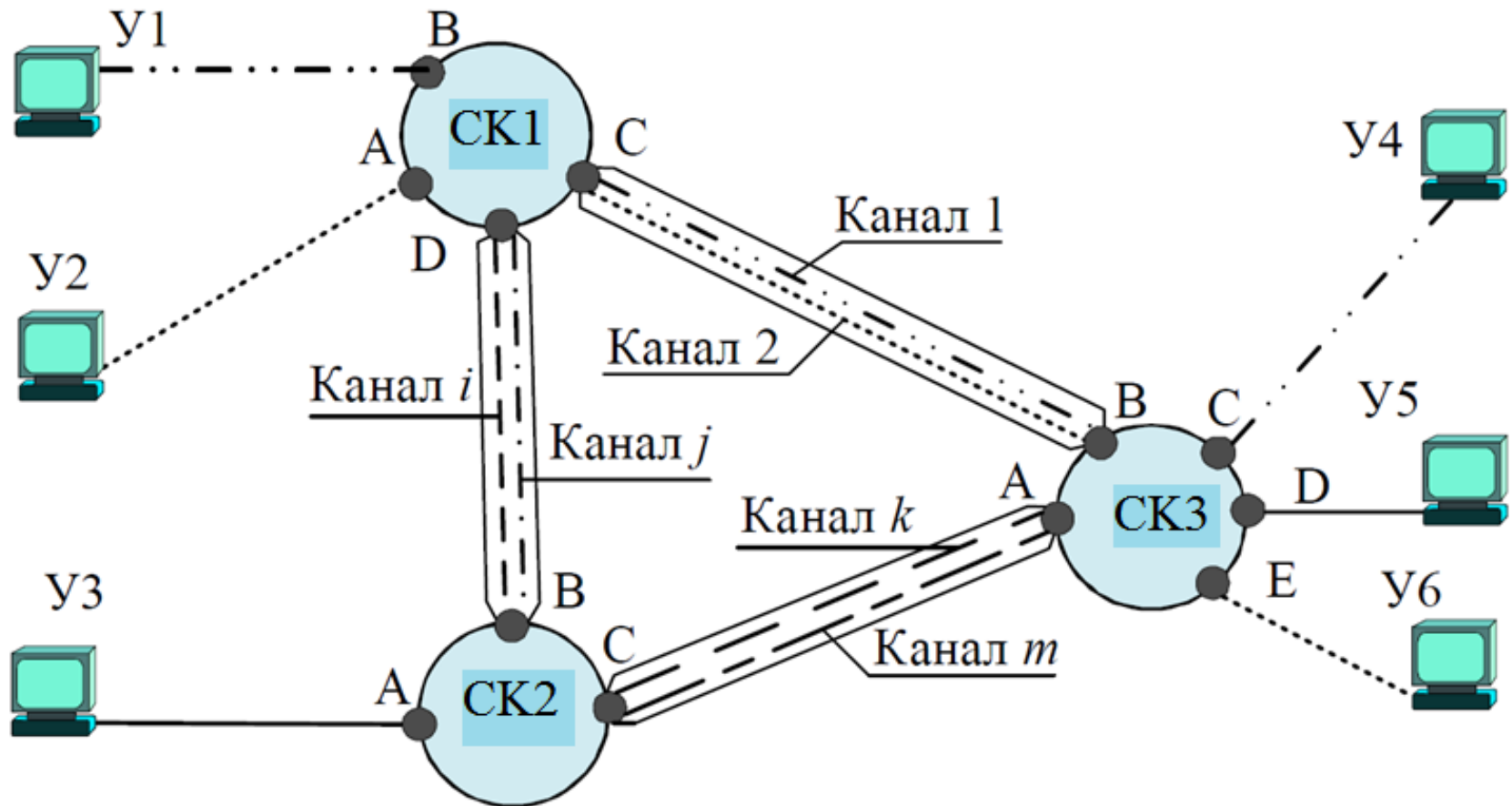


КАНАЛЫ ПЕРЕДАЧИ



Канал Грибоедова

КАНАЛЫ СВЯЗИ

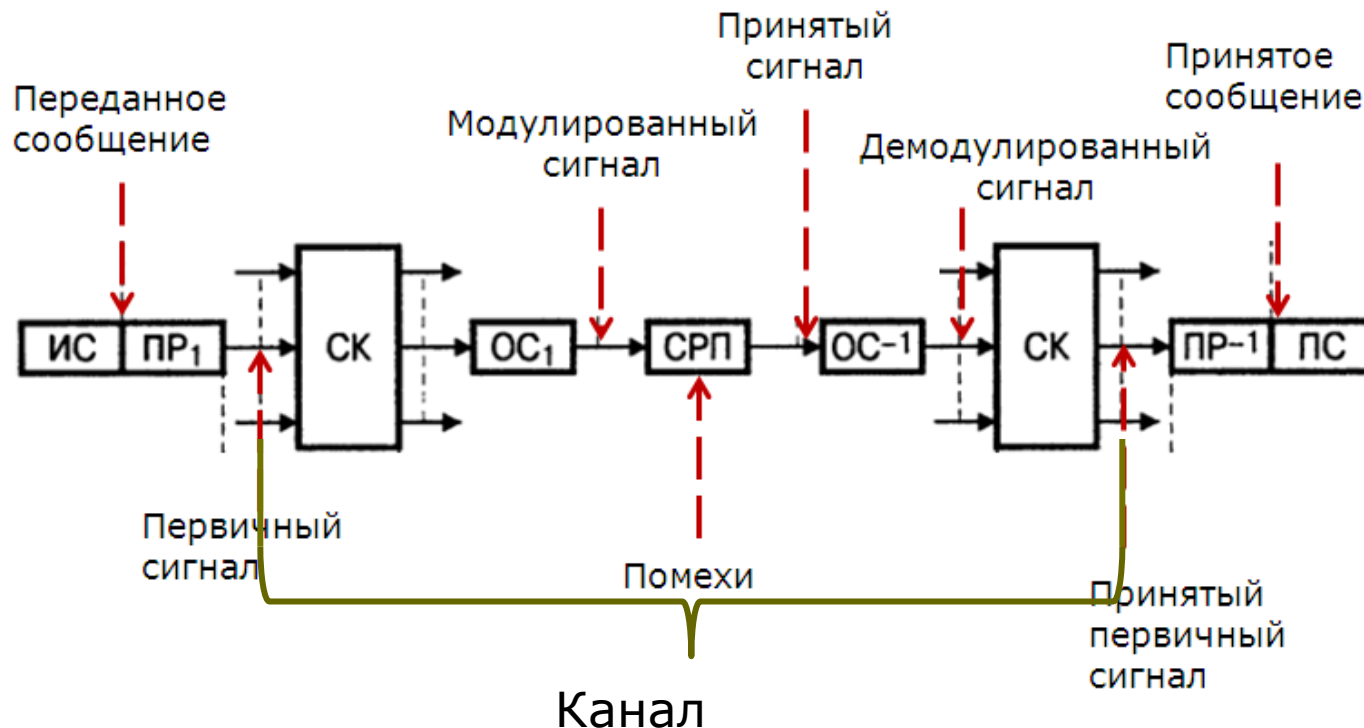


У - устройства

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 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

$$D_k = 10 \lg W_{k\max} / W_{k\min}$$

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

$W_{k\min}$ - минимальная мощность сигнала, при которой
обеспечивается необходимая защищенность от помех.

ПАРАМЕТРЫ КАНАЛОВ

Защищенность канала:

W_{Π} - мощность помехи в канале.

