованием ресурса связи большим числом пользователей.

1. Методы расширения спектра

- а) метод прямого расширения спектра (модуляция псевдослучайной последовательностью);
- б) метод скачкообразной перестройки частоты.



Состоит из +1 и -1

Чип (Chip)

**Фактор расширения спектра –
отношение чиповой скорости
к символьной скорости**

2. Ортогональные кодовые псевдослучайные последовательности (КПШП) Уолша

- Разделение пользователей осуществляется за счет модуляции символов кодовыми псевдослучайными последовательностями (КПШП) Уолша.
- Каждому пользователю назначается своя КПШП.
- Последовательности Уолша ортогональны и формируются с помощью матриц Адамара.

Итерационная процедура формирования матрицы Адамара размерности $2N \times 2N$ на основе матрицы Адамара размерности $N \times N$

$$\mathbf{A}_{2N} = \begin{pmatrix} \mathbf{A}_N & \mathbf{A}_N \\ \mathbf{A}_N & -\mathbf{A}_N \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{A}_8 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \end{pmatrix}$$

Матрица Адамара размерности 2×2

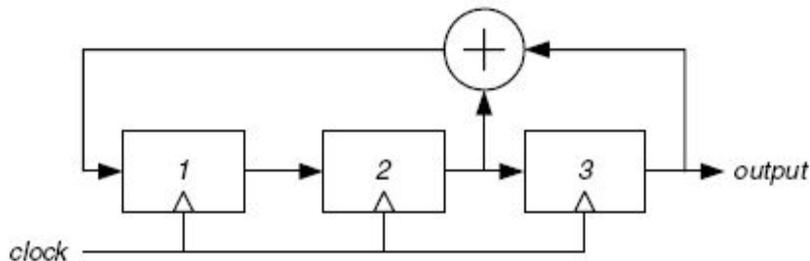
$$\mathbf{A}_2 = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$$

Столбцы или строки матрицы взаимно ортогональны и используются в качестве элементов КПШП Уолша

3. Квазиортогональные коды

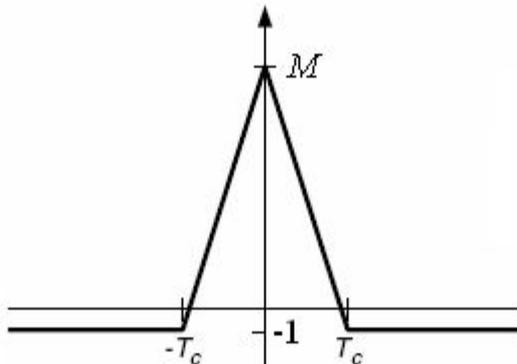
Псевдо-шумовая последовательность (M-последовательность) обеспечивает:

- равномерное расширение спектра сигнала в полосе;
- разделение (одновременное обслуживание многих пользователей).



Формируются с помощью
сдвигового регистра

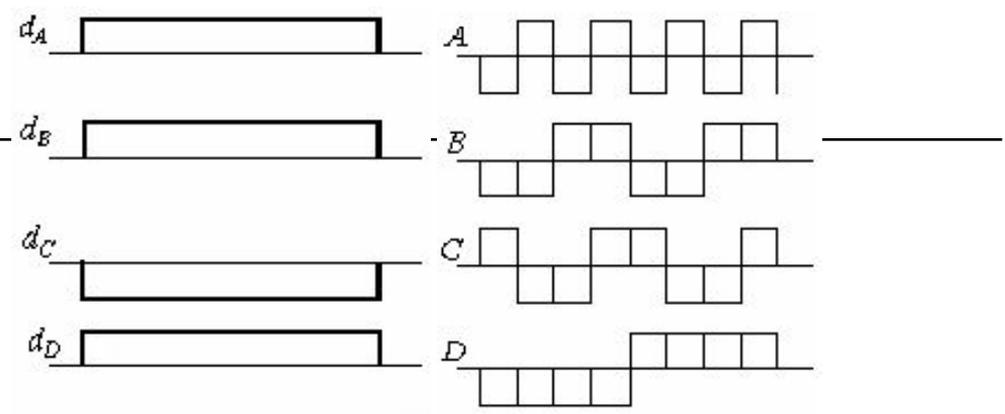
Если имеется M -регистров, то длина последовательности равна $2^M - 1$



