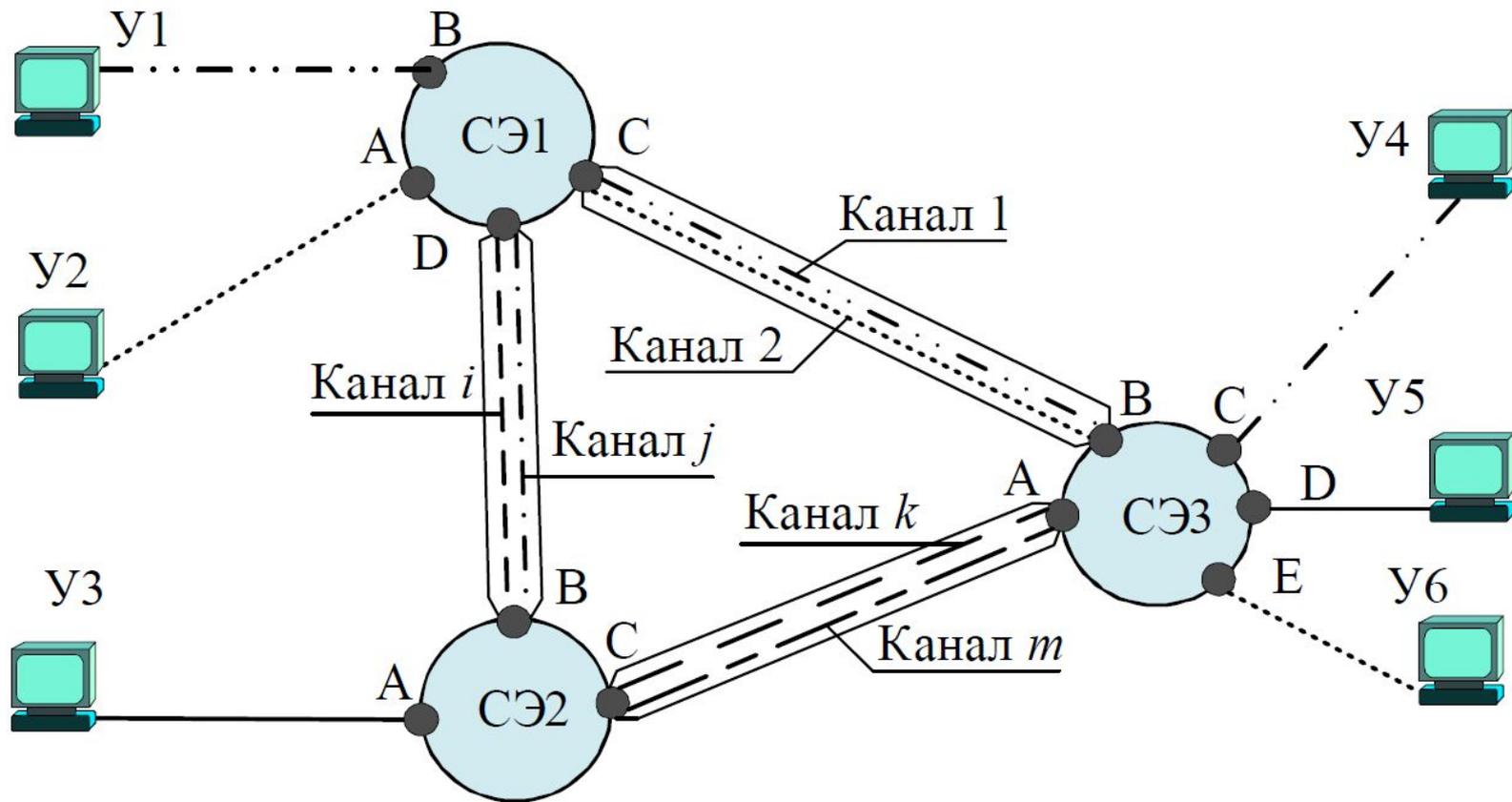


КАНАЛЫ ПЕРЕДАЧИ



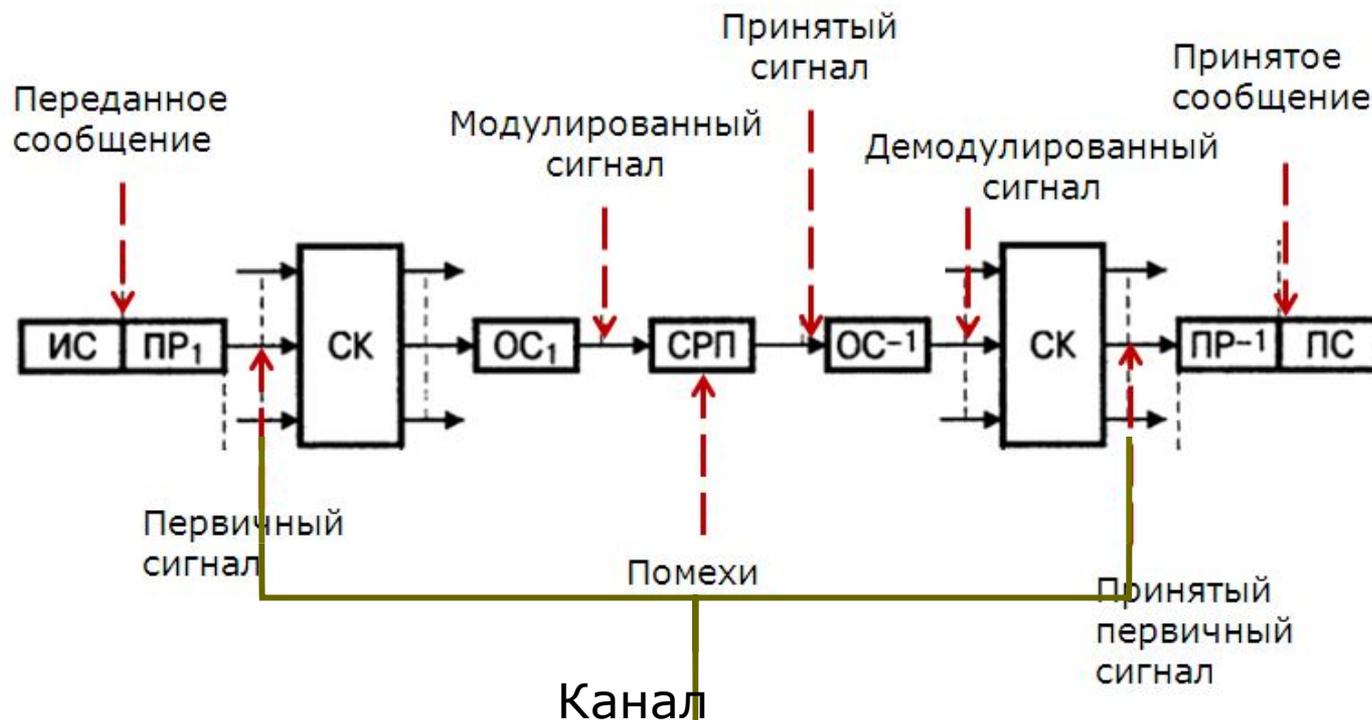
Канал Грибоедова

КАНАЛЫ СВЯЗИ



КАНАЛЫ ПЕРЕДАЧИ

Каналом передачи называется совокупность технических средств и среды распространения, обеспечивающая передачу сигналов электросвязи от источника сигнала к получателю (и наоборот) в заданном диапазоне мощностей, частот и скоростей передачи.



КЛАССИФИКАЦИЯ КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ

Цифровой канал – между указанными точками сигнал передается только в цифровой форме.

