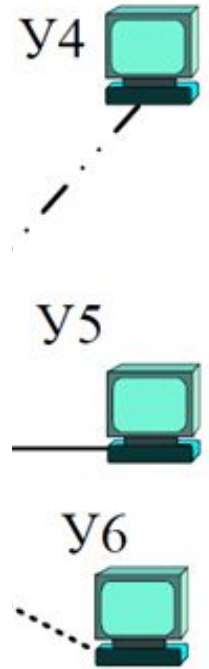
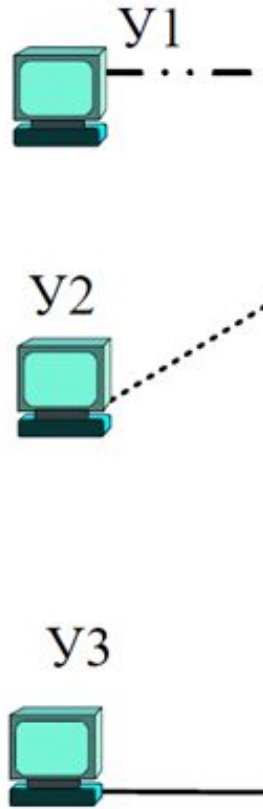


# КАНАЛЫ ПЕРЕДАЧИ



Канал Грибоедова

# КАНАЛЫ СВЯЗИ

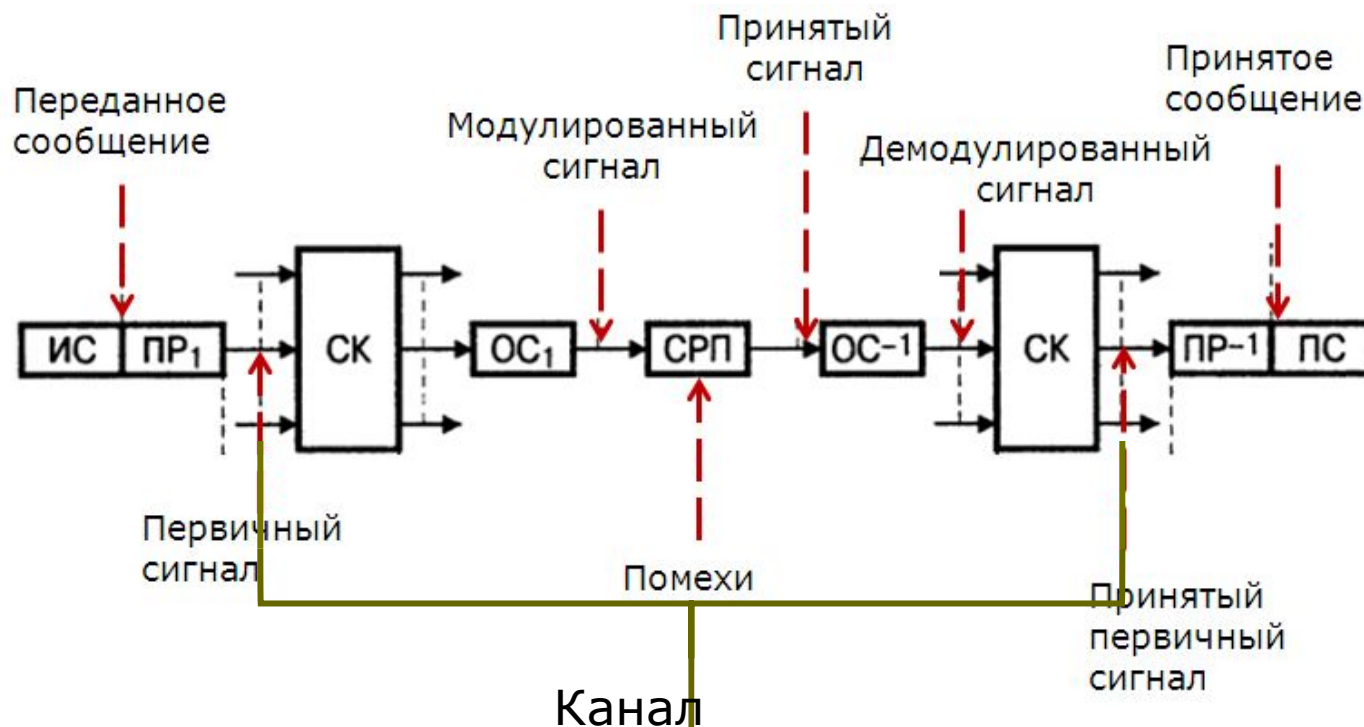


У - устройства

СК - станция коммутации, представляющая совокупность коммутационной и управляющей аппаратуры

# 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  $\Delta f_k$**  - 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.

# ПАРАМЕТРЫ КАНАЛОВ

---

## Защищенность канала:

$W_{\Pi}$  - мощность помехи в канале.

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

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

$W_{\text{ср}}$  - средняя мощность передаваемого по каналу сигнала.