Автокорреляционная функция

Пример разделения 4-х пользователей

$$\mathbf{W}_A = \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix}; \quad \mathbf{W}_B = \begin{pmatrix} -1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}; \quad \mathbf{W}_C = \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \end{pmatrix}; \quad \mathbf{W}_D = \begin{pmatrix} -1 \\ -1 \\ -1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

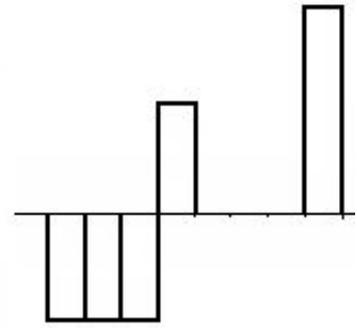


КПШП Уолша для пользователей А, В, С и D

Передаваемые импульсы $d_A=1, d_B=1, d_C=-1, d_D=1$

Модулированные импульсы

$$s_C = \mathbf{W}_C^T \mathbf{S} = \mathbf{W}_C^T (\mathbf{W}_A d_A + \mathbf{W}_B d_B + \mathbf{W}_C d_C + \mathbf{W}_D d_D) = d_C$$

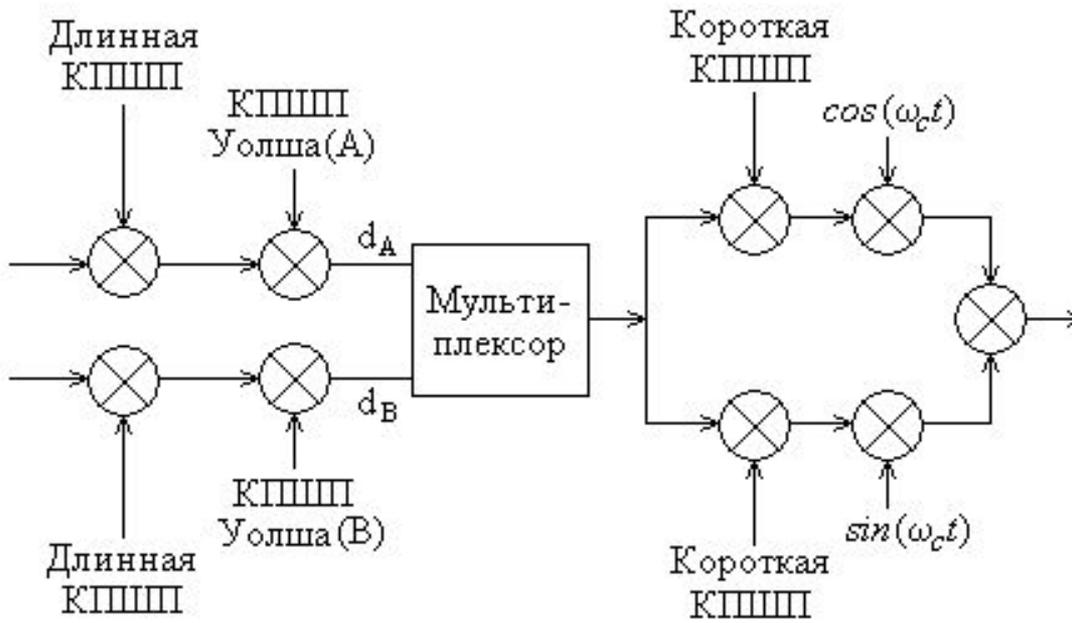


Любой пользователь (например, С) демодулирует принятый сигнал и выделяет «свой» символ d_C . «Чужие» символы –зануляются

Суммарный модулированный импульс

$$\mathbf{S} = \mathbf{W}_A d_A + \mathbf{W}_B d_B + \mathbf{W}_C d_C + \mathbf{W}_D d_D$$