Аналоговый канал – между указанными точками сигнал передается только в аналоговой форме.

Смешанным аналого-цифровым – если на одних участках канала используют аналоговые, а на других – цифровые методы передачи сигналов электросвязи.

ПАРАМЕТРЫ КАНАЛОВ

Эффективно передаваемая полоса частот Δf_k - полоса, которую канал способен пропустить с выполнением требований к качеству передачи сигналов

Время T_k – время, в течение которого канал предоставлен для передачи сигналов или сообщений

Динамический диапазон

$$D_k = 10 \lg W_{kmax} / W_{kmin}$$

W_{kmax} - максимальная мощность, при которой сигнал может быть передан по каналу при искажениях, не превышающих заданный уровень;

W_{kmin} - минимальная мощность сигнала, при которой обеспечивается необходимая защищенность от помех.

Защищенность канала:

$$A_{3K} = 10 \lg \frac{W_{K min}}{W_{\Pi}}$$

W_{Π} - мощность помех в канале.

ПРИМЕР

На выходе канала имеется сигнал и помеха с параметрами:

$$D_c = 40 \quad , \quad M_{\max} = 8 \quad ; \quad M_{\Pi} = 5 \cdot 10^3 \quad .$$

Найти защищенность сигнала с минимальной мощностью на выходе канала.

$$A_{3\min} = 10 \lg \frac{W_{\min}}{W_{\Pi}}; \quad D_c = 10 \lg \frac{W_{\max}}{W_{\min}}; \quad \frac{W_{\max}}{W_{\min}} = 10^{0.1 D_c};$$

$$W_{\min} = W_{\max} 10^{-0.1 D_c}; \quad A_{3\min} = 10 \lg \frac{W_{\max} \cdot 10^{-0.1 D_c}}{W_{\Pi}} =$$

$$= 10 \lg \frac{W_{\max}}{W_{\Pi}} + 10 \lg 10^{-0.1 D_c} = 10 \lg \frac{W_{\max}}{W_{\Pi}} - D_c = \mathbf{28,04}$$

ПАРАМЕТРЫ КАНАЛОВ

Условия передачи сигнала по каналу:

$$\Delta f_K \geq \Delta f_C; T_K \geq T_C; D_K \geq D_C.$$

Объем канала: $V_K = \Delta f_K \cdot T_K \cdot D_K$

Условие передачи сигнала по каналу: $V_K \geq V_C$

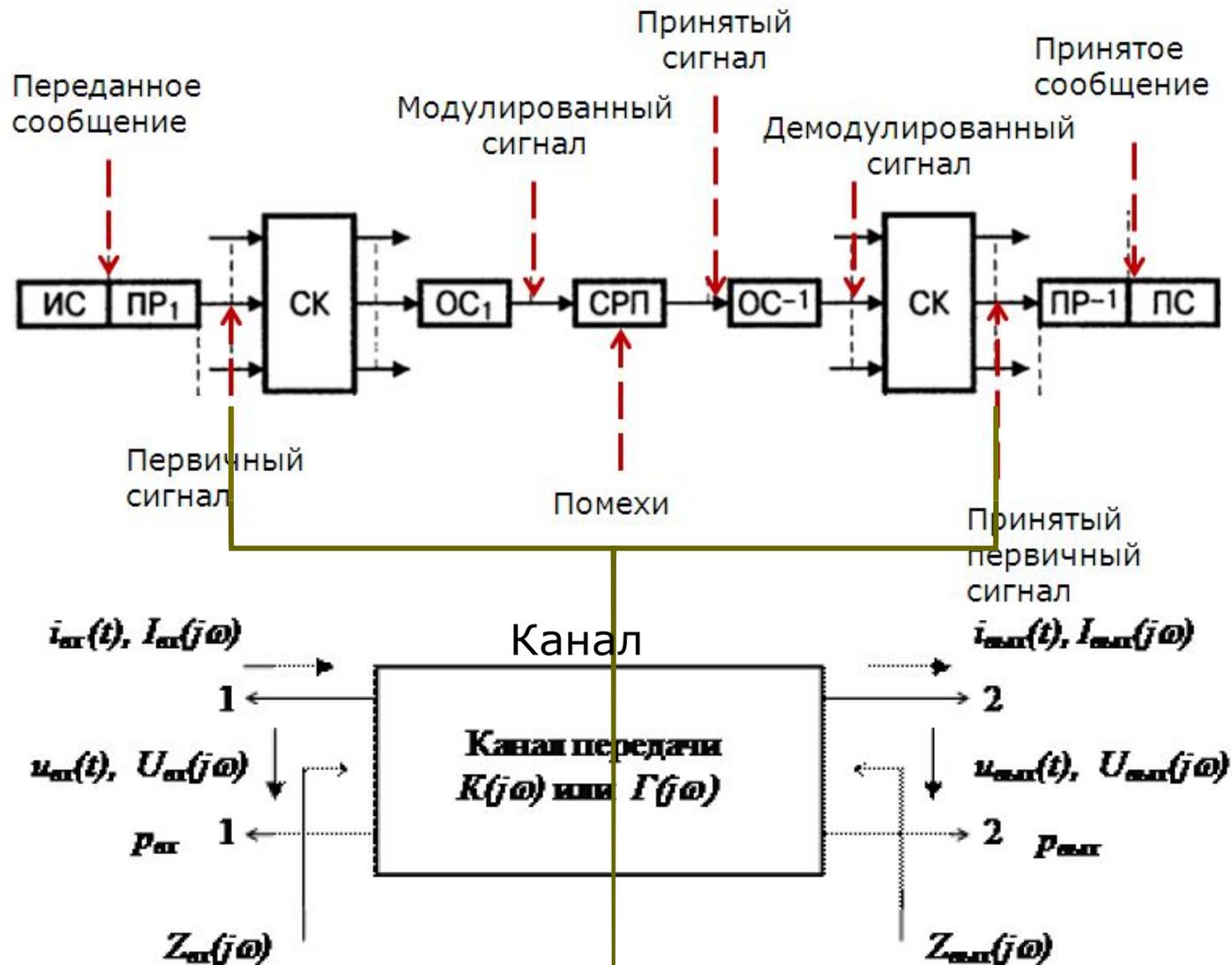
Пропускная способность канала (максимальная скорость передачи информации по каналу связи в единицу времени):

$$C_{\text{бит}} = \Delta f_K \log_2 \left(1 + \frac{W_{\text{cp}}}{W_{\text{П}}} \right), \quad /$$

W_{cp} - средняя мощность передаваемого по каналу сигнала.

$$\frac{W_{\text{cp}}}{W_{\text{П}}} \gg 1 \quad C_{\text{бит}} \approx 0.332 \Delta f_K A_{3K}; \quad /$$

КАНАЛ ПЕРЕДАЧИ КАК ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИК



КАНАЛ ПЕРЕДАЧИ КАК ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИК

Параметры и характеристики эквивалентного четырехполюсника:

- номинальные и реальные значения входного ($Z_{\text{ВХ.НОМ}}, Z_{\text{ВХ}}$) и выходного ($Z_{\text{ВХ.НОМ}}, Z_{\text{ВХ}}$) сопротивлений
- затухание несогласованности (отражения) на входе и выходе: $A_{\text{ОТР}}$
- номинальные уровни сигнала на входе ($p_{\text{ВХ}}$) и выходе ($p_{\text{ВЫХ}}$)
- остаточное затухание канала передачи A_R , разброс затухания ΔA_R
- номинальная частотная характеристика затухания канала передачи и граничные частоты канала f_H, f_B
- комплексная частотная характеристика; переходные и импульсные характеристики
- амплитудно-частотные искажения
- нелинейные искажения