# 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:  $V_K \geq V_C$

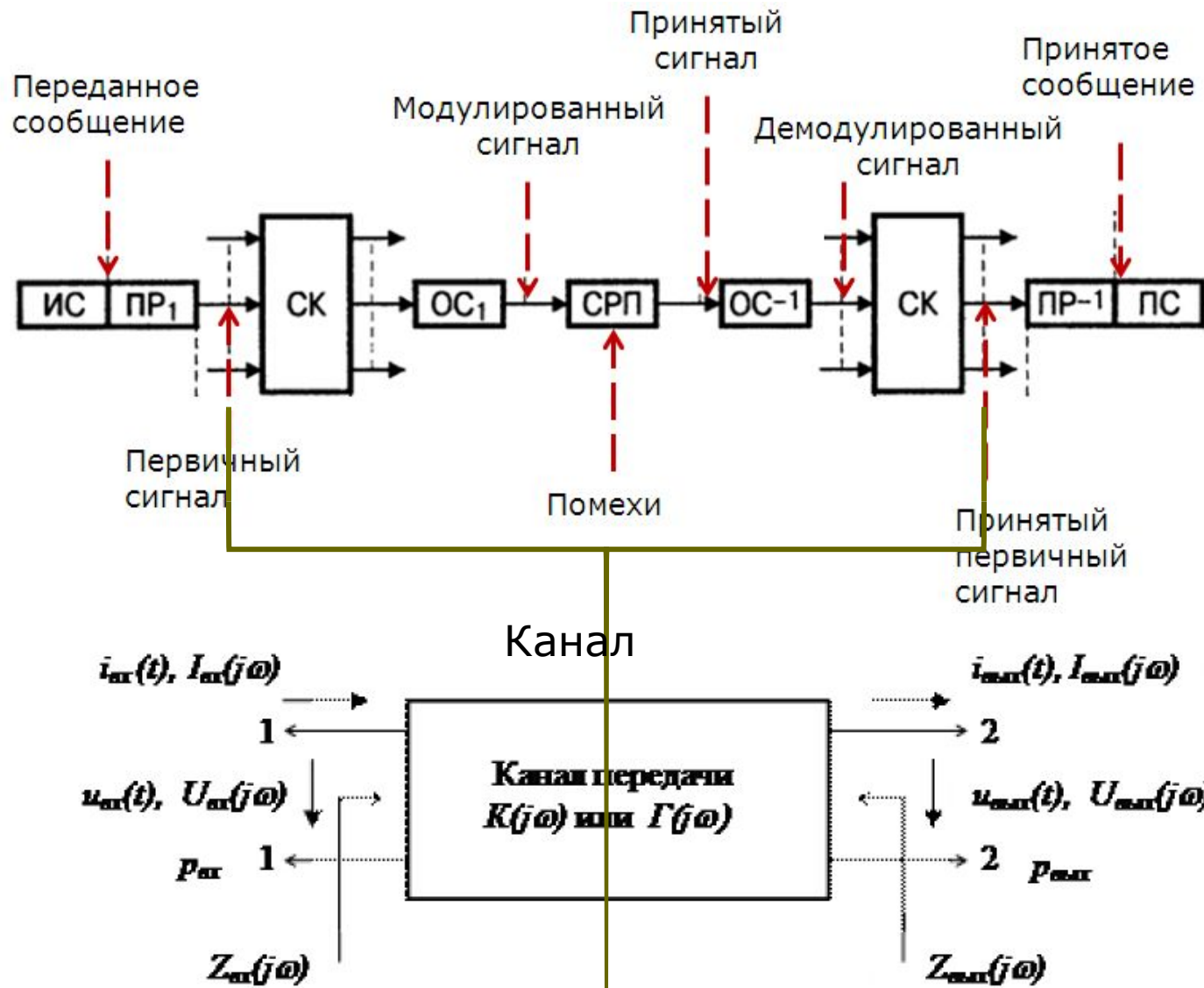
Пропускная способность канала (максимальная скорость передачи информации по каналу связи в единицу времени):

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

$W_{\text{cp}}$  - 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  $\Delta A_R$
- 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  $A_R$  - 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 усилений.

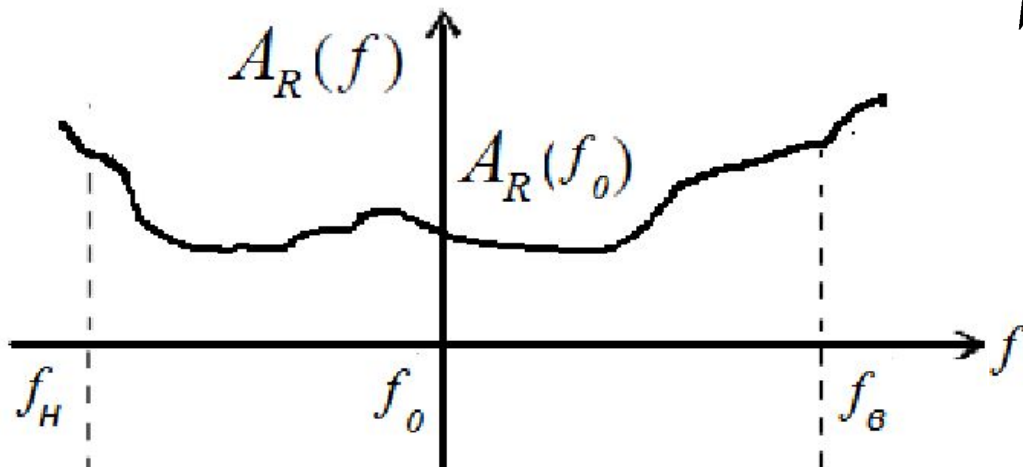
Остаточное затухание  $A_R(f_0)$  измеряется на определенной для каждого канала измерительной частоте  $f_0$

# ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

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

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

$$W_{\text{BX}}(f) = \text{const}; \quad A_R(f) = 10 \lg \frac{W_{\text{BX}}(f)}{W_{\text{ВЫХ}}(f)} = -10 \lg |H(f)|^2$$

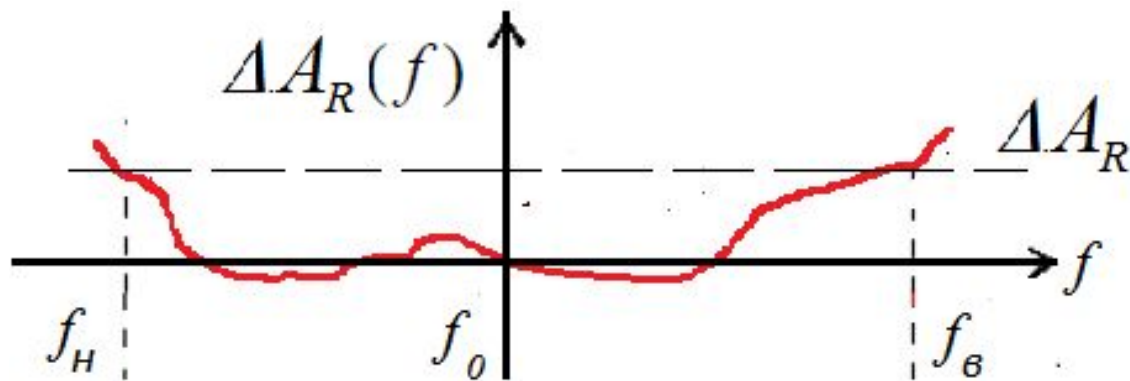


$f_0$  - измерительная частота, на которой определяется номинальное значение остаточного затухания;