4. Схема передачи на базовой станции (downlink) стандарта IS-95

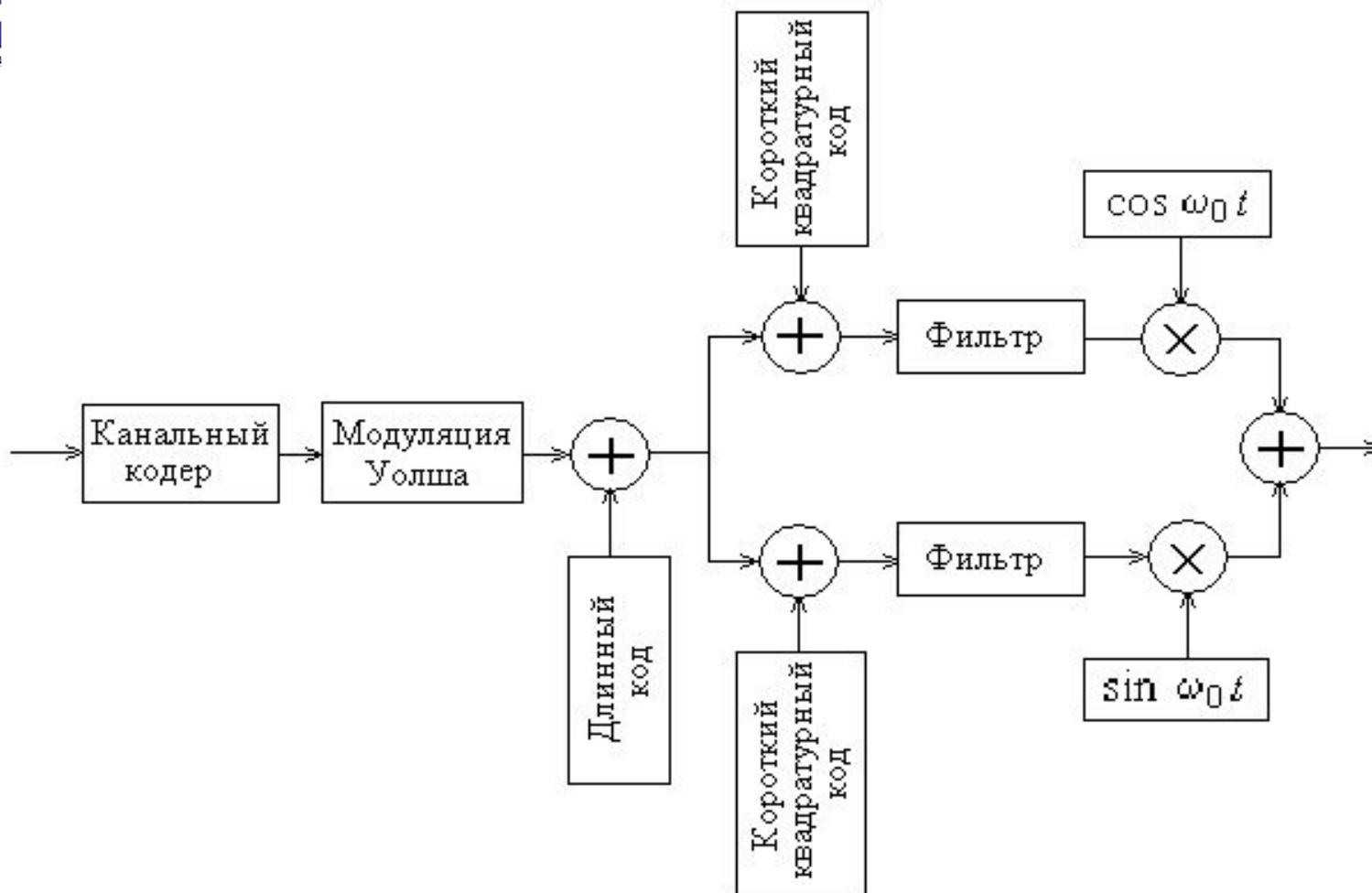


Длинный код – 42-разрядный регистр (длительность 41 день)

Короткий код – 15-разрядный регистр (длительность 27 мсек)

Код Уолша – 64 чипа (равен длительности символа)

5. Схема передачи (uplink) стандарта IS-95



Длинный код – 42-разрядный регистр (длительность 41 день)

Короткий код – 15-разрядный регистр (длительность 27 мсек)

Код Уолша – 64 чипа (равен длительности символа)