ЗАТУХАНИЕ НЕСОГЛАСОВАННОСТИ

Коэффициент отражения

$$\delta_{отр.вх} = \left| \frac{Z_{вх} - R_{вх.НОМ}}{Z_{вх} + R_{вх.НОМ}} \right|; \quad \delta_{отр.вых} = \left| \frac{Z_{вых} - R_{вых.НОМ}}{Z_{вых} + R_{вых.НОМ}} \right|$$

Затухание несогласованности (отражения)

$$АБ_{отр} = -20 \lg \delta$$

$$АБ_{отр.вх} = 20 \lg \left| \frac{Z_{вх} + R_{вх.НОМ}}{Z_{вх} - R_{вх.НОМ}} \right|; \quad АБ_{отр.вых} = 20 \lg \left| \frac{Z_{вых} + R_{вых.НОМ}}{Z_{вых} - R_{вых.НОМ}} \right|_{10}$$

ОСТАТОЧНОЕ ЗАТУХАНИЕ

Остаточное затухание A_R - рабочее затухание канала, измеренное или рассчитанное в условиях подключения ко входу и выходу активных сопротивлений, соответствующих номинальным значениям

$$A_{BX} = P_{ВЫХ} - P_{ВХОД} = \sum_{i=1}^k A_i - \sum_{j=1}^l S_j$$

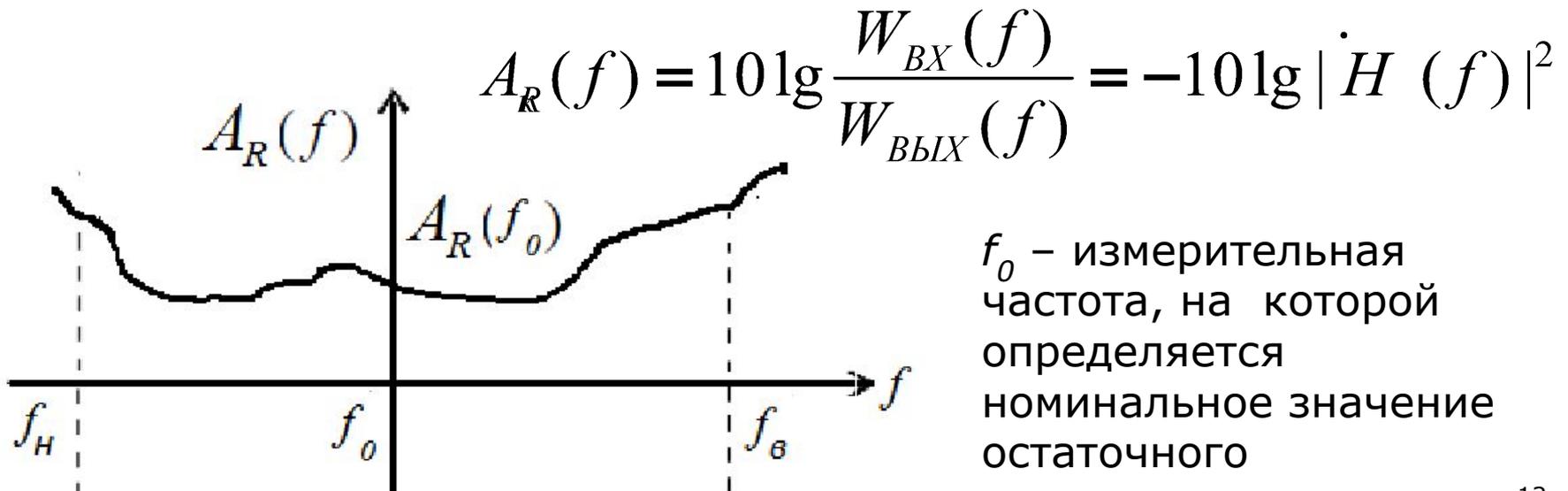
Остаточное затухание представляет собой алгебраическую сумму затуханий и усиления.

Остаточное затухание $A_R(f_0)$ измеряется на определенной для каждого канала измерительной частоте f_0

ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

$$\dot{H}_k(f) = \frac{\dot{U}_{\text{вых}}(f)}{\dot{U}_{\text{вх}}(f)} = H_k(f)e^{j\varphi_k(f)} \quad H_k(f) = \left| \dot{H}_k(f) \right|$$

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ в дБ) канала - зависимость остаточного затухания от частоты при постоянном уровне на входе канала, т.е. $p_{\text{вх}} = \text{const}$.

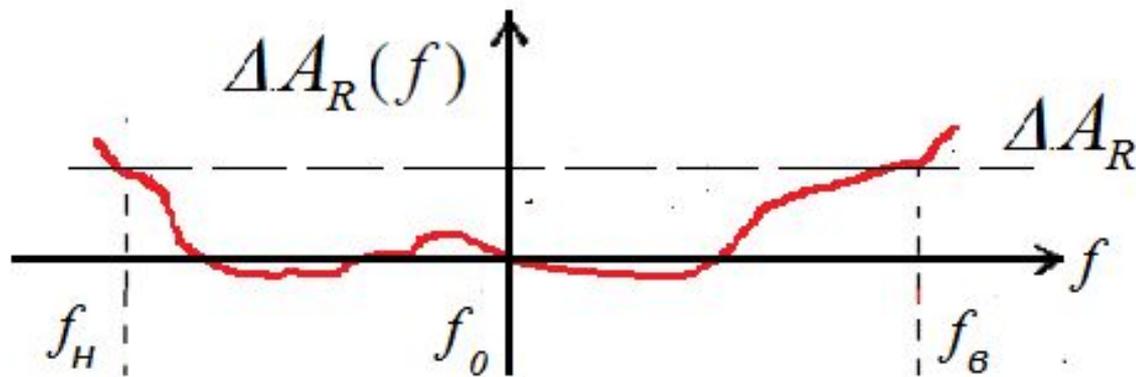


f_0 – измерительная частота, на которой определяется номинальное значение остаточного затухания;

ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Эффективно передаваемая полоса частот - полоса частот канала, в пределах которой остаточное затухание (ОЗ) отличается от номинального не более чем на некоторую величину