# 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

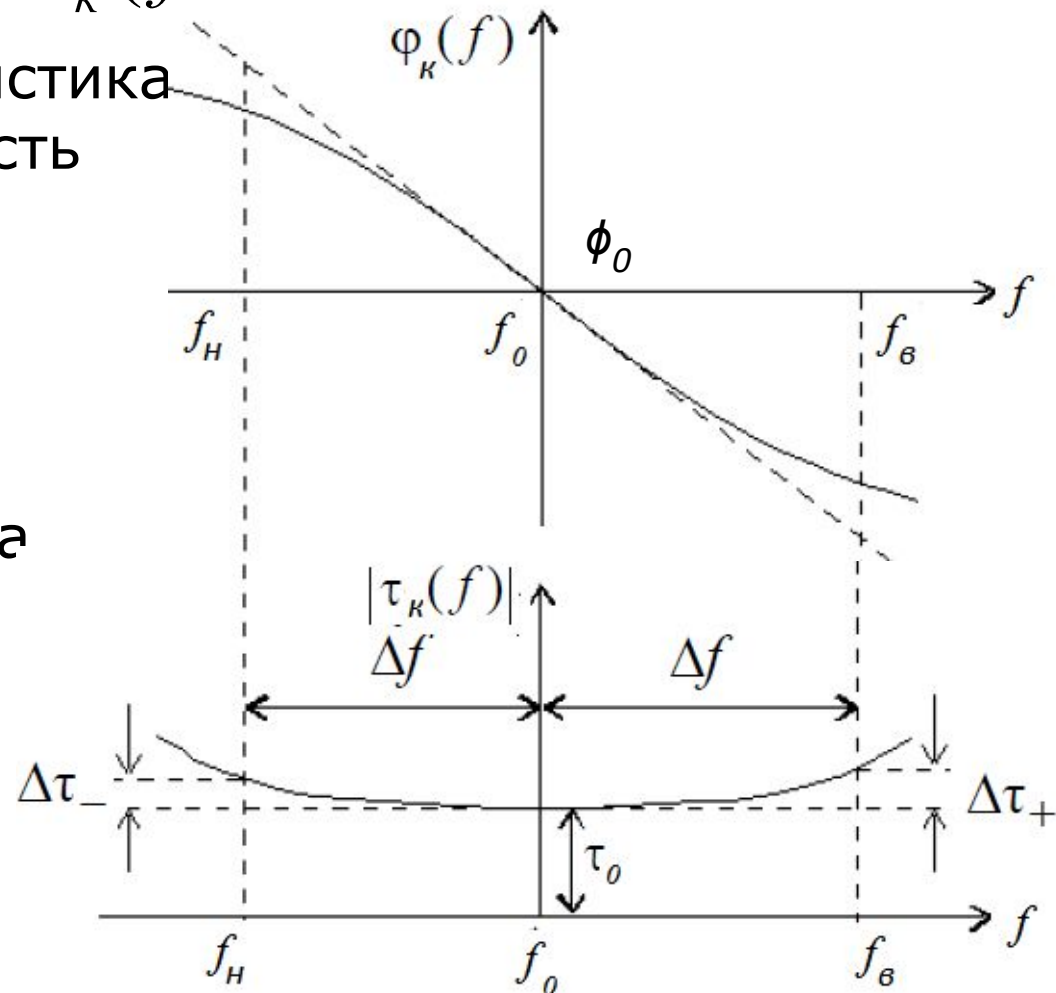
# ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

$$H_K(f) = H_K(f) e^{j\varphi_K(f)}$$

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

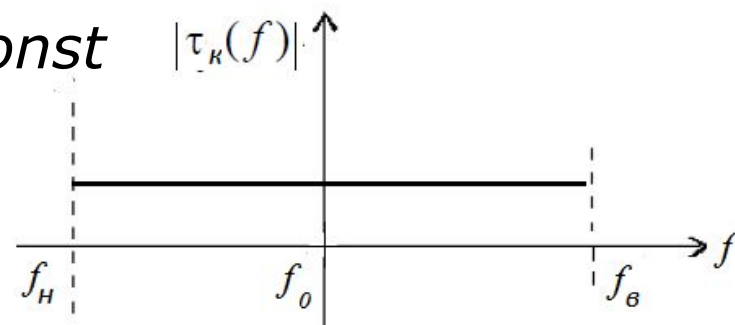
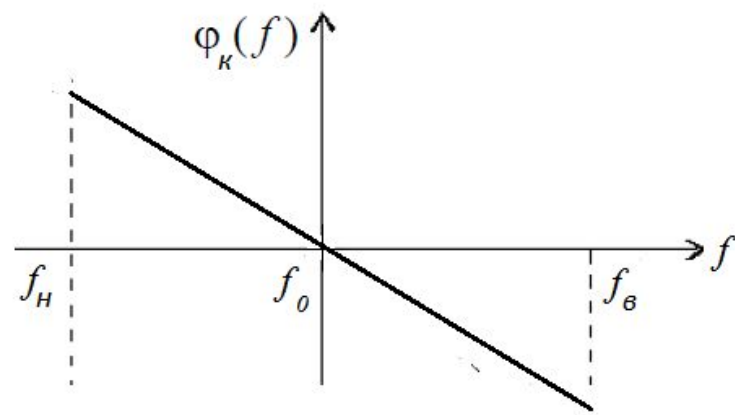
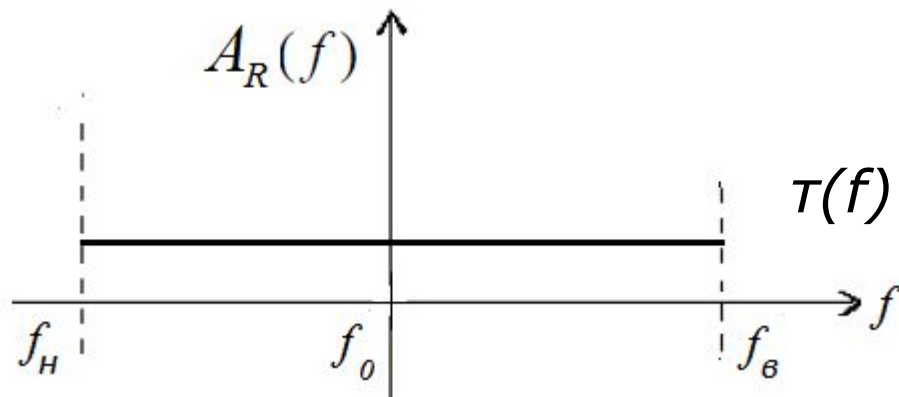
Линейные искажения характеризуют искажения формы и спектрального состава сигнала, прошедшего канал передачи.