6. RAKE приемник

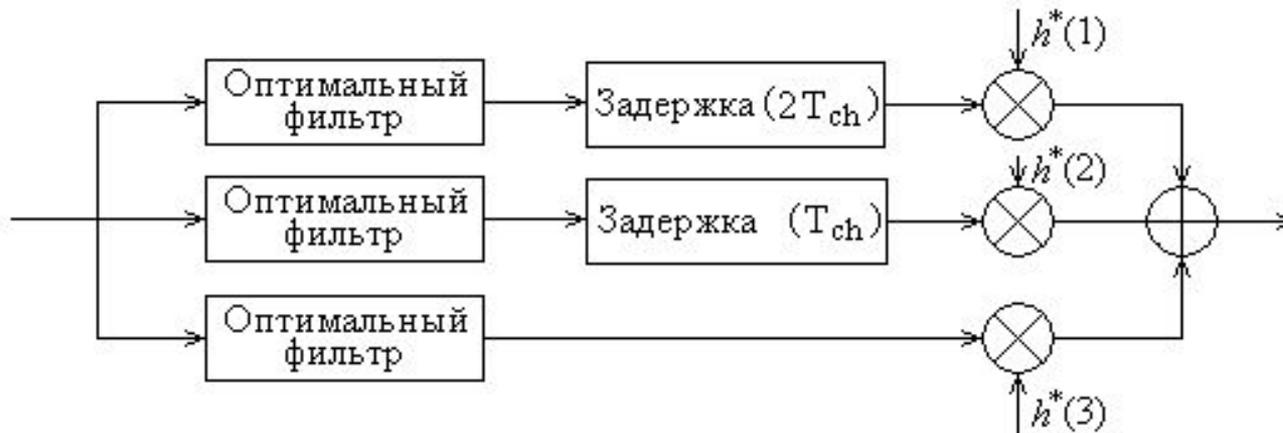


Схема RAKE приемника

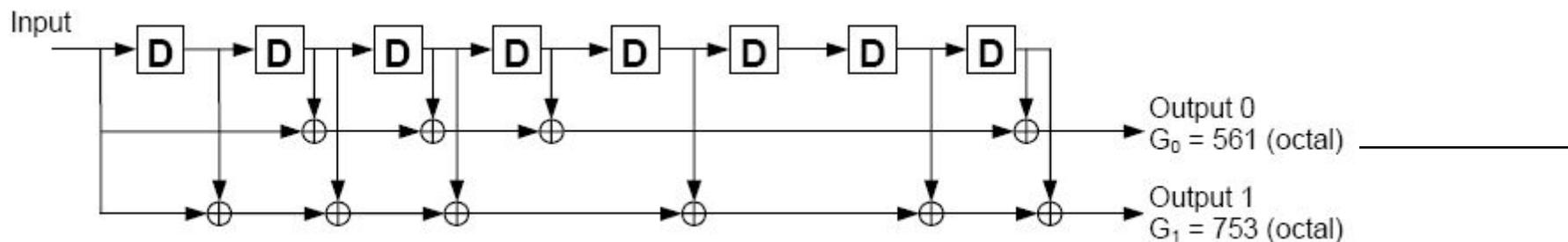
- Оптимальные фильтры разделяют (разрешают во времени) сигналы, приходящие по различным путям, если их относительные задержки превышают длительность T_{ch} чипа.
- Число оптимальных фильтров равно ожидаемому числу лучей в канале.
- Разделенные сигналы выравниваются во времени, взвешиваются и объединяются в сумматоре лучей, обеспечивая максимальное отношение мощности сигнала к суммарной мощности шума и помех (ОСШП) от других пользователей.
- Для оптимального суммирования лучей необходима непрерывная оценка канала.

7. Параметры фрейма.