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

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

$W_{K,cp}$ - 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):

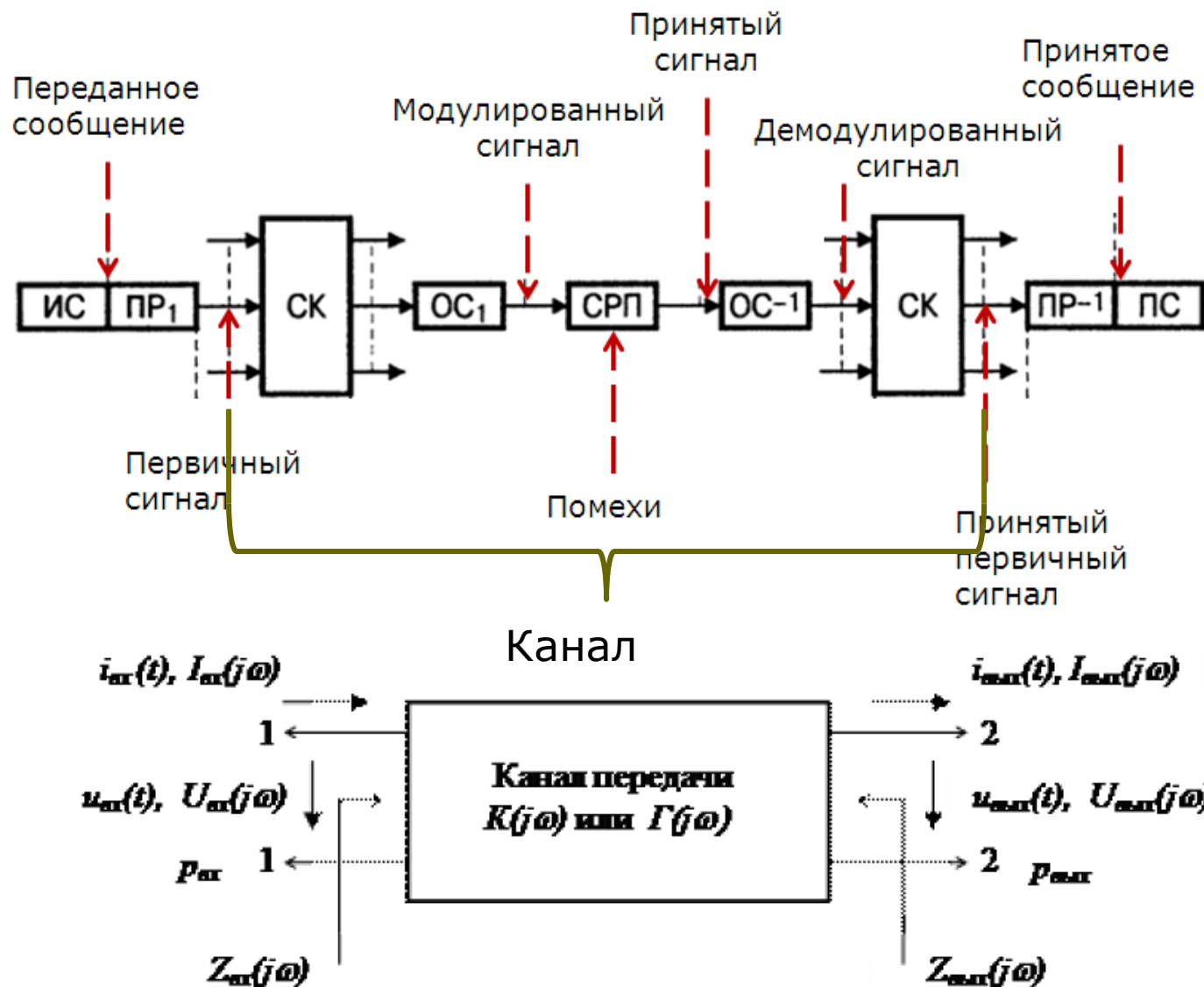
$$I_K = \Delta f_K \log_2 \left(1 + \frac{W_{cp}}{W_{\Pi}} \right), \text{ бит / с}$$

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

$$\frac{W_{cp}}{W_{\Pi}} \gg 1$$

$$I_K \approx 0.332 \Delta f_K A_{3K}; \text{ бит / с}$$

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)

$$A_{отр} = -20 \lg \delta_{отр} \text{ дБ}$$

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

Чем меньше отличие значения сопротивления от его номинального значения, тем больше затухание несогласованности.

То есть, большее затухание несогласованности соответствует лучшему согласованию цепи.

ОСТАТОЧНОЕ ЗАТУХАНИЕ

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

$$A_R = p_{BX} - p_{ВЫХ} = \sum_{i=1}^k A_i - \sum_{j=1}^l S_j$$

Остаточное затухание представляет собой алгебраическую сумму затуханий и усиления.

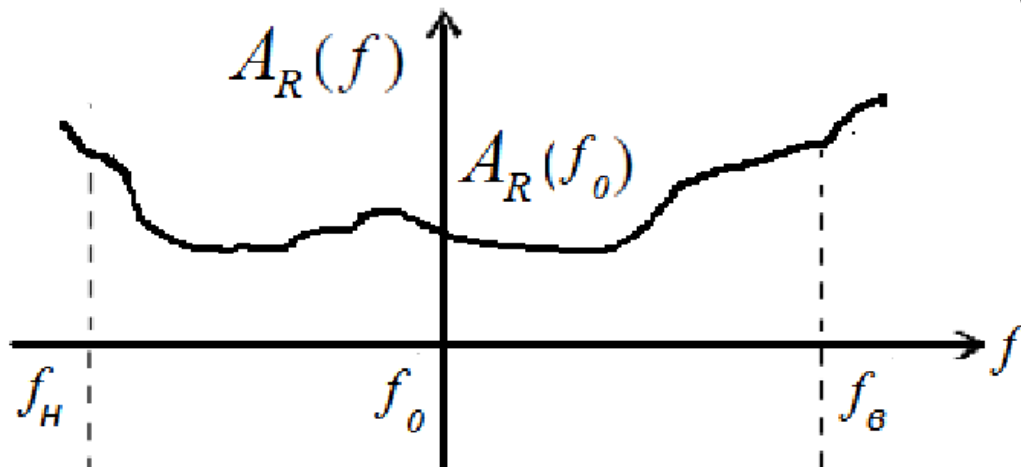
Остаточное затухание $A_R(f_0)$ измеряется на определенной для каждого канала измерительной частоте f_0

ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

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

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

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

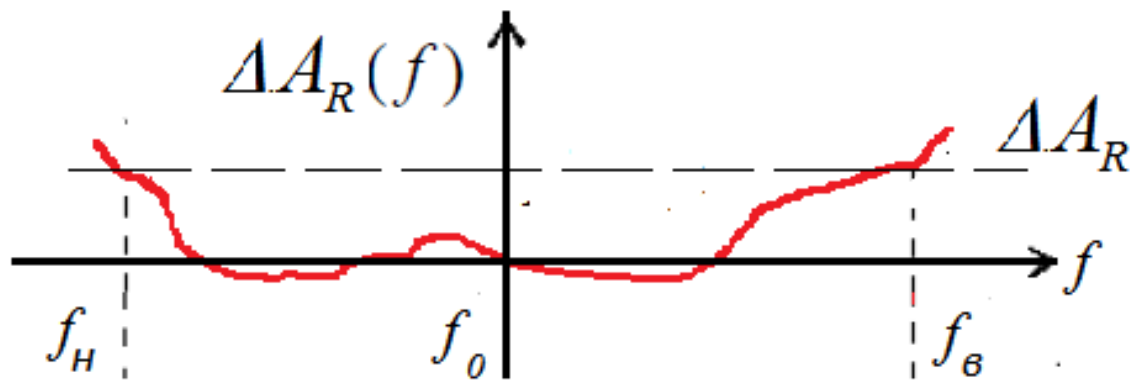


f_0 – измерительная частота, на которой определяется номинальное значение остаточного затухания;