$$\Delta A_R(f) = A_R(f) - A_R(f_0),$$



f_H, f_B - нижняя и верхняя граничные частоты ЭПЧ

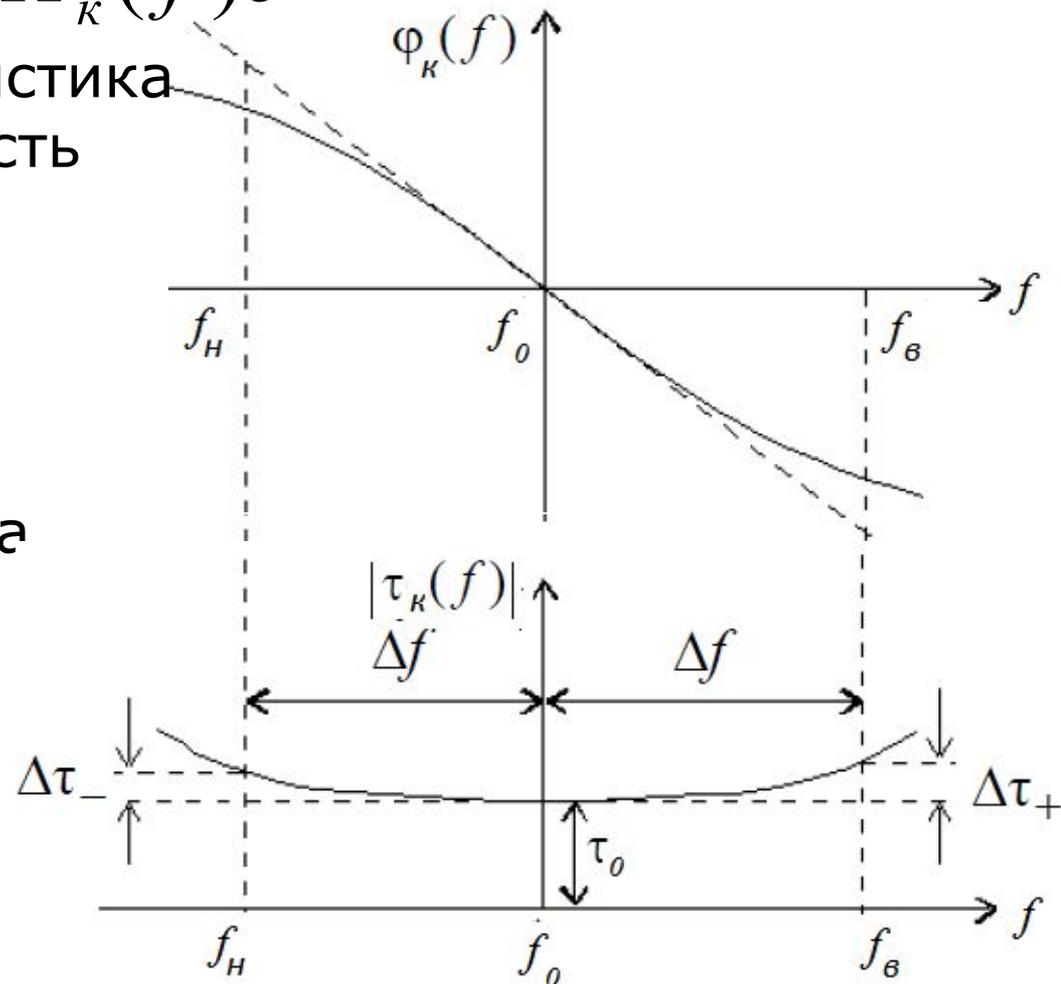
ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

$$\dot{H}_k(f) = H_k(f) e^{j\varphi_k(f)}$$

Фазочастотная характеристика (ФЧХ) канала - зависимость фазового сдвига между выходным и входным сигналами от частоты.

Частотная характеристика группового времени прохождения - ГВП (или запаздывания - ГВЗ):

$$\tau_k(f) = -\frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi_k(f)}{df}$$



ЛИНЕЙНЫЕ ИСКАЖЕНИЯ

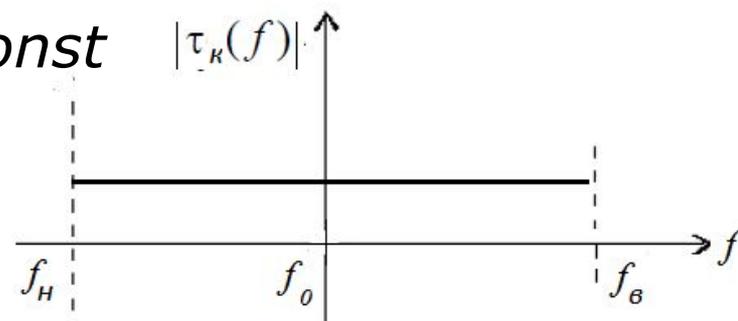
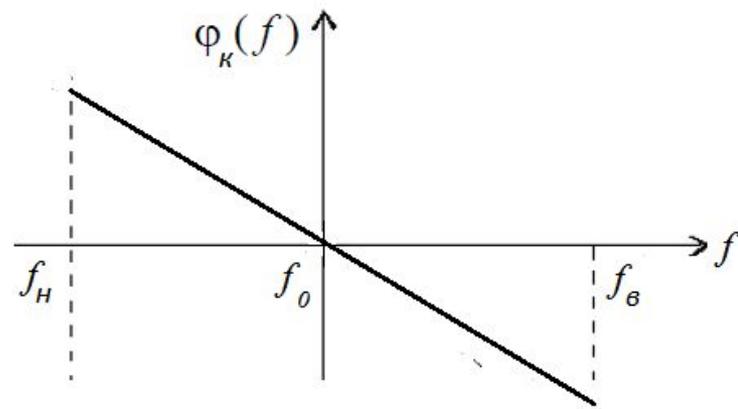
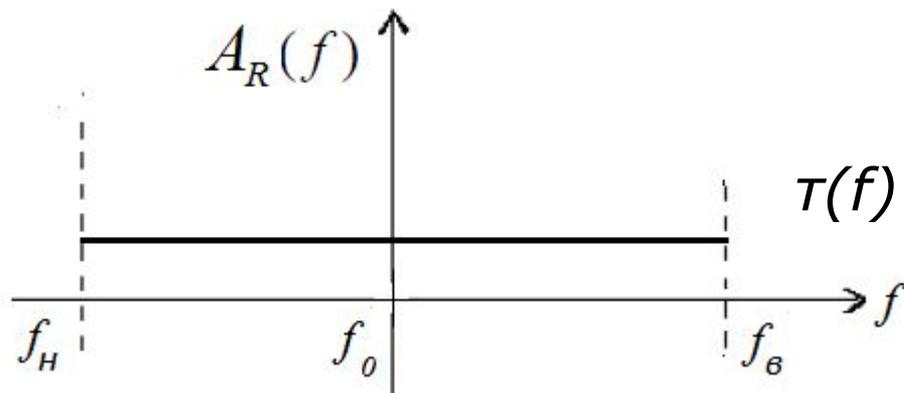
Линейные искажения характеризуют искажения формы и спектрального состава сигнала, прошедшего канал передачи.

Условия неискаженной передачи:

$$H_K(f) = H_0 = \text{const} \quad \phi(f) = -2\pi f\tau + \phi_0$$

или

$$A_R(f) = A_0 = \text{const}; \quad \tau(f) = \tau_0 = \text{const}$$



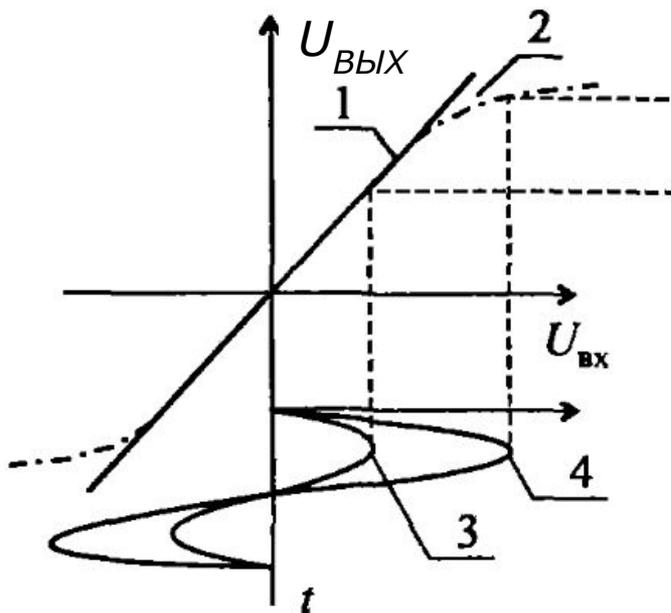
АМПЛИТУДНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Амплитудная характеристика - зависимость мощности, напряжения, тока или их уровней на выходе канала от мощности, напряжения, тока или их уровней на входе канала

$$U_{\text{ВЫХ}} = \psi_{\text{H}}(U_{\text{ВХ}})$$

$$P_{\text{ВЫХ}} = \psi_{\text{P}}(P_{\text{ВХ}})$$

$$W_{\text{ВЫХ}} = \psi_{\text{W}}(W_{\text{ВХ}})$$



АМПЛИТУДНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Величина нелинейных искажений в каналах оценивается коэффициентом нелинейных искажений:

$$k_{НИ} = \left(\sum_{i=2}^n U_{i2}^2 \right)^{0.5} / U_{12}$$

затуханием нелинейности:

$$A_H = -20 \lg k_{НИ} = 20 \lg U_{12} / \left(\sum_{i=2}^n U_{i2}^2 \right)^{0.5}$$

затухание нелинейности по гармоникам:

$$A_{НГ} = 20 \lg U_{12} / U_{n2} = p_{12} - p_{n2}$$

$p_{1г}$ - абсолютный уровень первой гармоники измерительного сигнала;

$p_{nг}$ - абсолютный уровень n-й гармоники, обусловленной нелинейностью АХ канала.