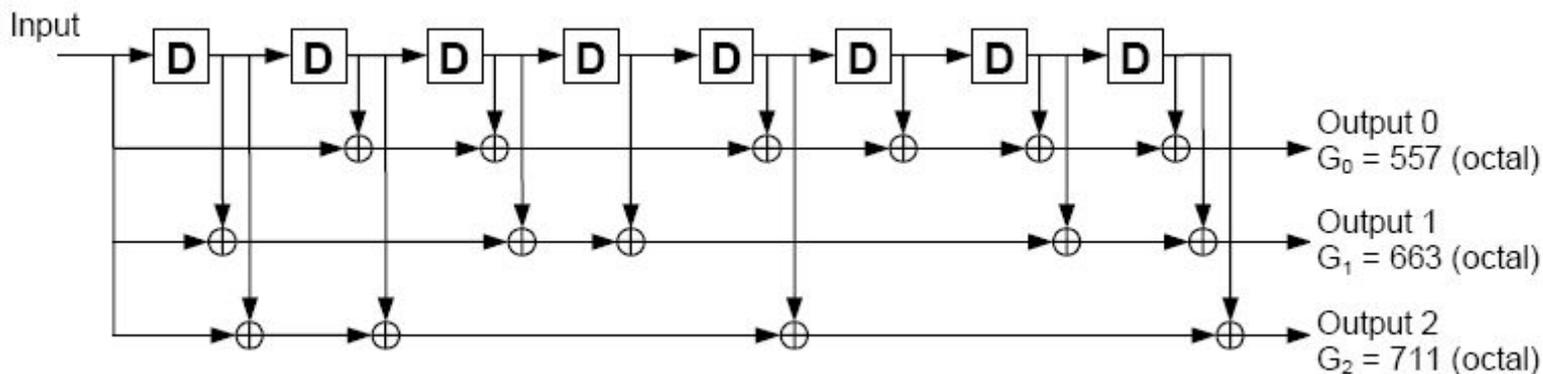
- Фрейм имеет длительность 20 мсек и состоит из 192 бит: 172 бита данных, 12 бит циклического избыточного кода (ЦИК) и 8 хвостовых бит.
- Биты данных - 0 и 1 с равными вероятностями.
- Биты ЦИК - двоичная свертка бит данных с генераторным полиномом. Правильность передачи фрейма определяется путем сопоставляя принятого и вычисленного ЦИК.
- Вероятность того, что фрейм принят неверно, при условии равенства принятого и вычисленного ЦИК составляет 2^{-12} (практически фрейм считается принятым неправильно, если хотя бы один бит в нем декодирован ошибочно).
- Нулевые хвостовые биты добавляются в конец фрейма для обнуления всех ячеек декодера после завершения обработки фрейма.

- Помехоустойчивый **сверточный кодер** построен на линейном сдвиговом регистре.
- **Длина кодового ограничения** $K=9$.
- Скорость кодирования – $1/2$ (downlink) и $1/3$ (uplink).
- Интерливер (перемежитель) осуществляет перестановку входных бит во фрейме.
- Матрица интерливера имеет размерность (24×16) (downlink) и (36×16) (uplink).
- Модулятор обеспечивает бинарную фазовую модуляцию в косинусной и синусной квадратурах, что эквивалентно квадратурной фазовой модуляции.
- РАКЕ-приемник состоит из оптимальных фильтров и сумматора лучей.
- На БС - 4 фильтра, у пользователя - 3 фильтра.
- Декодер Витерби реализует алгоритм максимального правдоподобия с «мягкой» метрикой

8. Канальные кодеры стандарта IS-95



(a) Rate 1/2 convolutional coder



(b) Rate 1/3 convolutional coder

Скорость 1/2 (downlink) - 561 (octal) = 101 110 001; 753 = 111 101 011

Скорость 1/3 (uplink). 557 (octal) = 101 101 111; 663 = 110 110 011; 711 = 111 001 001

Длина кодового ограничения $K=9$

9. Основные параметры стандарта IS-95

Параметр	БС – пользователь (Downlink)	Пользователь – БС (Uplink)
Диапазон частот, МГц	869 - 894	824 - 849
Ширина полосы, МГц	1.25	
Скорость передачи данных	9600 бит/сек	
Чиповая скорость, Мчип/сек	1.2288	
Число информационных бит во фрейме	192 = 172 (данные) + 12 (ЦИК) + 8 (хвост)	
Длительность фрейма	20 мсек	20 мсек
Сверточный кодер (длина K , темп R)	$K=9, R=1/2$	$K=9, R=1/3$
Модуляция	Квадратурная, фазовая	
Скорость передачи символов	9600 симв/сек	14400 симв/сек
Число символов во фрейме	192	288
Длительность символа	104.4 мсек	69.6 мсек
Частота управления мощностью	800 Гц	
Шаг управления мощностью	± 1 дБ	

10. Контроль мощности

Стандарт IS-95.