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 ЭППЧ

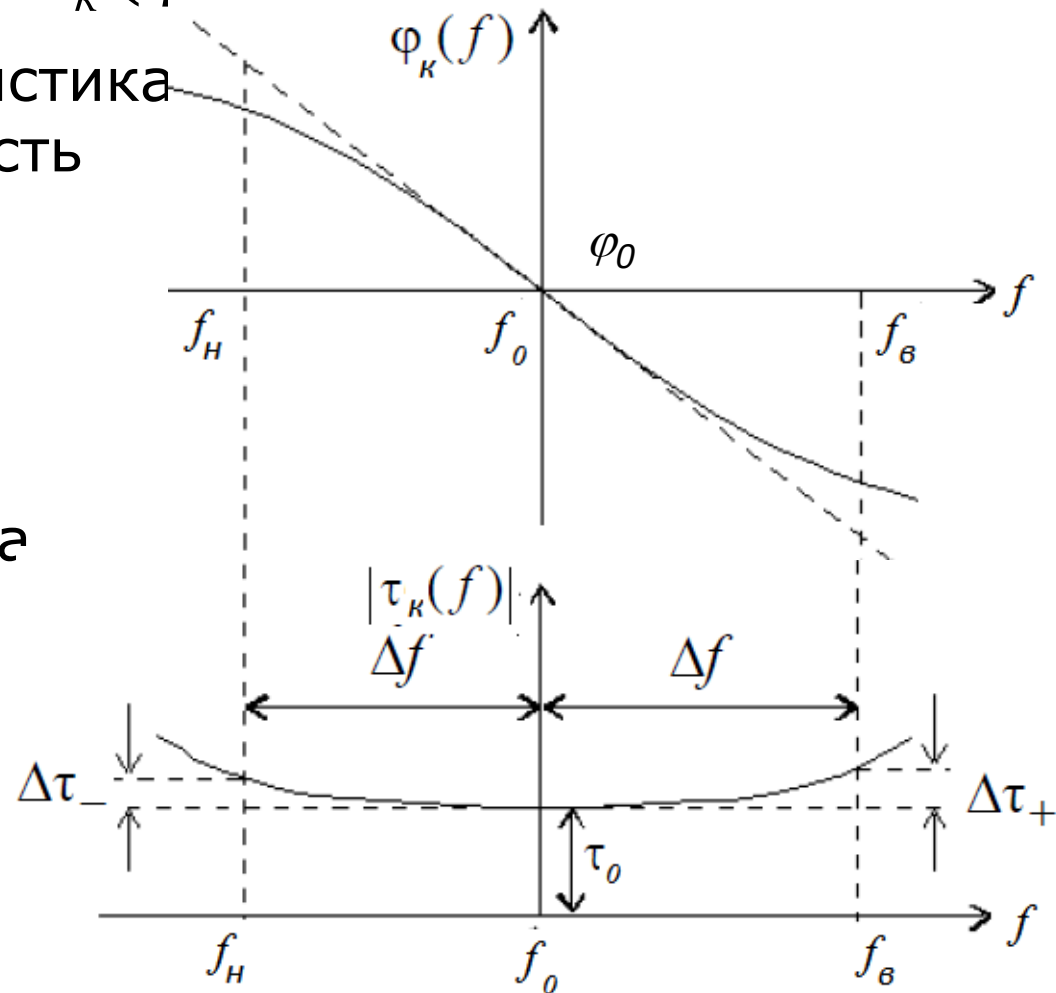
ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

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

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 в полосе частот канала :

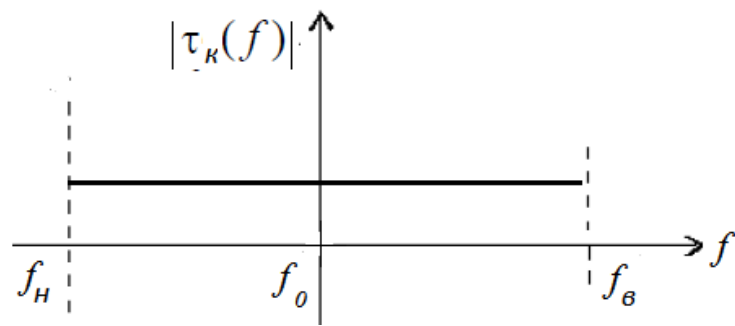
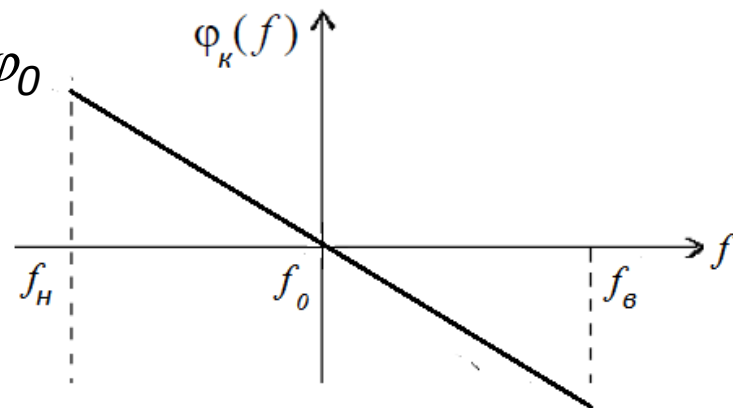
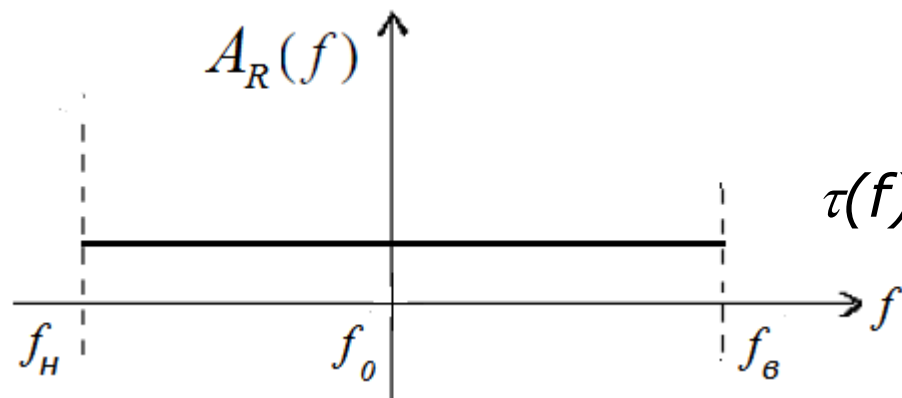
$$H_K(f) = H_0 = \text{const}$$

или

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

$$\varphi(f) = -2\pi f\tau + \varphi_0$$

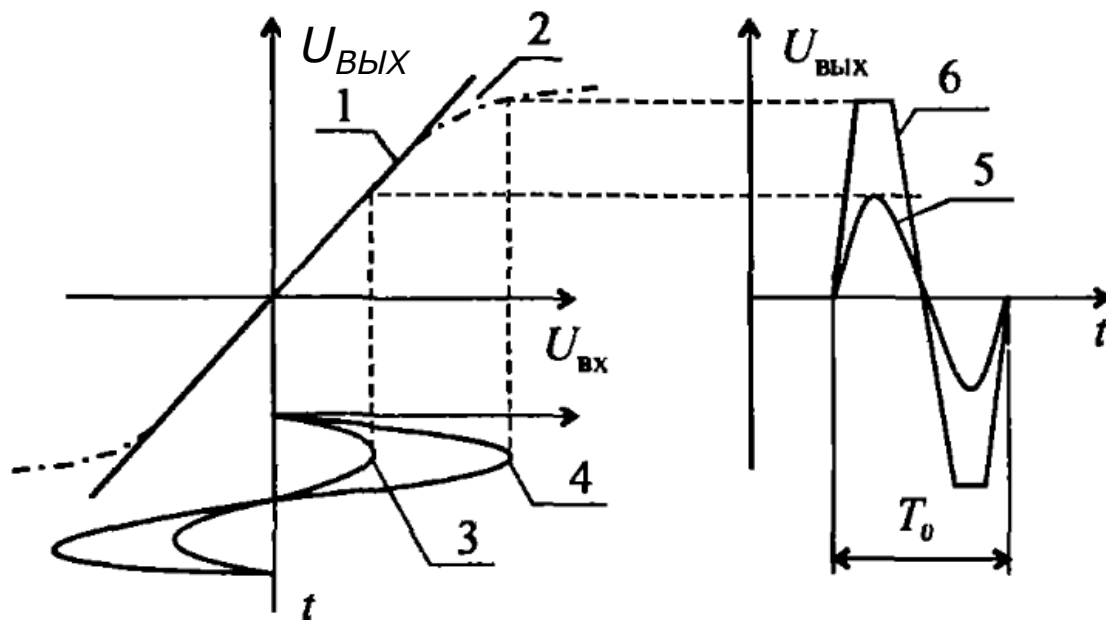
$$\tau(f) = \tau_0 = \text{const}$$



АМПЛИТУДНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

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

$$U_{\text{ВЫХ}} = \Psi_U(U_{\text{ВХ}}) \quad p_{\text{ВЫХ}} = \Psi_P(p_{\text{ВХ}}) \quad W_{\text{ВЫХ}} = \Psi_W(W_{\text{ВХ}})$$



АМПЛИТУДНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Величина нелинейных искажений в каналах оценивается коэффициентом нелинейных искажений:

$$k_{HI} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n U_{i2}^2}}{U_{12}}$$