Условия неискаженной передачи:

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

или

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



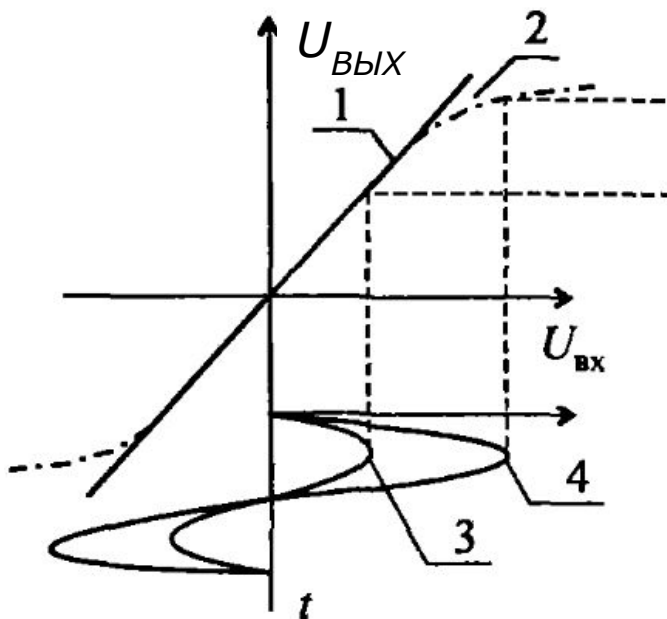
# АМПЛИТУДНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

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:

$$k_{НИ} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n U_i^2}}{U_{1г}}$$

затуханием нелинейности:  $A_H = -20 \lg k_{НИ}$

затухание нелинейности по гармоникам:

$$A_{НГ} = 20 \lg U_{1г} / U_{nг} = p_{1г} - p_{nг}$$

$p_{1г}$  - 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 аналоговых систем передачи;
- является базовым для передачи телефонных сигналов, а также для передачи сигналов радиовещания (РВ), телевизионного вещания (ТВ), 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)

# СТАНДАРТНЫЙ КАНАЛ ТОНАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ (КТЧ)

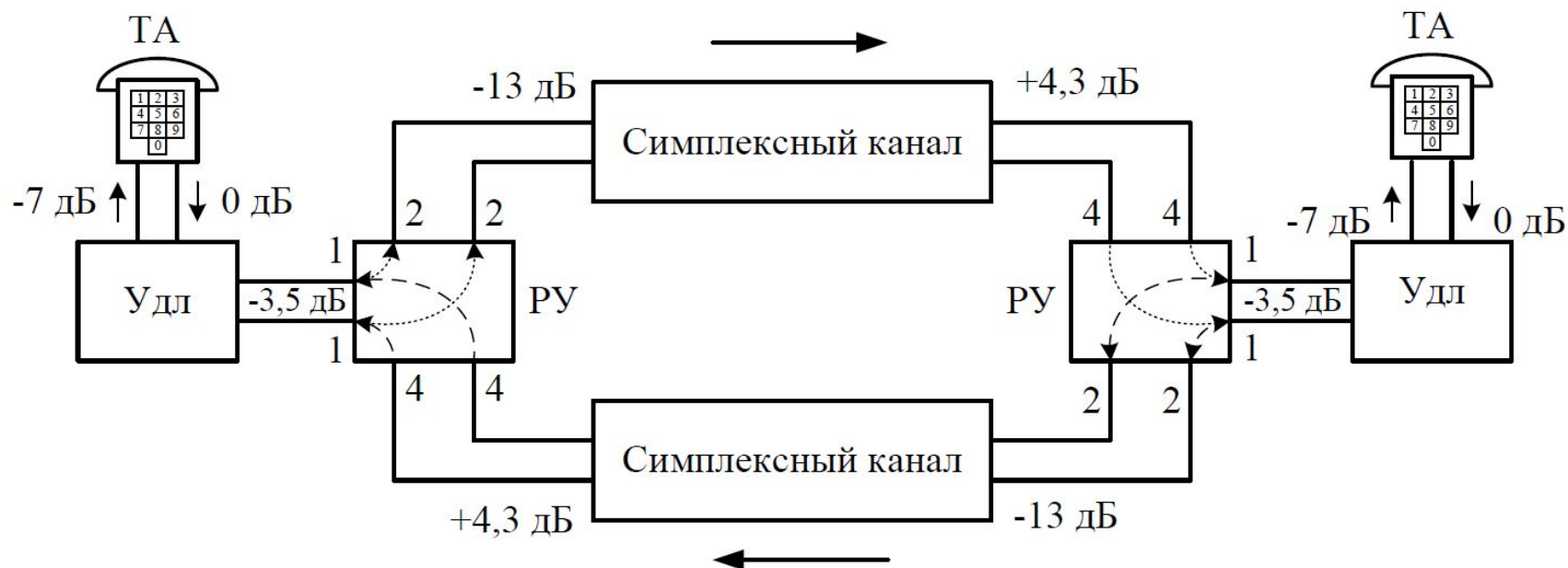
Основные характеристики:

измерительные уровни на входе и на выходе  
симплексного канала:

$$p_{\text{ВХ}} = -13 \text{ дБм}; \quad p_{\text{ВЫХ}} = +4,3 \text{ дБм}$$

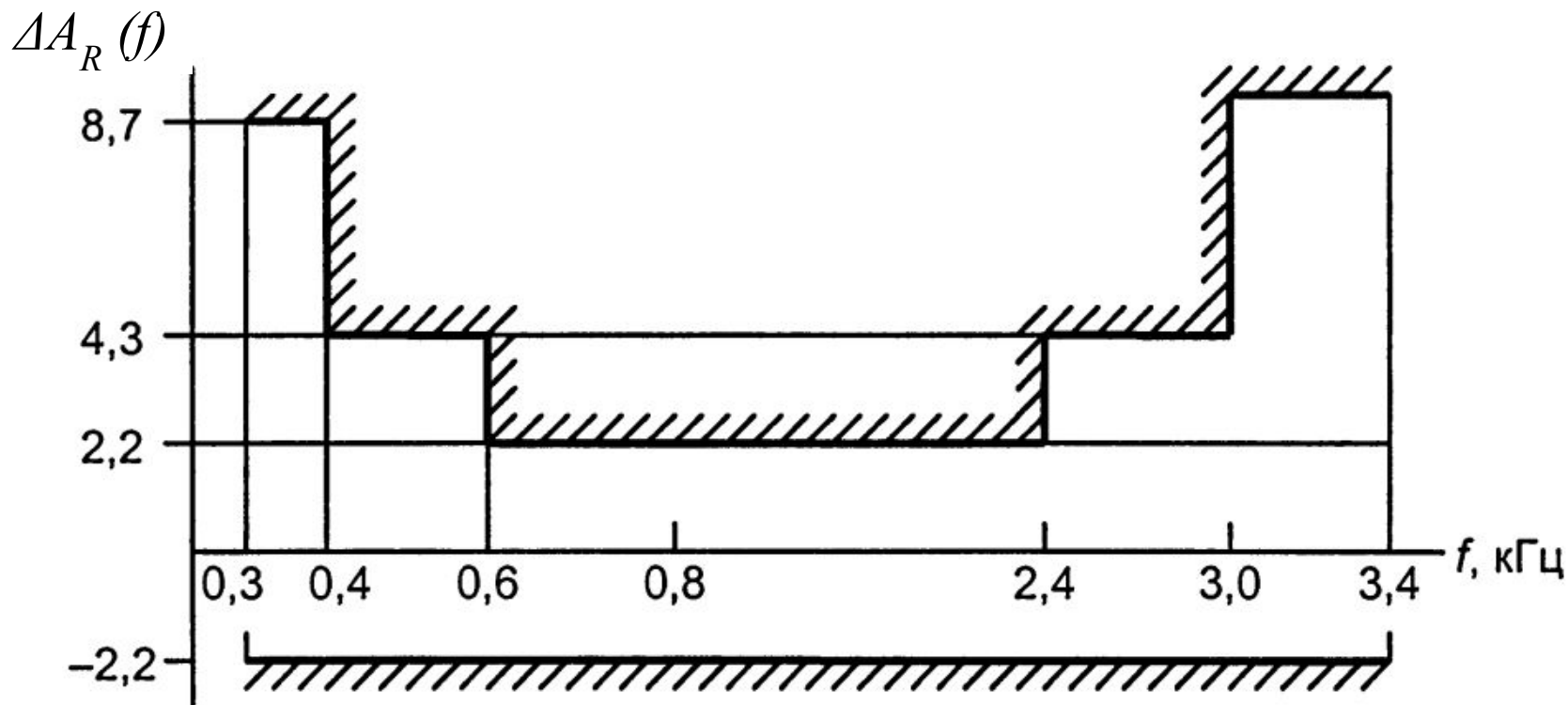
Номинальное остаточное затухание симплексного канала

$$A_{\text{R}} = p_{\text{ВХ}} - p_{\text{ВЫХ}} = -17,3 \text{ дБ}$$



# СТАНДАРТНЫЙ КАНАЛ ТОНАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ (КТЧ)

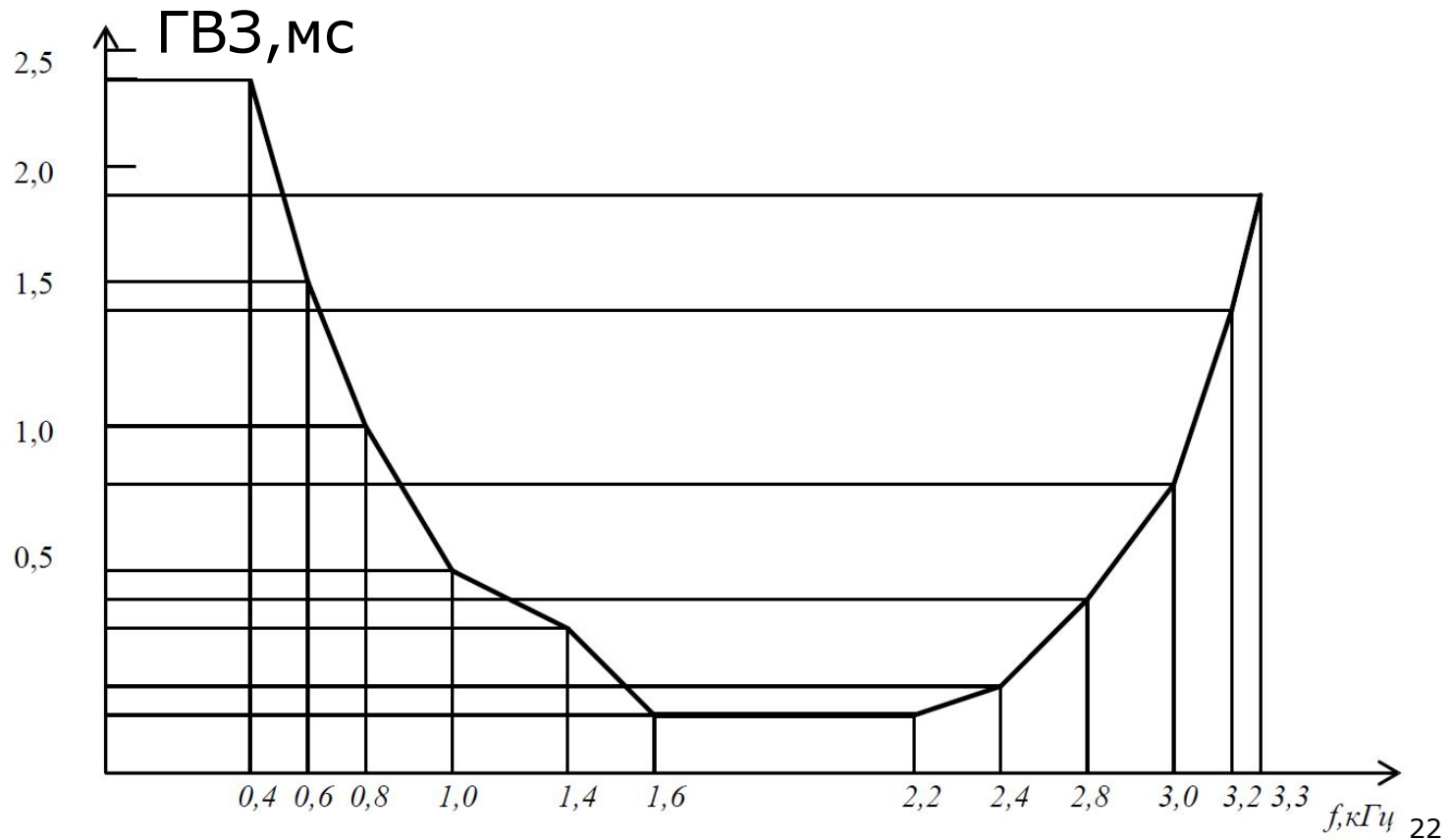
- частотная характеристика отклонений остаточного затухания  $\Delta A_R$  от номинального значения должна оставаться в пределах шаблона