КОЭФФИЦИЕНТ ОШИБКИ (ДЛЯ ЦИФРОВЫХ КАНАЛОВ)

$$K_{ош} = N_{ош}/N = N_{ош}/(СТ)$$

$N_{ош}$ - число ошибочно принятых символов;

N - общее число переданных символов;

C - скорость передачи в симв/с;

T - время измерения (наблюдения).

ТИПОВЫЕ КАНАЛЫ ПЕРЕДАЧИ. СТАНДАРТНЫЙ КАНАЛ ТОНАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ (КТЧ)

КТЧ:

- аналоговый канал;
- является единицей измерения емкости систем передачи;
- используется для передачи телефонных сигналов, а также сигналов данных, факсимильной и телеграфной связи.

Основные характеристики:

- полоса частот: $f_H = 300$ Гц; ... $f_B = 3400$ Гц
- частота измерительного сигнала $f_0 = 800$ Гц (1020 Гц)
- измерительные уровни на входе и на выходе четырехпроводного тракта:

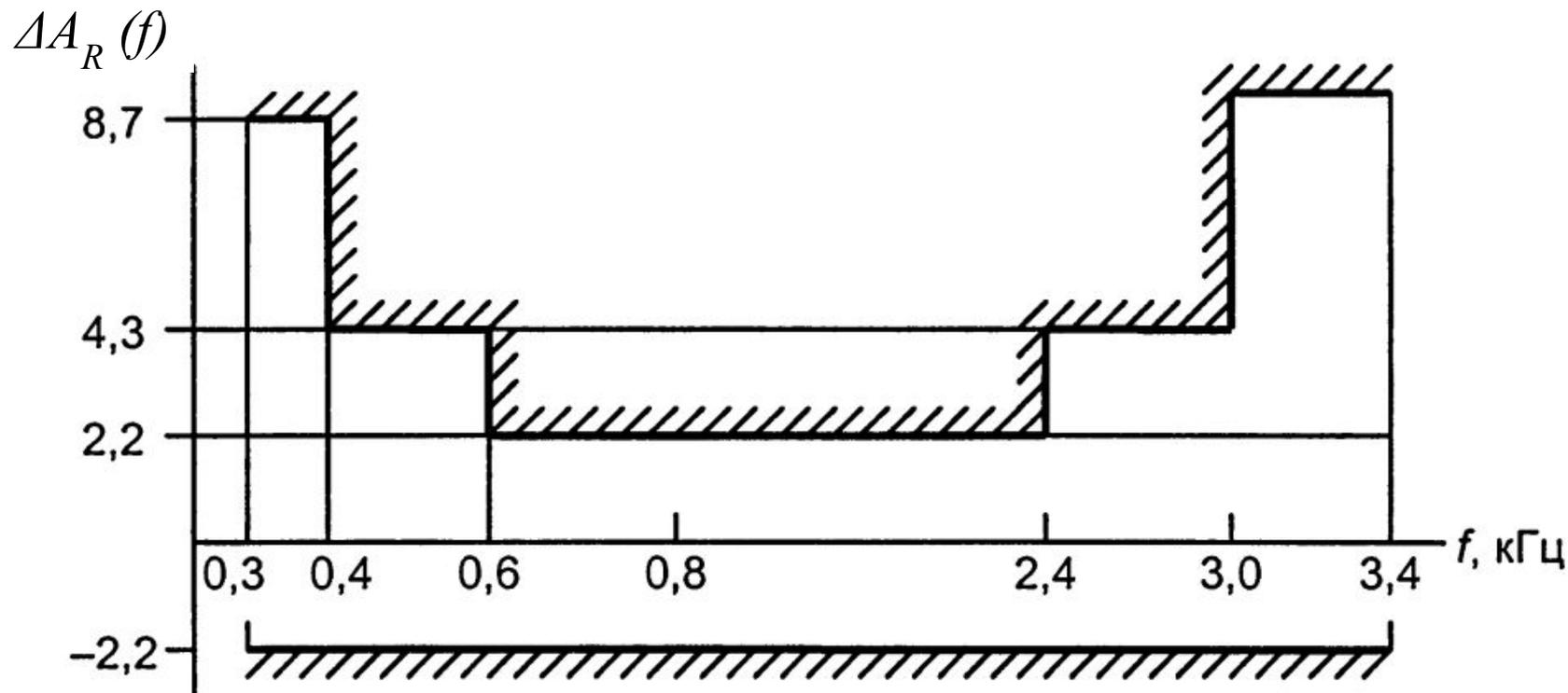
$$p_{\text{ВХ}} = -13 \text{ дБм}; \quad p_{\text{ВЫХ}} = +4 \text{ дБм}$$

- номинальное остаточное затухание КТЧ :

$$A_R = p_{\text{ВХ}} - p_{\text{ВЫХ}} = -17 \text{ дБ}$$

СТАНДАРТНЫЙ КАНАЛ ТОНАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ (КТЧ)

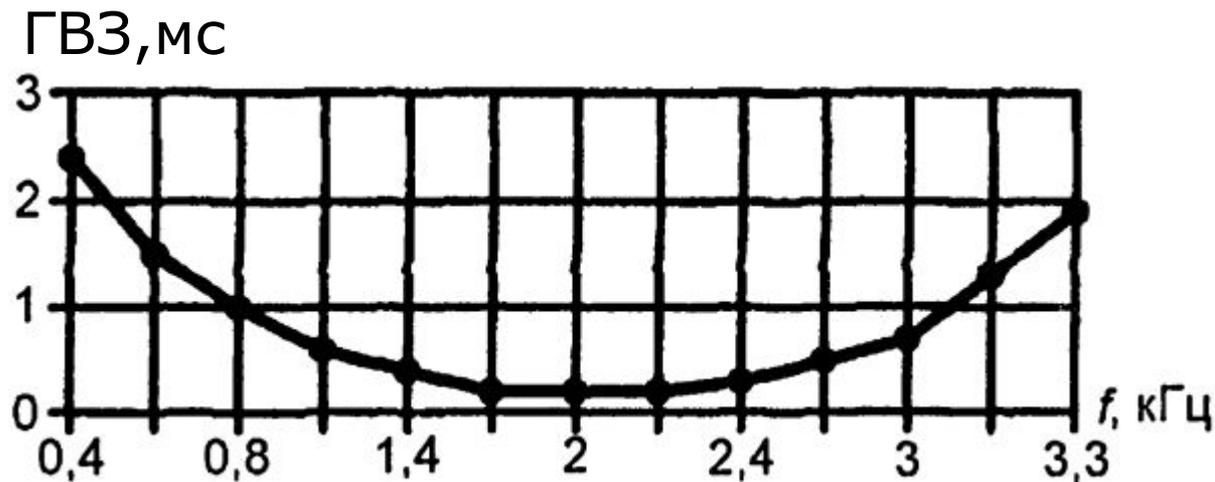
- частотная характеристика отклонений остаточного затухания ΔA_R от номинального значения (-17дБ) должна оставаться в пределах шаблона