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

затухание нелинейности по гармоникам:

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

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

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

КОЭФФИЦИЕНТ ОШИБКИ (ДЛЯ ЦИФРОВЫХ КАНАЛОВ)

$$K_{ош} = N_{ош}/N = N_{ош}/(CT)$$

$N_{ош}$ - 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)

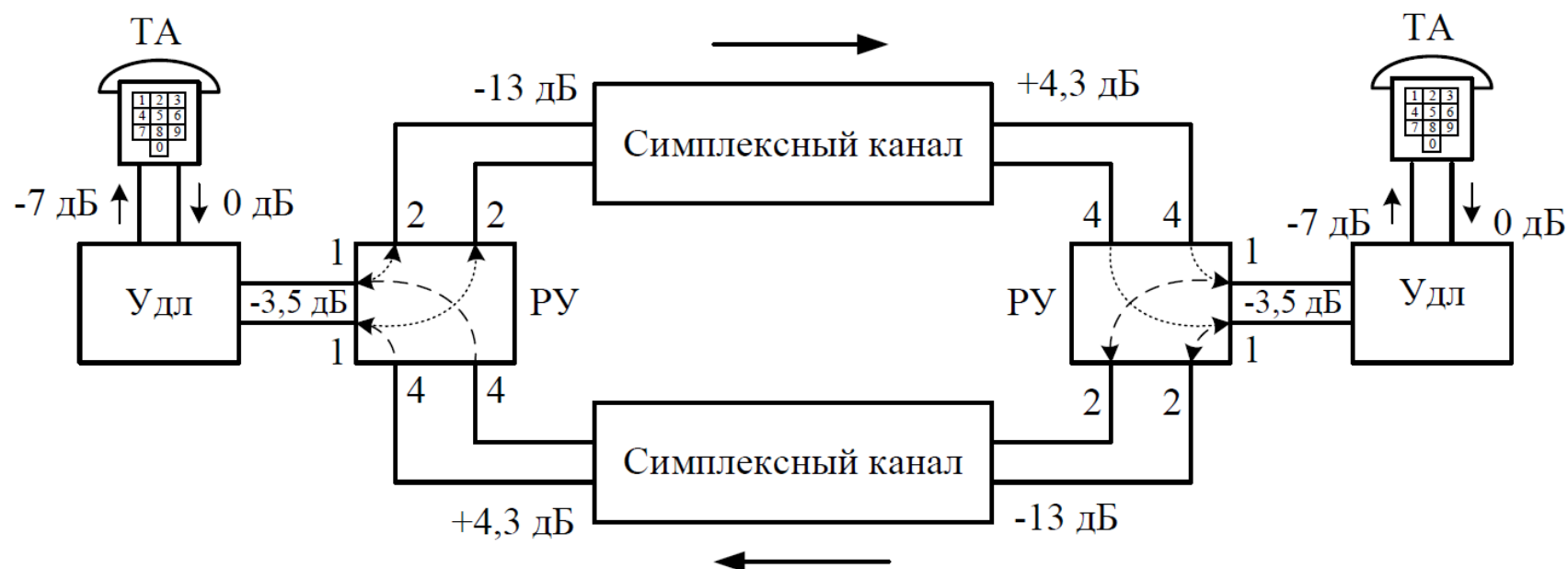
СТАНДАРТНЫЙ КАНАЛ ТОНАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ (КТЧ)

Основные характеристики:
измерительные уровни на входе и на выходе
симплексного канала:

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

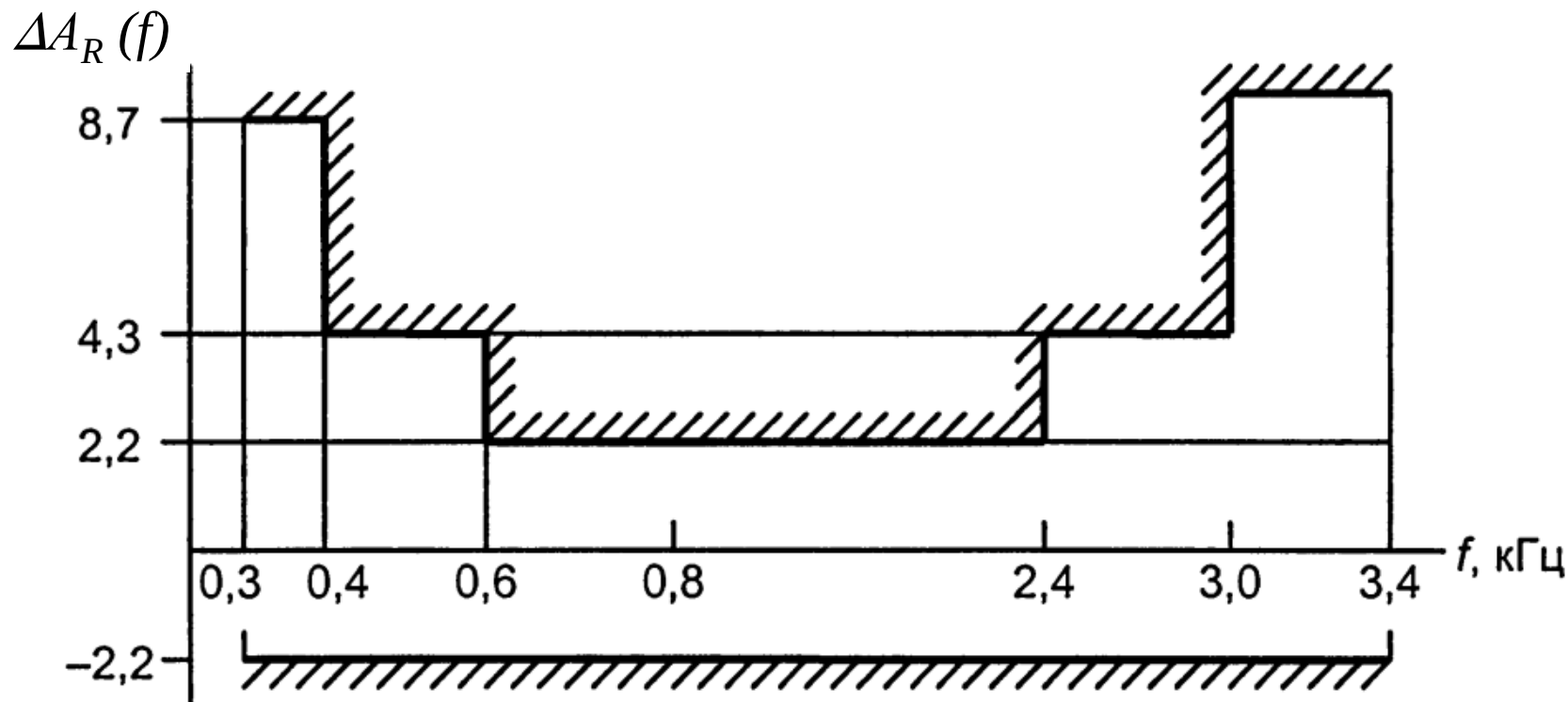
Номинальное остаточное затухание симплексного канала

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



СТАНДАРТНЫЙ КАНАЛ ТОНАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ (КТЧ)