Фрейм - 16 групп РС.

Длительность группы
1,25 мсек.

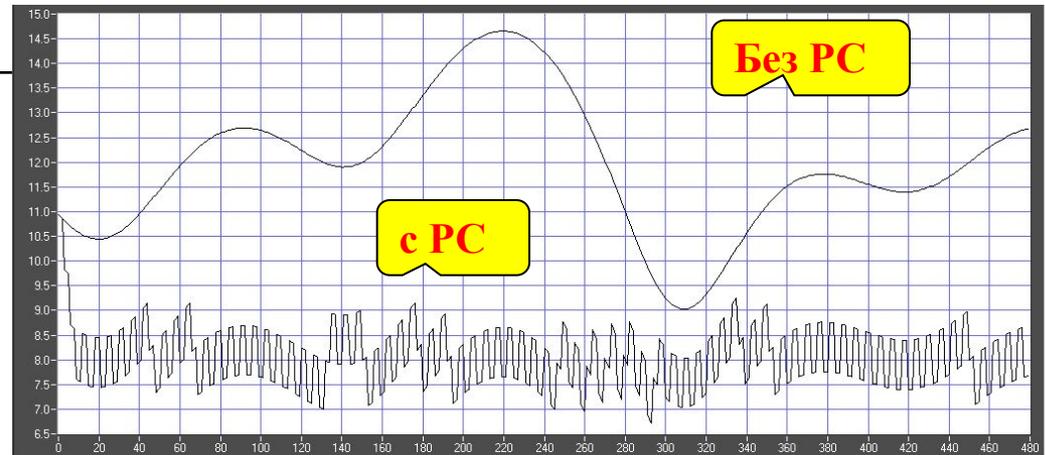
Частота управления
мощностью - 800 Гц

Шаг управления
мощностью ± 1 дБ

Управление мощностью
на основе оценки ОСШП
для каждой группы

15 дБ

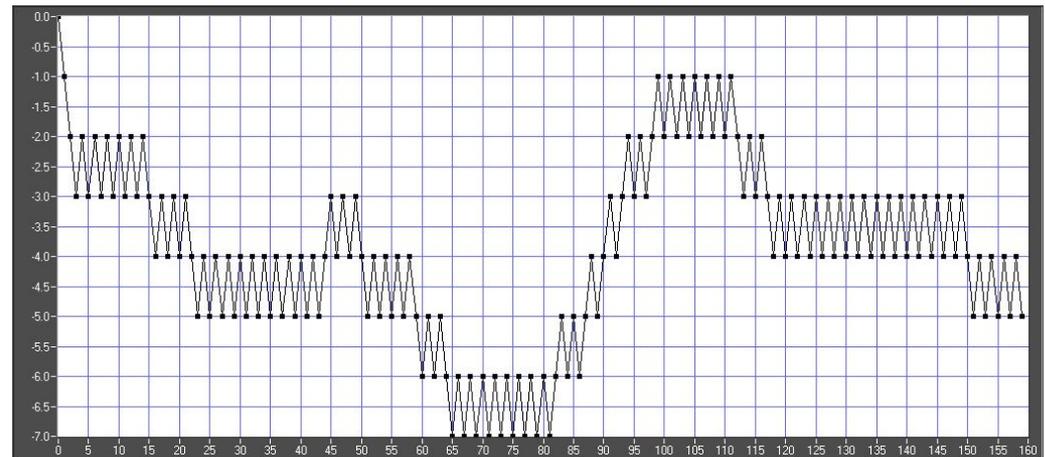
8 дБ



Замирания сигналов в канале связи

0 дБ

-5 дБ



Мощность передатчика



11. Адаптивное управление мощностью (Power Control – PC)

ОСШП $\tilde{\rho} < \rho_{target}$ - дается команда увеличить мощность в 1.26 раза (на 1 дБ)