Шаблон допустимых отклонений остаточного затухания КТЧ

СТАНДАРТНЫЙ КАНАЛ ТОНАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ (КТЧ)

- частотная характеристика группового времени запаздывания (ГВЗ):



Допустимые отклонения ГВЗ КТЧ

СТАНДАРТНЫЙ КАНАЛ ТОНАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ (КТЧ)

- входное и выходное сопротивление: $R_{ВХ(ВЫХ)} = 600 \text{ Ом}$
- затухание несогласованности: $(\delta < 0.1)$
- коэффициент нелинейных искажений: $A_{отр.вх} = A_{отр.вх} < 20$
1.5% (1% по 3-й гармонике)
- динамический диапазон: 30-35 дБ
- защищенность канала: $A_{ЗК} = 25 \text{ дБ}$

- пропускная способность канала

$$I_K \approx 0.332 \Delta f_K A_{ЗК} = 0.3323 \cdot 100 \cdot 25 = 25000 \text{ бит / с}$$

- согласование с ТС: $I_{КС} > I$ $\Delta f_{КС} = \Delta f$

Канал ТЧ пригоден для передачи телефонного сигнала

ОСНОВНОЙ ЦИФРОВОЙ КАНАЛ (DSO - DIGITAL SIGNAL OF LEVEL 0)

- частота дискретизации (f_d) - 8000 Гц.

Равномерное квантование:

число разрешенных значений сигнала - 2048 (без учёта знака)
- 4096 (с учётом знака)

- кодовая комбинация – $B=12$ разрядов

Нелинейное квантование:

число разрешенных значений сигнала - 128 (без учёта знака)
- 256 (с учётом знака)

- кодовая комбинация – $B=8$ разрядов

- скорость передачи цифрового потока одного канала

$$C_k = f_{д} \times B = 8000 \times 8 = 64000 \text{ б / с}$$

Используется как основной в плезиохронной цифровой иерархии.

ДВУСТОРОННИЕ КАНАЛЫ

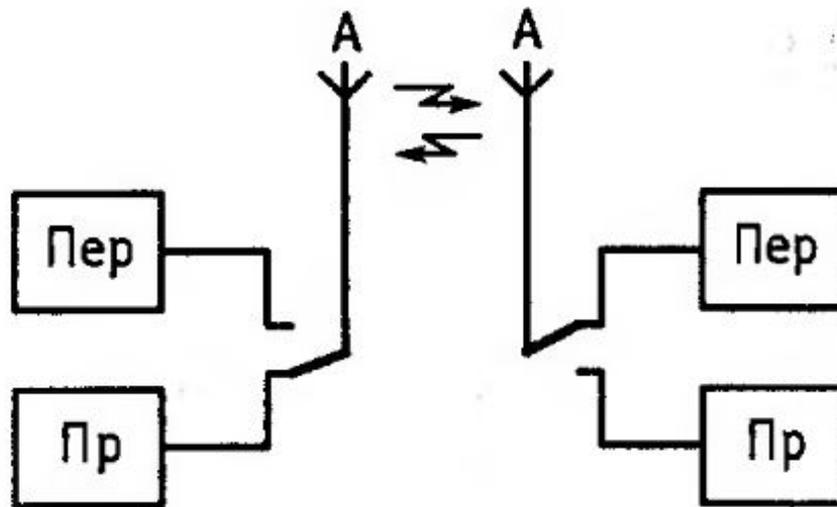


ПОСТРОЕНИЕ ДВУСТОРОННИХ КАНАЛОВ

Односторонний канал – канал, по которому передача данных осуществляется в одну сторону (обеспечивает передачу или прием).

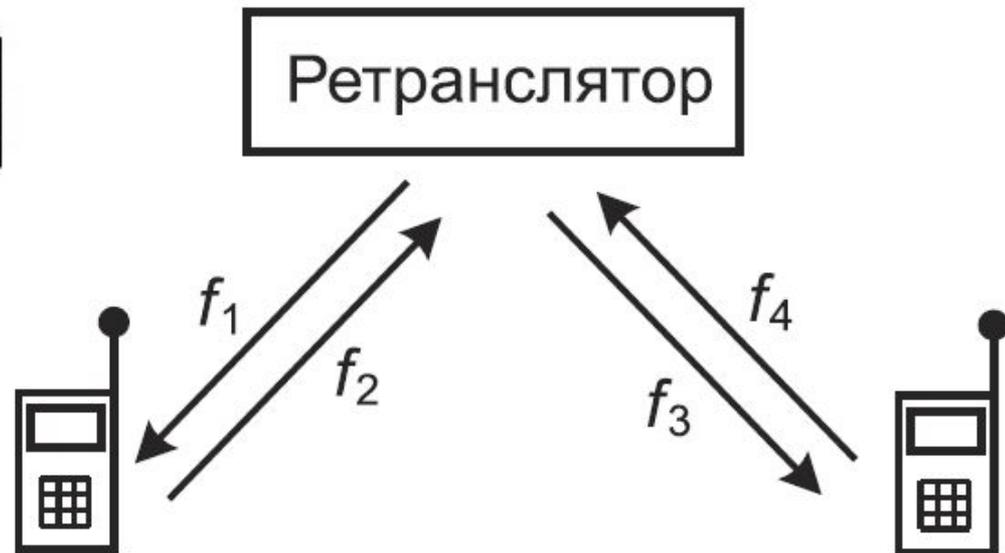
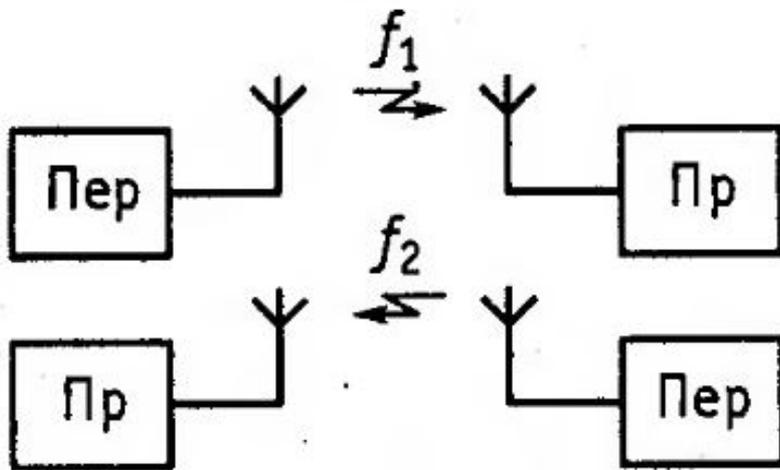
Двусторонний канал - канал, по которому передача данных осуществляется в обе стороны (обеспечивает передачу и прием).

Симплексная связь - передача и прием ведутся поочередно.