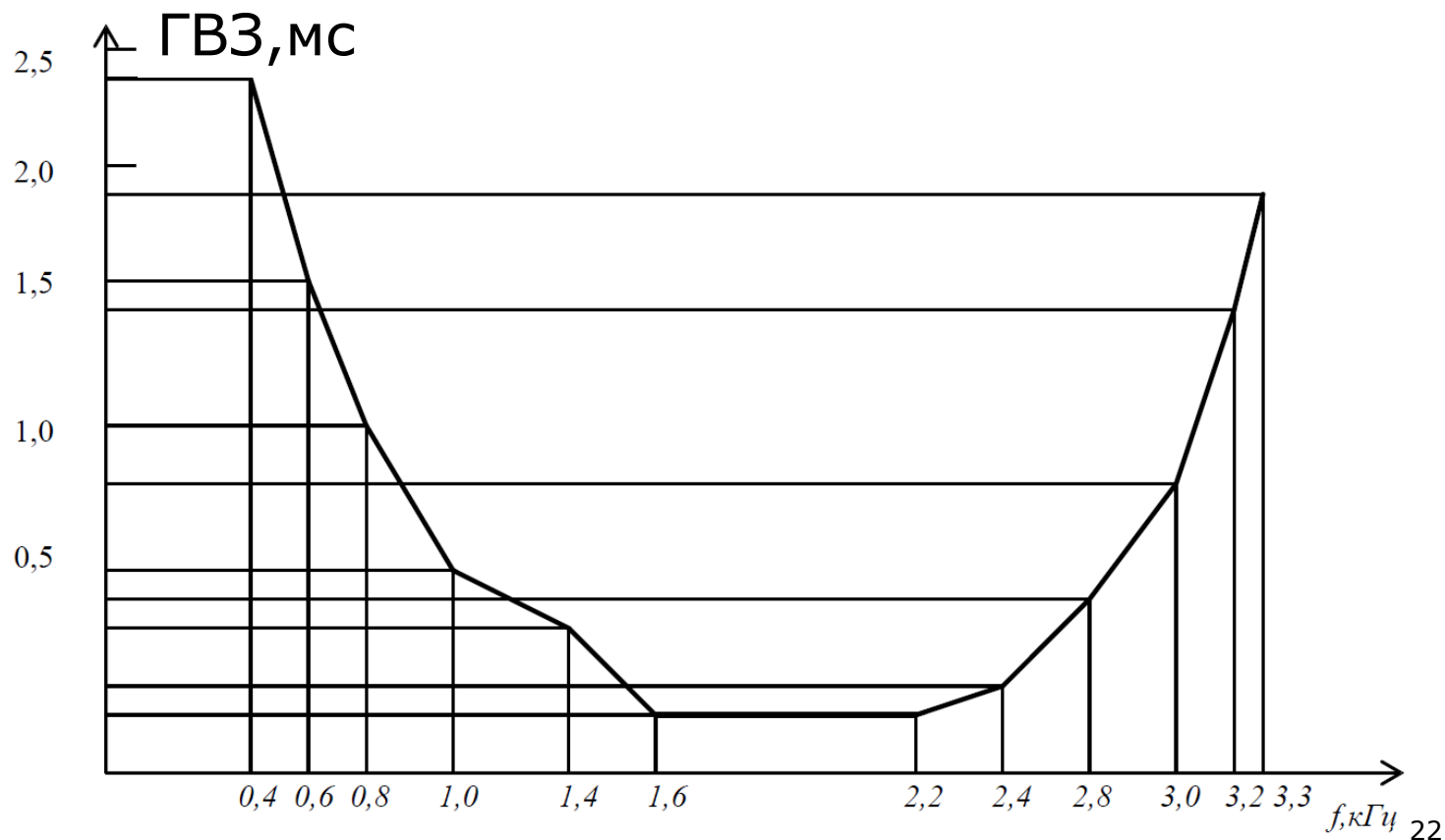
- частотная характеристика отклонений остаточного затухания ΔA_R от номинального значения должна оставаться в пределах шаблона



Шаблон допустимых отклонений остаточного затухания КТЧ

СТАНДАРТНЫЙ КАНАЛ ТОНАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ (КТЧ)

- частотная характеристика группового времени запаздывания (ГВЗ):



Допустимые отклонения ГВЗ КТЧ

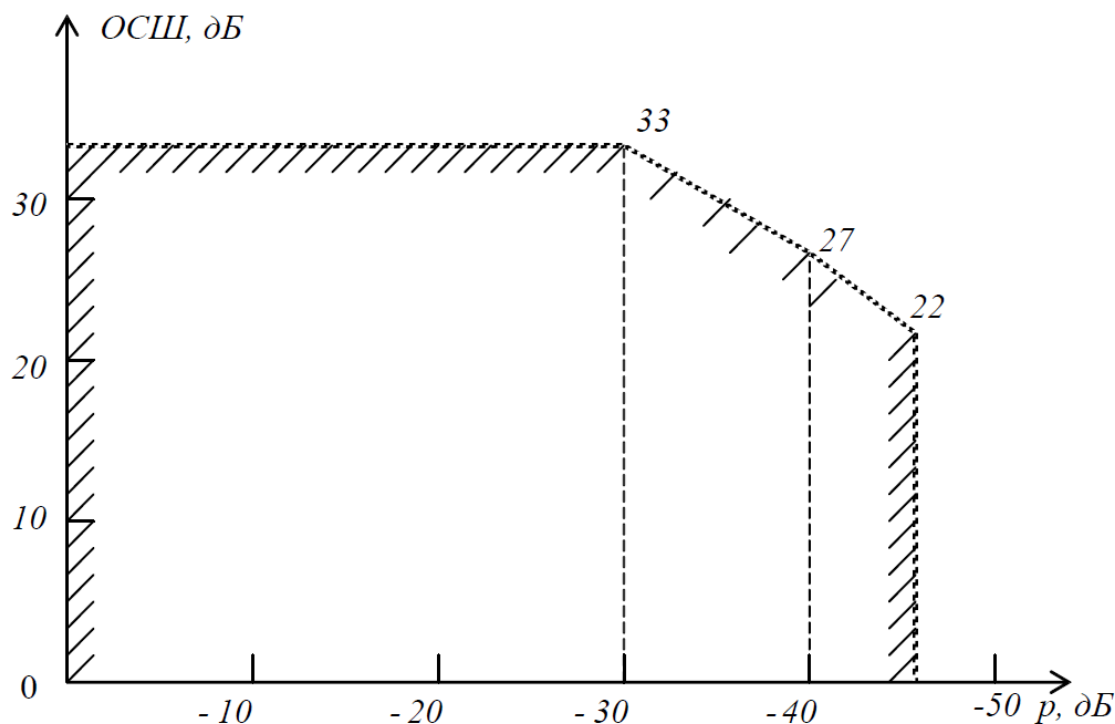
СТАНДАРТНЫЙ КАНАЛ ТОНАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ (КТЧ)

- входное и выходное сопротивление: $R_{BX(BYX)} = 600 \text{ Ом}$
- затухание несогласованности: $(\delta < 0.1)$
- коэффициент нелинейных искажений: $A_{\text{отп.вх}} = A_{\text{отп.вх}} < 20 \text{ дБ}$
1.5% (1% по 3-й гармонике)
- динамический диапазон: 30-35 дБ
- защищенность канала: $A_{3K} = 25 \text{ дБ}$
- пропускная способность канала
$$I_K \approx 0.332 \Delta f_K A_{3K} = 0.332 \cdot 3100 \cdot 25 \approx 25000 \text{ бит / с}$$
- согласование с ТС: $I_K > I_{TC} \quad \Delta f_K = \Delta f_{TC}$

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 – $B=12$ 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

$$C_k = f_d \times B = 8000 \times 8 = 64000 \text{ бит / с}$$

Используется как основной в плезиохронной цифровой иерархии.