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

$$I_K \approx 0.332 \Delta f_K A_{ЗК} = 0.332 \cdot 3100 \cdot 25 \approx 25000 \text{ бит / с}$$

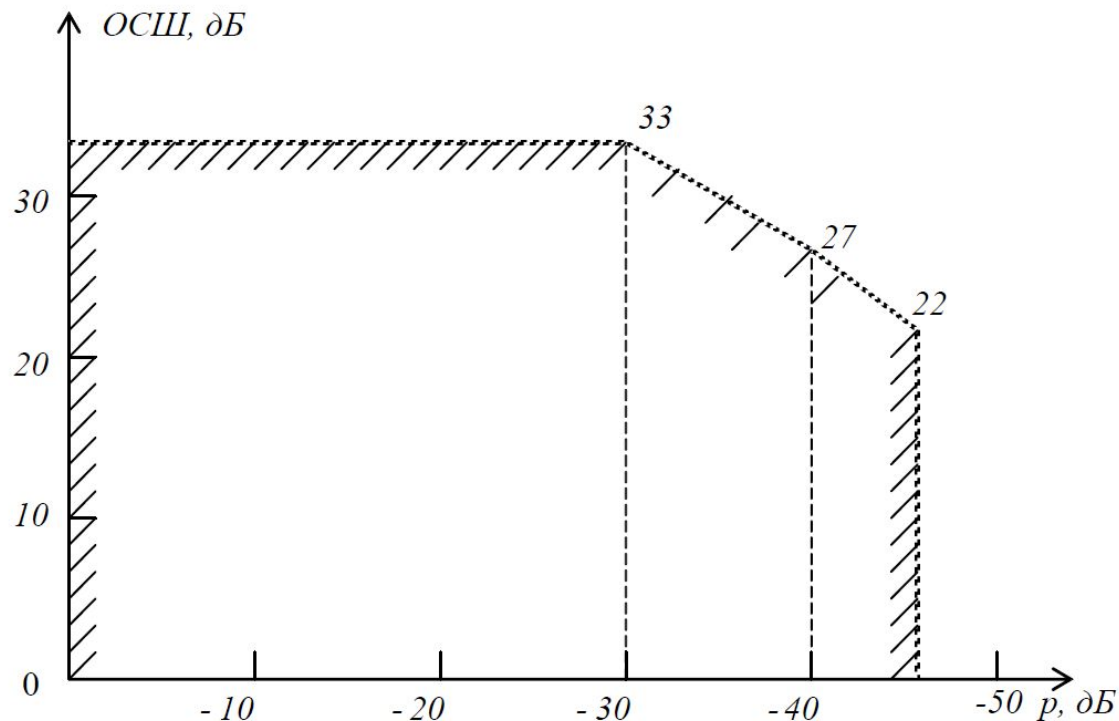
- согласование с ТС:  $I_{КС} > I$        $\Delta f_{КС} = \Delta f$

Канал ТЧ пригоден для передачи телефонного сигнала

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

Нормы для амплитудно-частотных и фазо-частотных искажений сигналов в цифровых каналах более жесткие, чем для КТЧ.

Зависимость ОСШ (защищенность) от уровня сигнала, определяющая требования к шумам квантования.





# 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 –  $V=12$  разрядов

Нелинейное квантование:

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

- кодовая комбинация –  $V=8$  разрядов

- скорость передачи цифрового потока одного канала

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

Используется как основной в плезиохронной цифровой иерархии.