ОСШП $\tilde{\rho} > \rho_{target}$ - дается команда уменьшить мощность в 1.26 раза (на 1 дБ)

Адаптивную регулировку мощности можно описать вводя эффективные канальные коэффициенты для символов n -й группы PC

$$h^{(PC)}(n) = \begin{cases} h(n) & (n \leq d_\tau + 1) \\ \sqrt{\prod_{q=1}^{n-1-d_\tau} \alpha_q} \cdot h(n) & (n > d_\tau + 1) \end{cases}$$

$\alpha_q = 1.26$ (1 дБ) или $\alpha_q = 0.79$ (-1 дБ) – коэффициент изменения мощности при переходе от $(q-1)$ -й к q -й группе,

d_τ – временная задержка в выполнении команды регулировки мощности, кратная длительности τ_{gr} группы.

Если $d_\tau = 0$, то мощность изменяется сразу после оценки ОСШП (без задержки).

Первая формула отображает начальный переходный процесс, когда мощность первых $(d_\tau + 1)$ групп символов не регулируется из-за задержки.

Подкоренное выражение - величина изменения мощности для n -й группы символов.

Потенциальная эффективность управления мощностью достигается при следующих идеализациях: **мощность регулируется от символа к символу с произвольным шагом и без задержки.**

Тогда обеспечивается полная компенсация замираний сигналов.

Выходное ОСШП становится постоянным, равным заданному порогу.

Средняя мощность зависит от заданного ОСШП ρ_{target}

Если ОСШП $\rho_1(t) < \rho_{target}$, мощность увеличивается в $k_{power}(t) = \rho_{target} / \rho_1(t)$ раз.

Если ОСШП $\rho_2(t) > \rho_{target}$, мощность уменьшается в $k_{power} = \rho_2(t) / \rho_{target}$ раз (эквивалентно увеличению мощности в $\rho_{target} / \rho_2(t)$ раз)

Коэффициент $k_{power}(t)$ увеличения мощности обратно пропорционален замираниям

Усредним коэффициент $k_{power}(\rho)$ по всем ОСШП

$$\langle k_{power} \rangle = \int_0^{\infty} k_{power}(\rho) f(\rho) d\rho$$

$$\langle k_{power} \rangle = \int_0^{\rho_{target}} \frac{\rho_{target}}{\rho} f(\rho) d\rho$$

$f(\rho)$ – плотность вероятности ОСШП

Если $\langle k_{power} \rangle$ больше единицы, то средняя мощность увеличивается в $\langle k_{power} \rangle$ раз

Если $\langle k_{power} \rangle$ меньше единицы, то средняя мощность уменьшается в $\langle k_{power} \rangle$ раз

В общем случае (плотность вероятности $f(\rho)$ ОСШП произвольна) коэффициент $\langle k_{power} \rangle$ больше единицы.

Рассмотрим многолучевой релейский канал, одного пользователя и будем пренебрегать боковыми лепестками функции автокорреляции КПШП.

Выходное ОСШП имеет хи-квадрат распределение с $2N$ степенями свободы

$$\rho = \rho_0 \cdot \sum_{i=1}^N |h(i)|^2$$

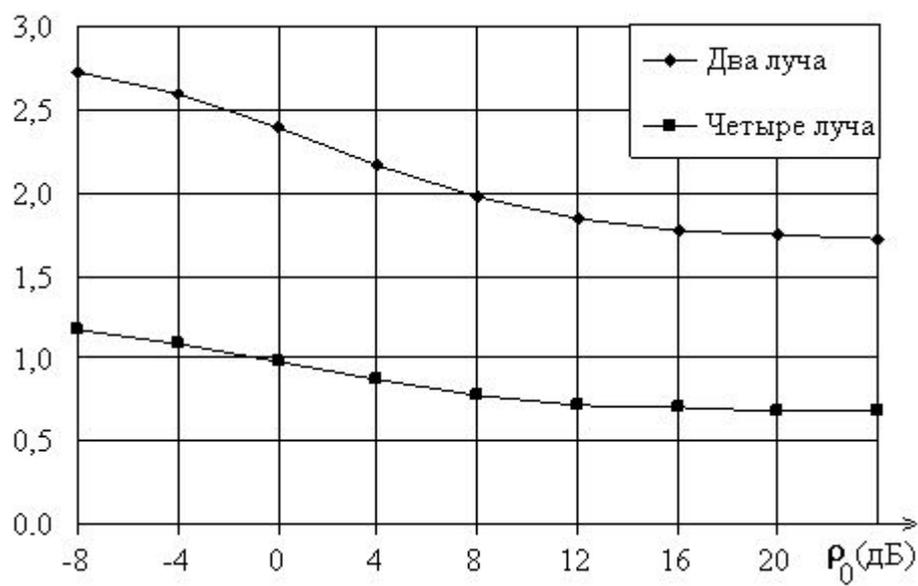
$$f(\rho) = \frac{1}{(N-1)! \rho_0^N} \rho^{N-1} \exp\left(-\frac{\rho}{\rho_0}\right)$$