ДВУСТОРОННИЕ КАНАЛЫ

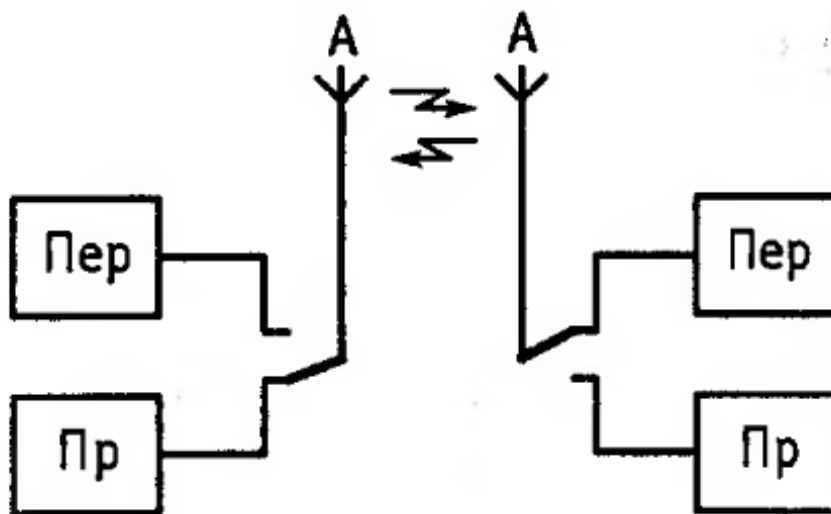


ПОСТРОЕНИЕ ДВУСТОРОННИХ КАНАЛОВ

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

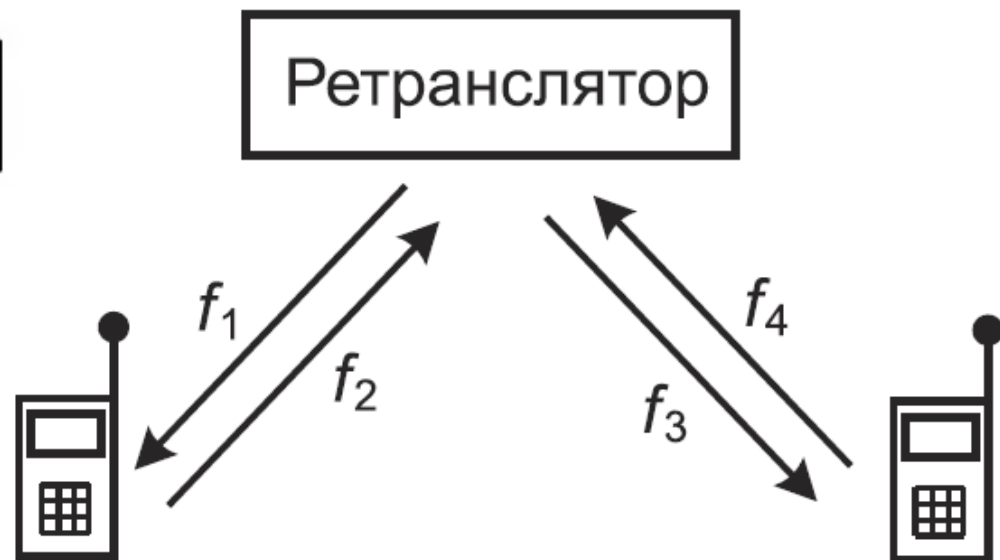
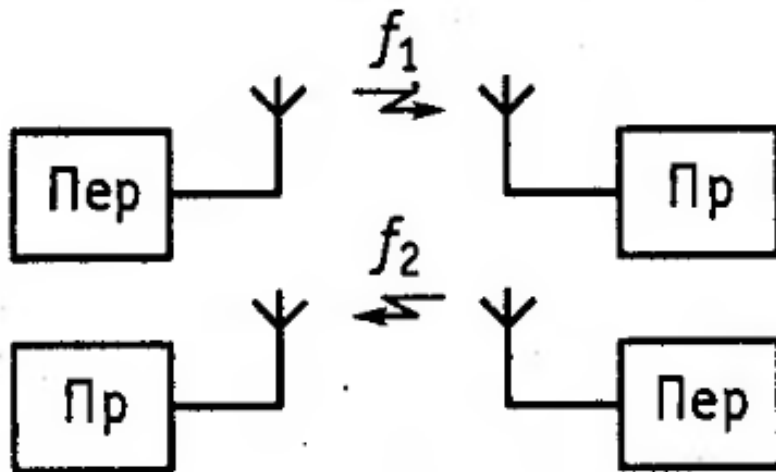
Двусторонний канал - канал, по которому передача данных осуществляется в обе стороны (обеспечивает передачу и прием).

Симплексная связь - передача и прием ведутся поочередно.



ПОСТРОЕНИЕ ДВУСТОРОННИХ КАНАЛОВ

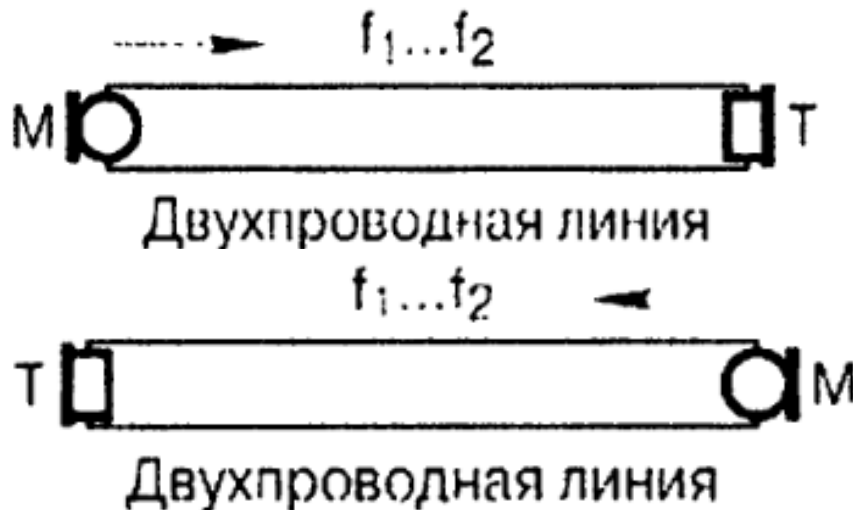
Дуплексная связь - передача осуществляется одновременно с приемом.



ОДНОПОЛОСНАЯ ДВУСТОРОННЯЯ (ДУПЛЕКСНАЯ) СВЯЗЬ (историческая справка)

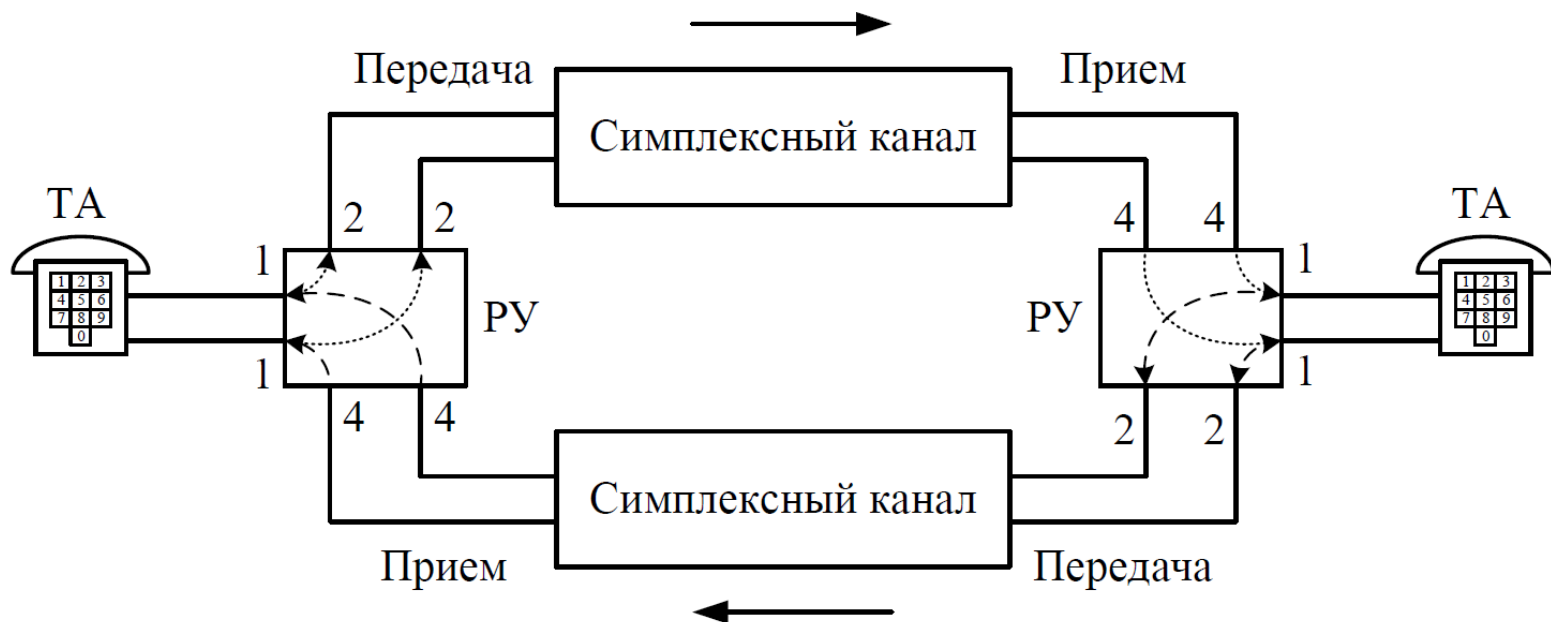
Однополосная двусторонняя связь - передача и прием ведутся в одной и той же полосе частот $f_1...f_2$