# ДВУСТОРОННИЕ КАНАЛЫ



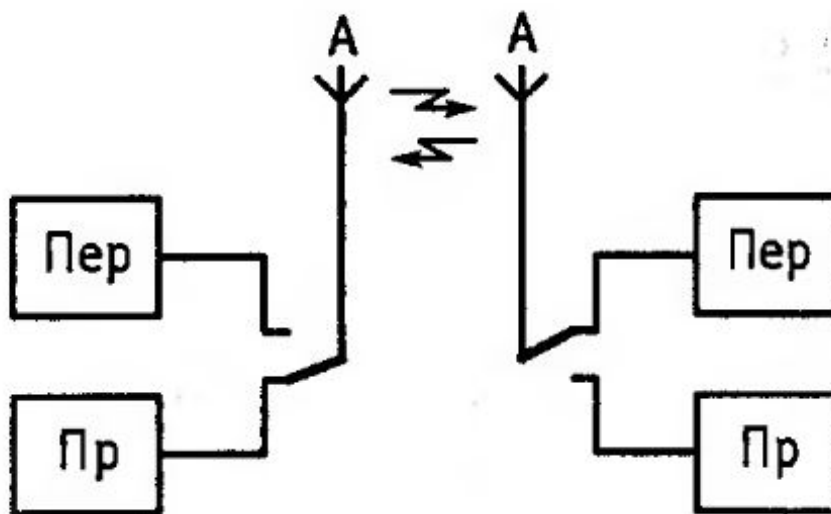
# ПОСТРОЕНИЕ ДВУСТОРОННИХ КАНАЛОВ

---

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

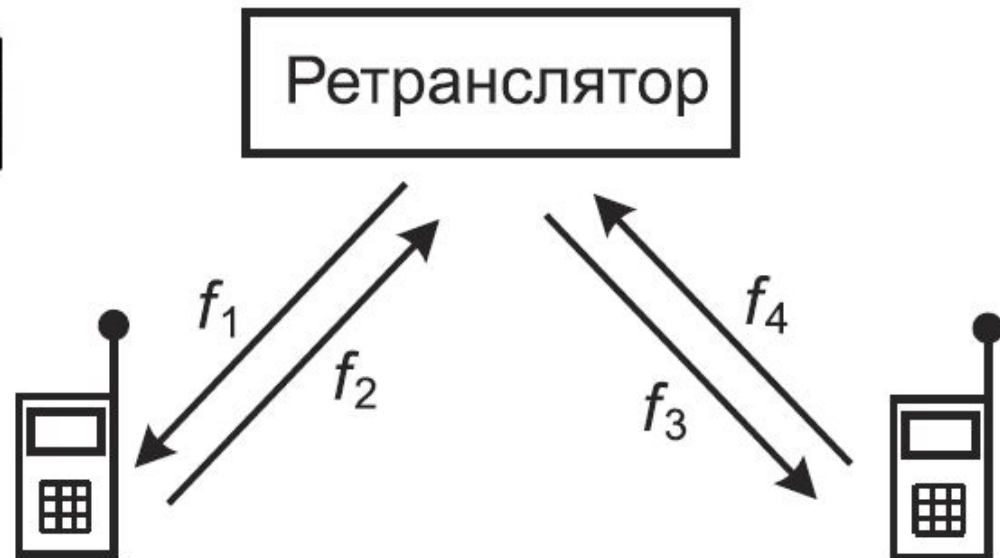
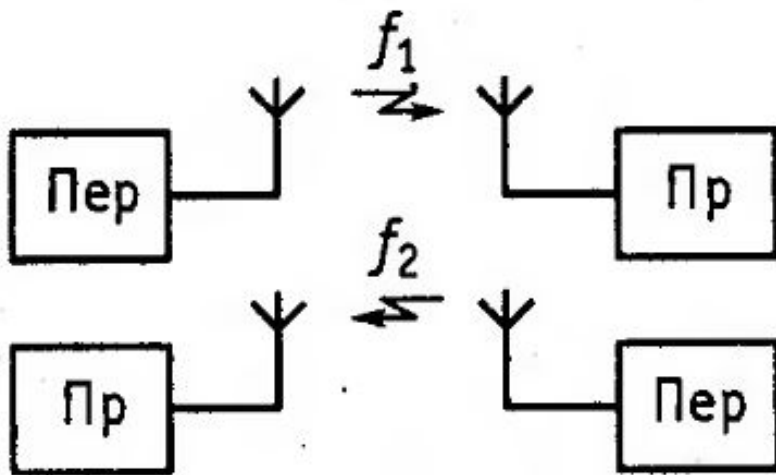
**Двусторонний канал** - канал, по которому передача данных осуществляется в обе стороны (обеспечивает передачу и прием).

**Симплексная связь** - передача и прием ведутся поочередно.



# ПОСТРОЕНИЕ ДВУСТОРОННИХ КАНАЛОВ

**Дуплексная связь** - передача осуществляется одновременно с приемом.

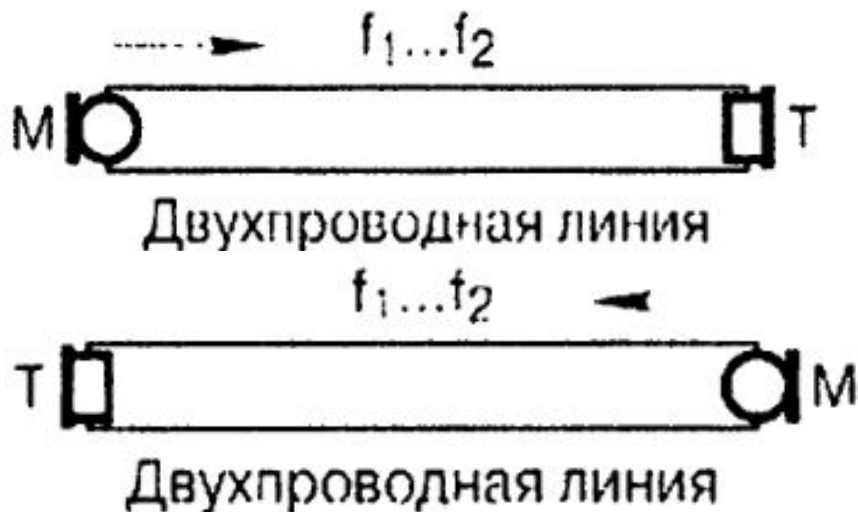


# ОДНОПОЛОСНАЯ ДВУСТОРОННЯЯ (ДУПЛЕКСНАЯ) СВЯЗЬ (историческая справка)

---

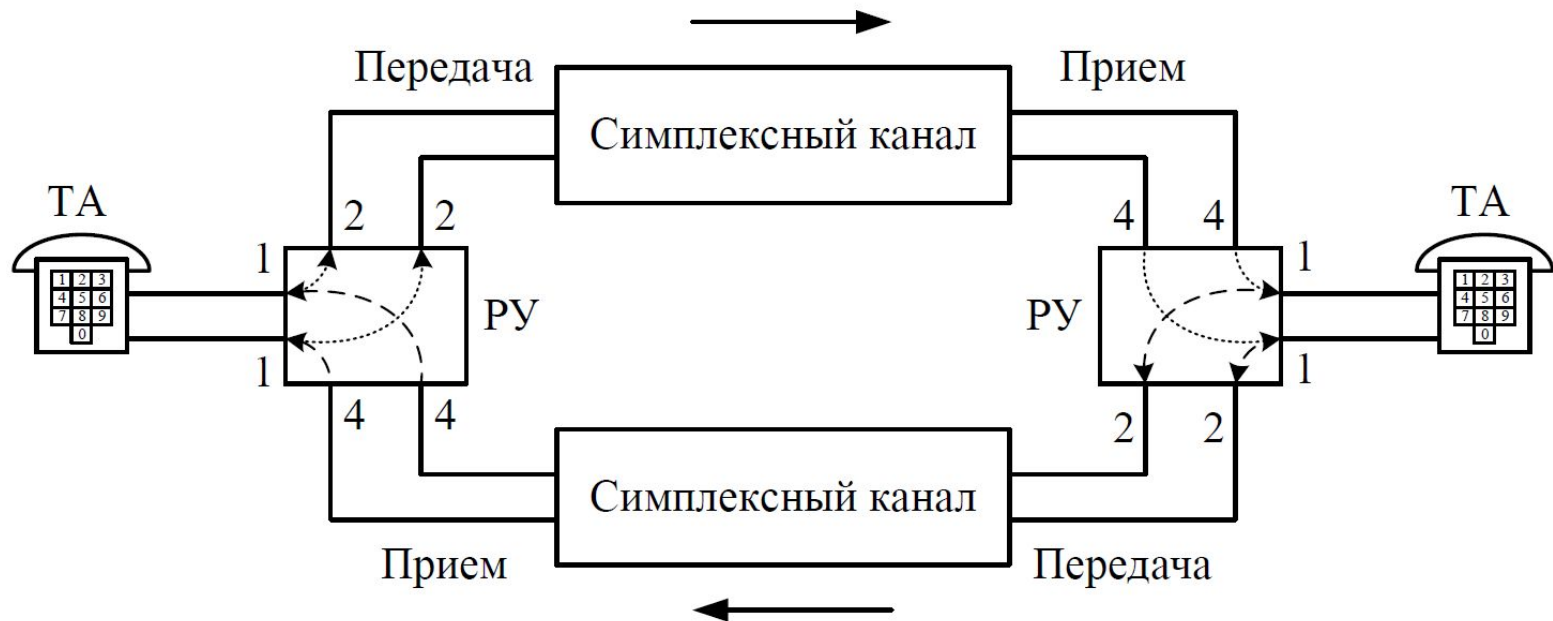
**Однополосная двусторонняя связь** - передача и прием ведутся в одной и той же полосе частот  $f_1 \dots f_2$