$$\langle k_{power} \rangle = \int_0^{\rho_{target}} \frac{\rho_{target}}{\rho} \frac{1}{(N-1)! \rho_0^N} \rho^{N-1} \exp\left(-\frac{\rho}{\rho_0}\right) d\rho \quad \langle k_{power} \rangle = \frac{N}{(N-1)} \frac{\rho_{target}}{\rho_0}$$

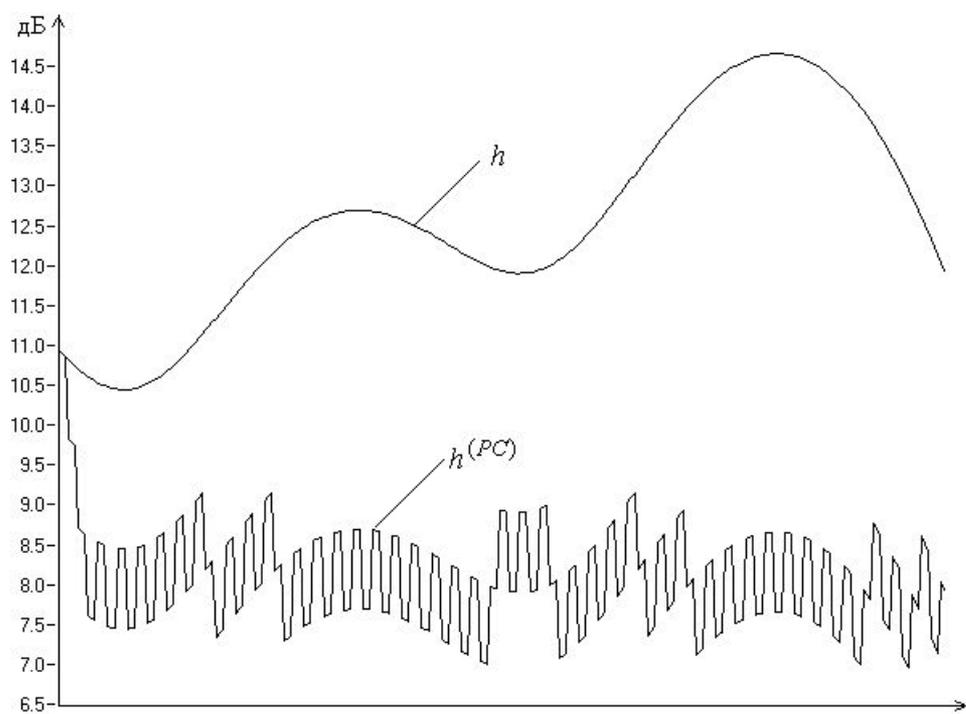
В случае 1-лучевого канала ($N=1$) необходима бесконечно большая средняя мощность для полной компенсации замираний (при сделанных идеализациях).

Практически наблюдается увеличение мощности на 10 дБ.

При увеличении числа релейских лучей требуемая средняя мощность принимает конечное значение, уменьшаясь с ростом числа лучей. При двух лучах ($N=2$) коэффициент увеличения мощности 3 дБ.



Коэффициент $\langle k_{power} \rangle$ (дБ) для 2- и 4-лучевого релейского канала



Модуль коэффициента передачи канала и эффективного коэффициента передачи при регулировке мощности с шагом ± 1 дБ (частота Доплера 10 Гц)