Однополосная четырехпроводная схема организации двусторонней телефонной связи



ОДНОПОЛОСНАЯ ДУПЛЕКСНАЯ СВЯЗЬ

Однополосная двухпроводная схема организации двусторонней связи

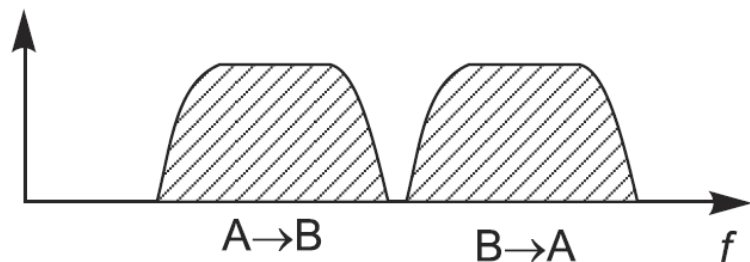


Дуплексный канал тональной частоты с двухпроводным окончанием

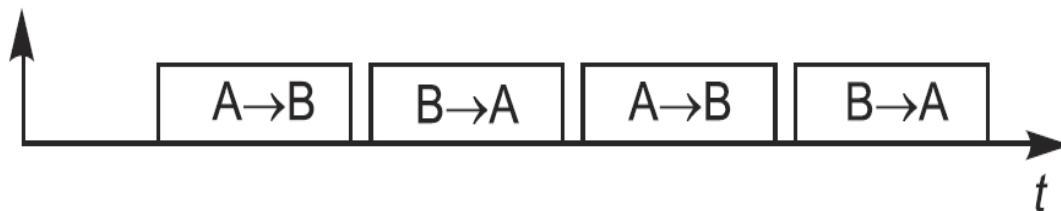
Развязывающие устройства предназначены для разделения направлений передачи

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

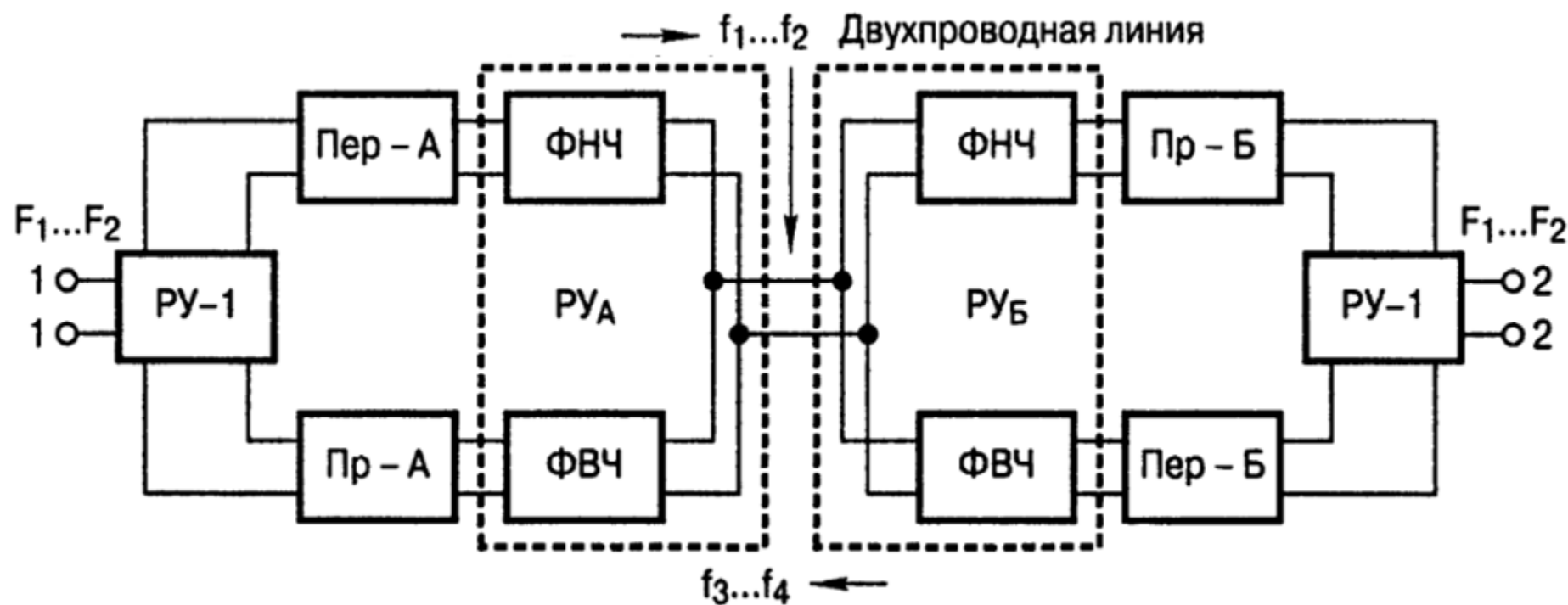
Frequency Division Duplex(FDD) - спектры различных направлений передачи данных не должны перекрываться. Деление выделенной полосы частот на два отдельных меньших по полосе канала



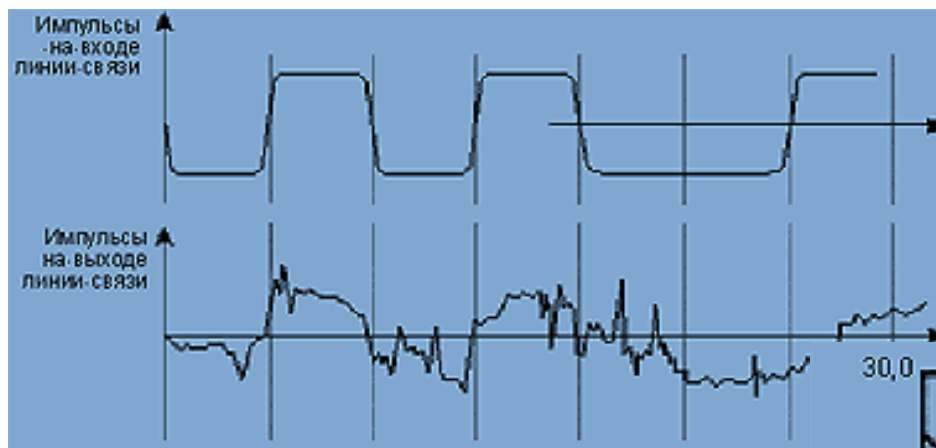
Time Division Duplex(TDD) - используется весь частотный диапазон канала для передачи данных в обоих направлениях. Пакеты данных в различных направлениях разнесены по времени