ПОСТРОЕНИЕ ДВУСТОРОННИХ КАНАЛОВ

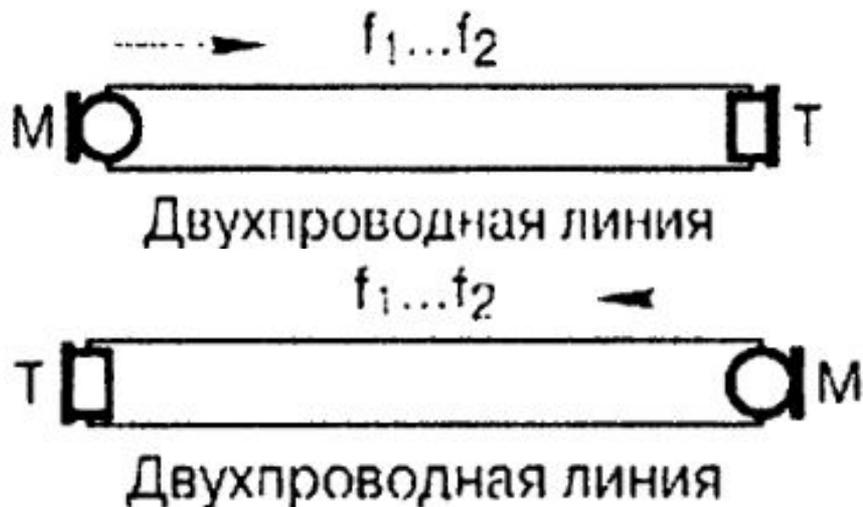
Дуплексная связь - передача осуществляется одновременно с приемом.



ОДНОПОЛОСНАЯ ДВУСТОРОННЯЯ (ДУПЛЕКСНАЯ) СВЯЗЬ (историческая справка)

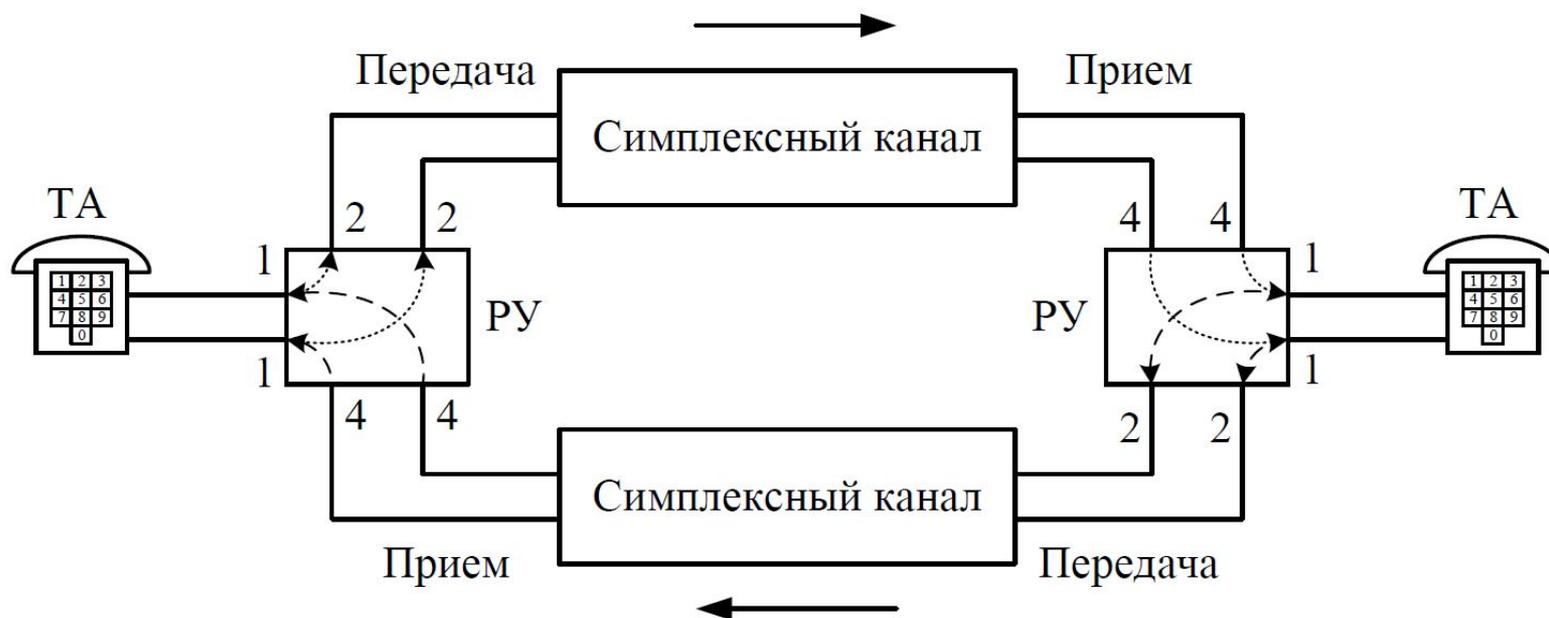
Однополосная двусторонняя связь - передача и прием ведутся в одной и той же полосе частот $f_1 \dots f_2$

Однополосная четырехпроводная схема организации двусторонней телефонной связи



ОДНОПОЛОСНАЯ ДУПЛЕКСНАЯ (историческая справка)

Однополосная двухпроводная схема организации двусторонней связи

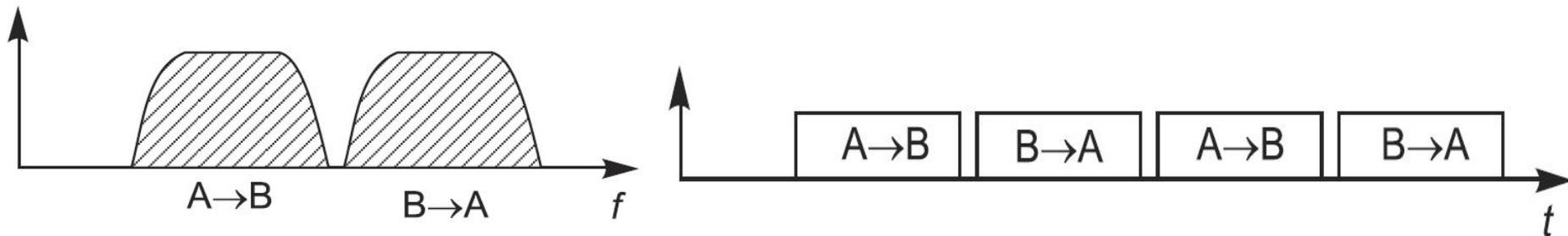


Дуплексный канал тональной частоты с двухпроводным окончанием

Развязывающие устройства предназначены для разделения направлений передачи

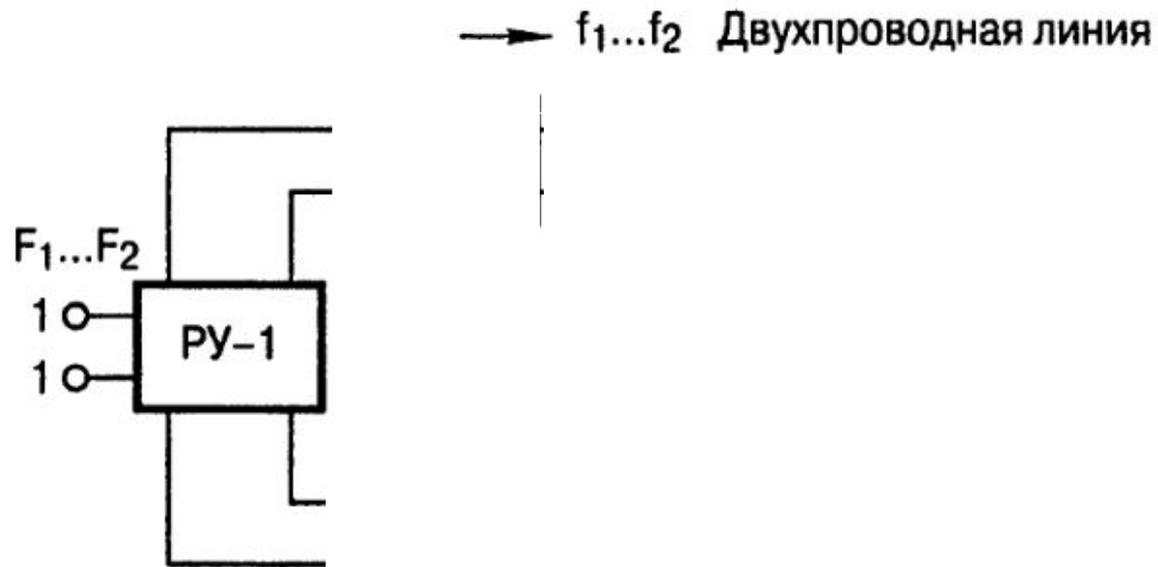
ДУПЛЕКСНАЯ ПЕРЕДАЧА С ЧАСТОТНЫМ (FDD) И ВРЕМЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ (TDD)