Однополосная четырехпроводная схема организации двусторонней телефонной связи



# ОДНОПОЛОСНАЯ ДУПЛЕКСНАЯ СВЯЗЬ

Однополосная двухпроводная схема организации двусторонней связи

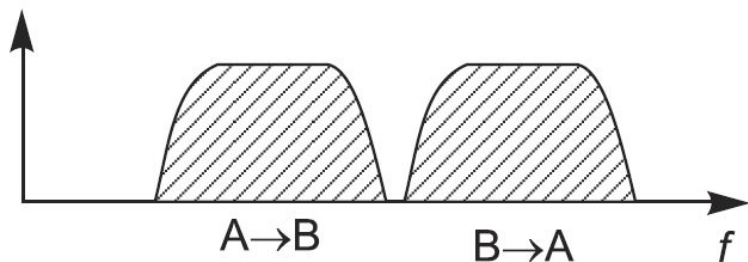


Дуплексный канал тональной частоты с двухпроводным окончанием

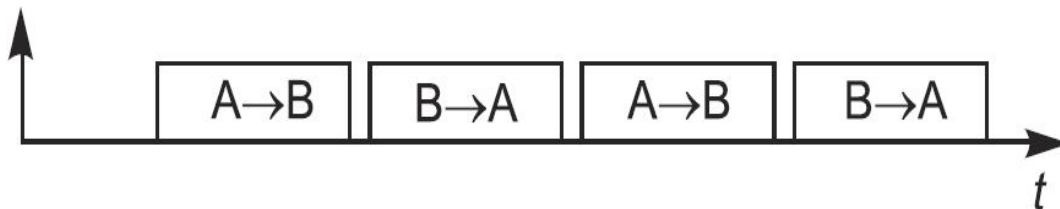
**Развязывающие устройства** предназначены для разделения направлений передачи

# 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

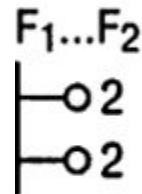
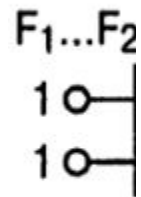


Time Division Duplex(TDD) - используется весь частотный диапазон канала для передачи данных в обоих направлениях. Пакеты данных в различных направлениях разнесены по времени



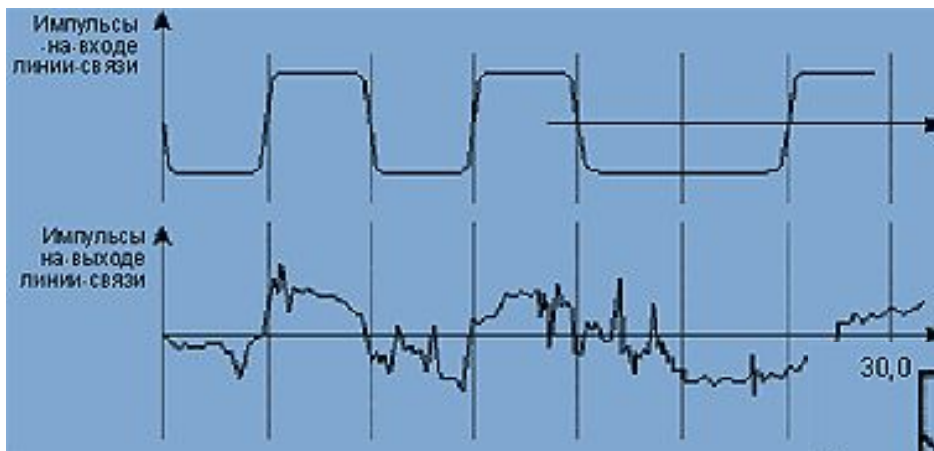
# РАЗВЯЗЫВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА (РУ) В ДУПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЕ ПЕРЕДАЧИ С ЧАСТОТНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ (FDD)

---





# 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

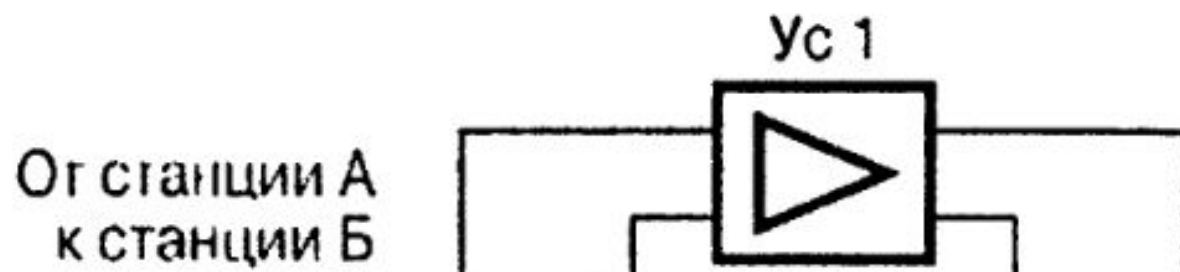
$a = 3$  дБ/км

$A_{пп} = 10 \lg (W_{пер} / W_{пр}) = 10 \lg (1/10^{-3}) = 30$  дБ.

$L = A_{пп} / a = 30 / 3 = 10$  км.

# СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ДВУСТОРОННЕГО УСИЛИТЕЛЯ ДЛЯ FDD

---

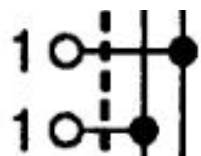


От станции Б  
к станции А

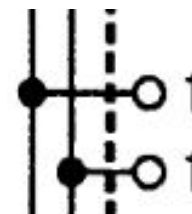
# СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ДВУСТОРОННЕГО УСИЛИТЕЛЯ ДЛЯ FDD

---

## Двухполосная связь



.



# ПРИМЕР. ДВУСТОРОННЯЯ СВЯЗЬ. КАНАЛ ТОНАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ

Канал двустороннего действия с четырехпроводным окончанием, состоящий из двух симплексных каналов



Канал двустороннего действия с двухпроводным окончанием