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

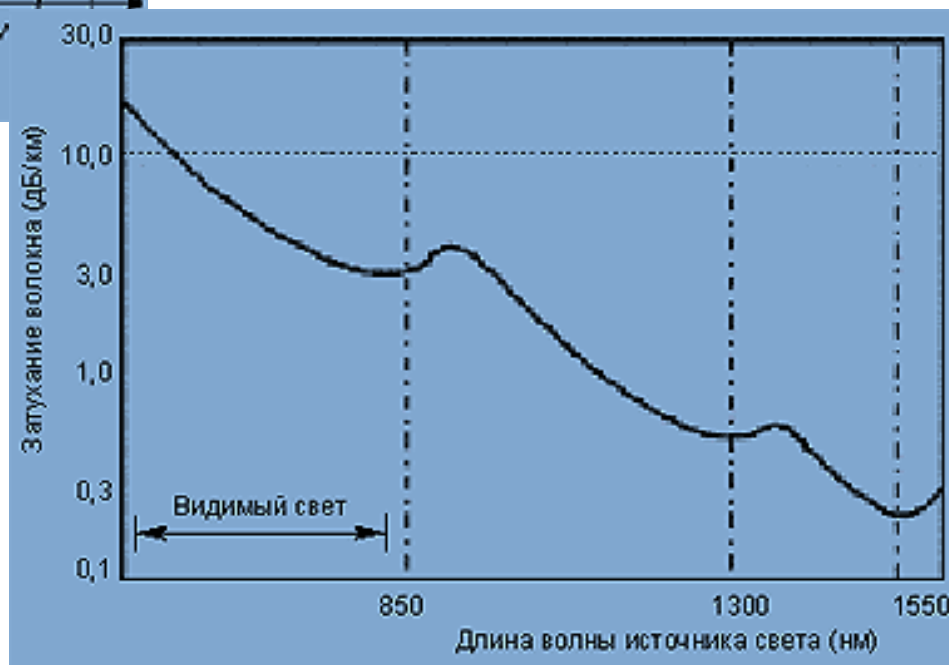


ДАЛЬНОСТЬ НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ СВЯЗИ



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

α дБ/км – коэффициент затухания линии

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

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

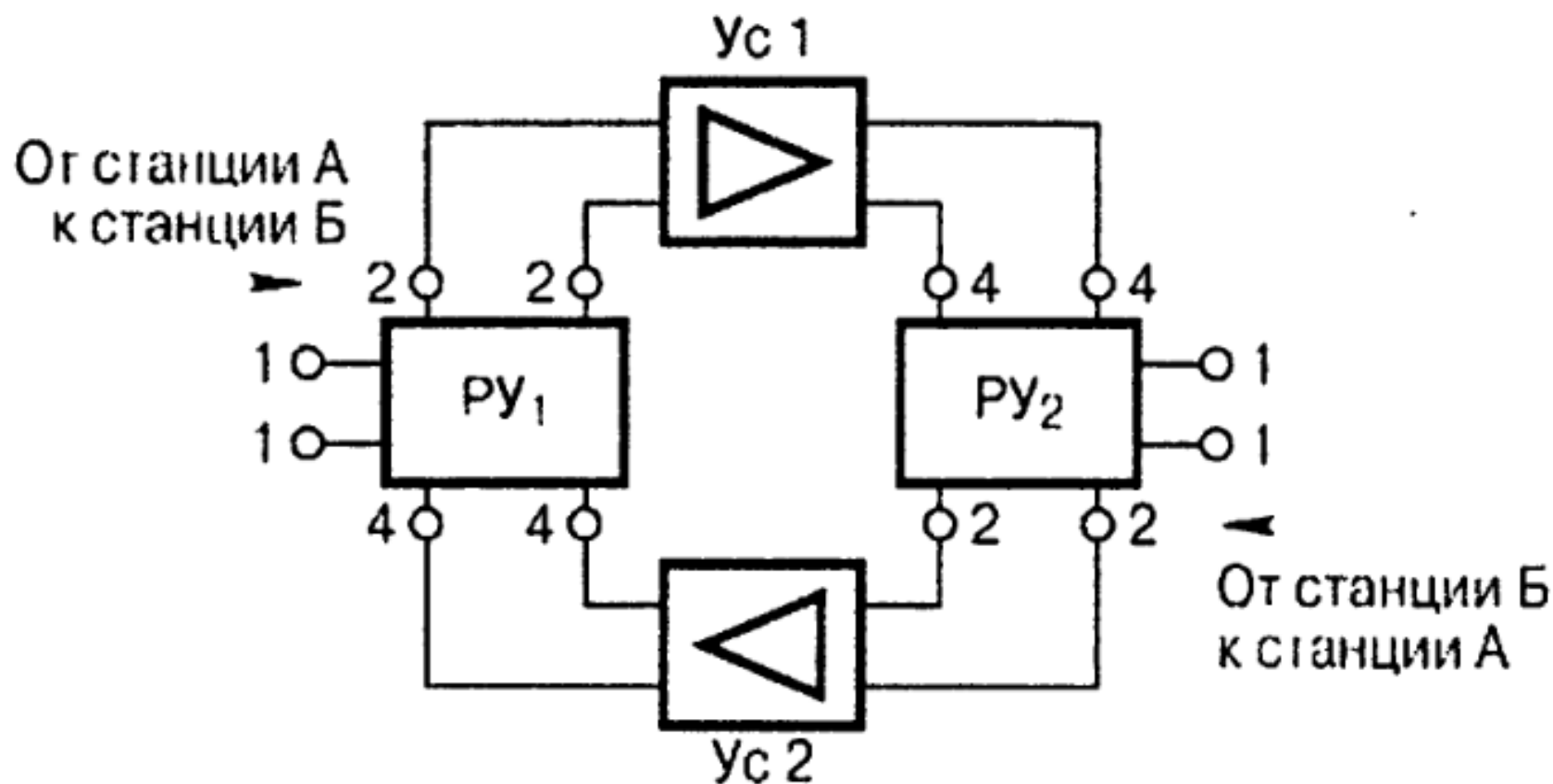
Определить затухание между передатчиком и приемником на частоте 850 нм и дальность непосредственной связи

$\alpha = 3$ дБ/км

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

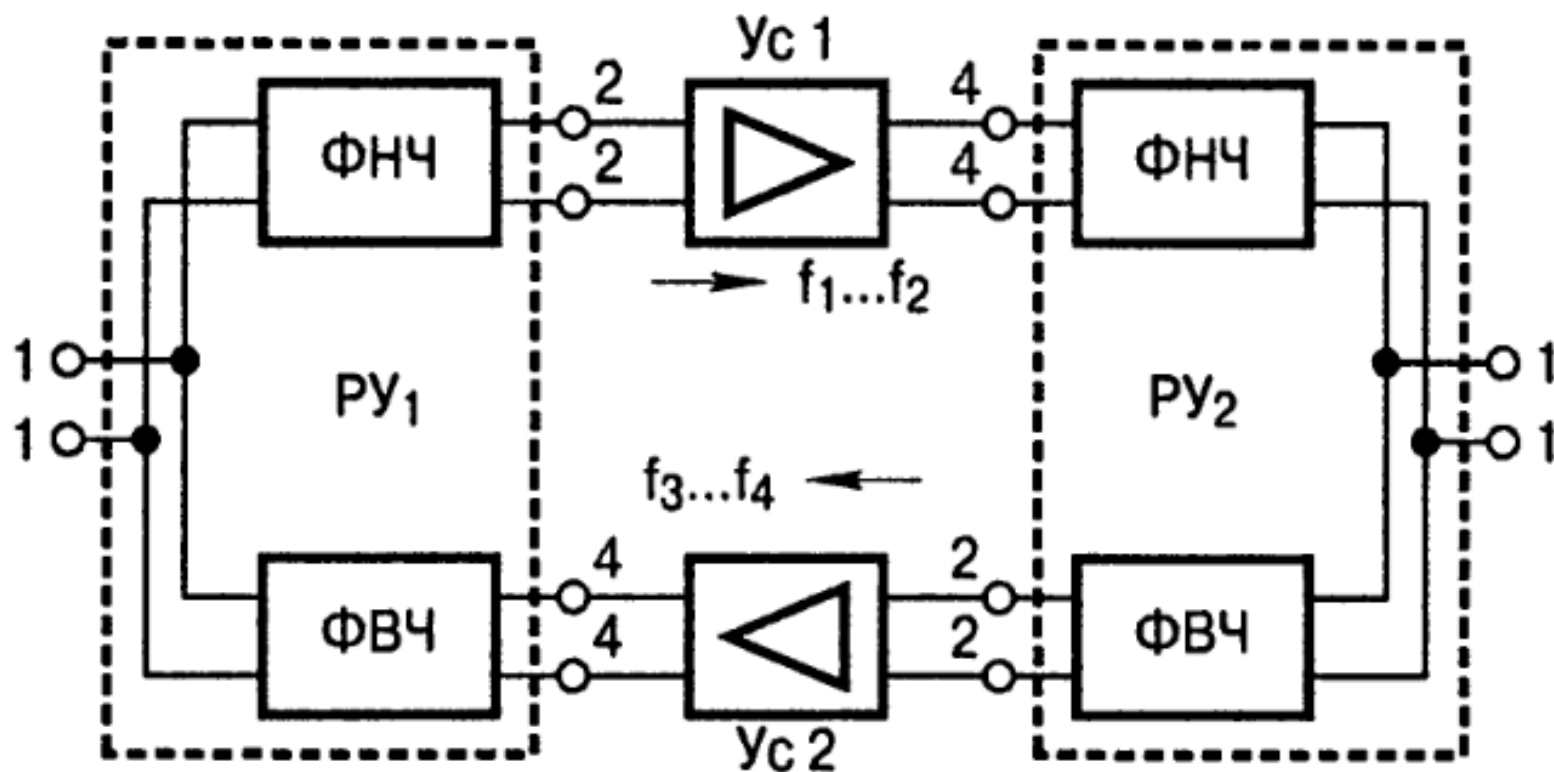
$L = A_{пп} / \alpha = 30 / 3 = 10$ км.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ДВУСТОРОННЕГО УСИЛИТЕЛЯ ДЛЯ FDD



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