Frequency Division Duplex(FDD) - спектры различных направлений передачи данных не должны перекрываться. Деление выделенной полосы частот на два отдельных меньших по полосе канала

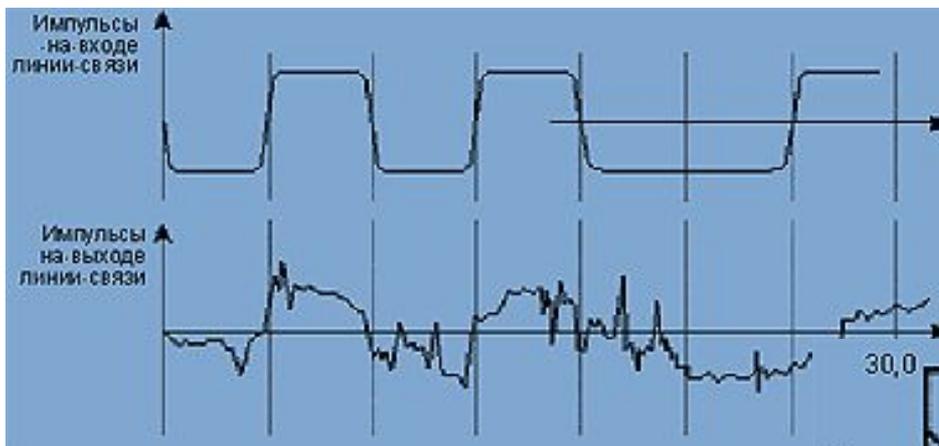


Time Division Duplex(TDD) - используется весь частотный диапазон канала для передачи данных в обоих направлениях. Пакеты данных в различных направлениях разнесены по времени

РАЗВЯЗЫВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА (РУ) В ДУПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЕ ПЕРЕДАЧИ С ЧАСТОТНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ (FDD)

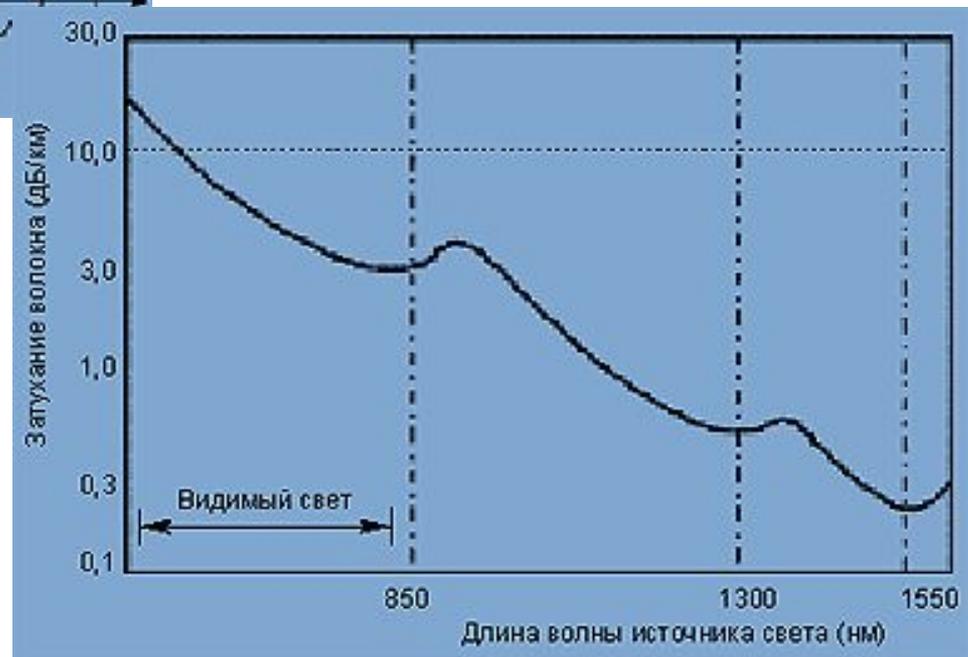


ДАЛЬНОСТЬ НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ СВЯЗИ



Затухание для оптического волокна

Витая пара (категории 5) для внутренней проводки в зданиях : затухание не ниже 23,6 дБ на 100 м для частоты 100 МГц .



ДАЛЬНОСТЬ НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ

$A_{пп} = 10 \lg (W_{пер}/W_{пр})$ - допустимое затухание (ослабление) между передатчиком и приемником

a дБ/км – коэффициент затухания линии

$L = A_{пп} / a$ - дальность непосредственной связи

Пример. Дано: $W_{пер} = 1$ мВт; $W_{пр} = 1$ мкВт

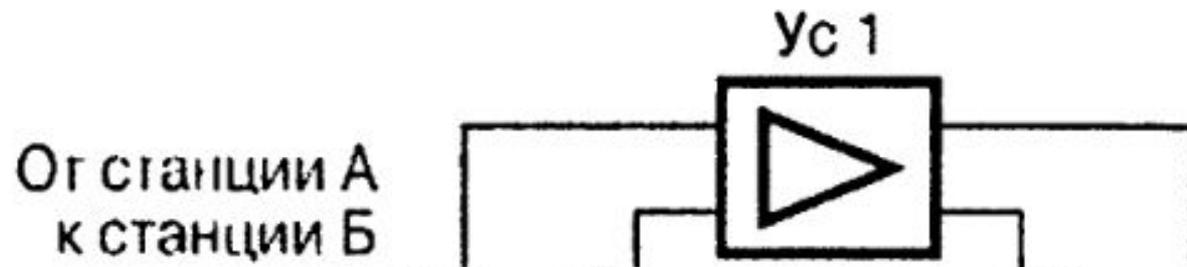
Определить затухание между передатчиком и приемником на частоте 850 нм и дальность непосредственной связи

$a = 3$ дБ/км

$A_{пп} = 10 \lg (W_M/W_T) = 10 \lg (1/10^{-3}) = 30$ дБ.

$L = A_{пп}/a = 30/3 = 10$ км.

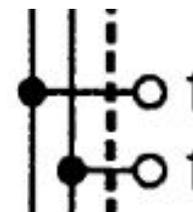
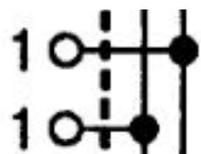
СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ДВУСТОРОННЕГО УСИЛИТЕЛЯ ДЛЯ FDD



От станции Б
к станции А

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ДВУСТОРОННЕГО УСИЛИТЕЛЯ ДЛЯ FDD

Двухполосная связь



ПРИМЕР. ДВУСТОРОННЯЯ СВЯЗЬ. КАНАЛ ТОНАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ

Канал двустороннего действия с четырехпроводным окончанием



Канал двустороннего действия с двухпроводным окончанием

