

# Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей

# Общие определения

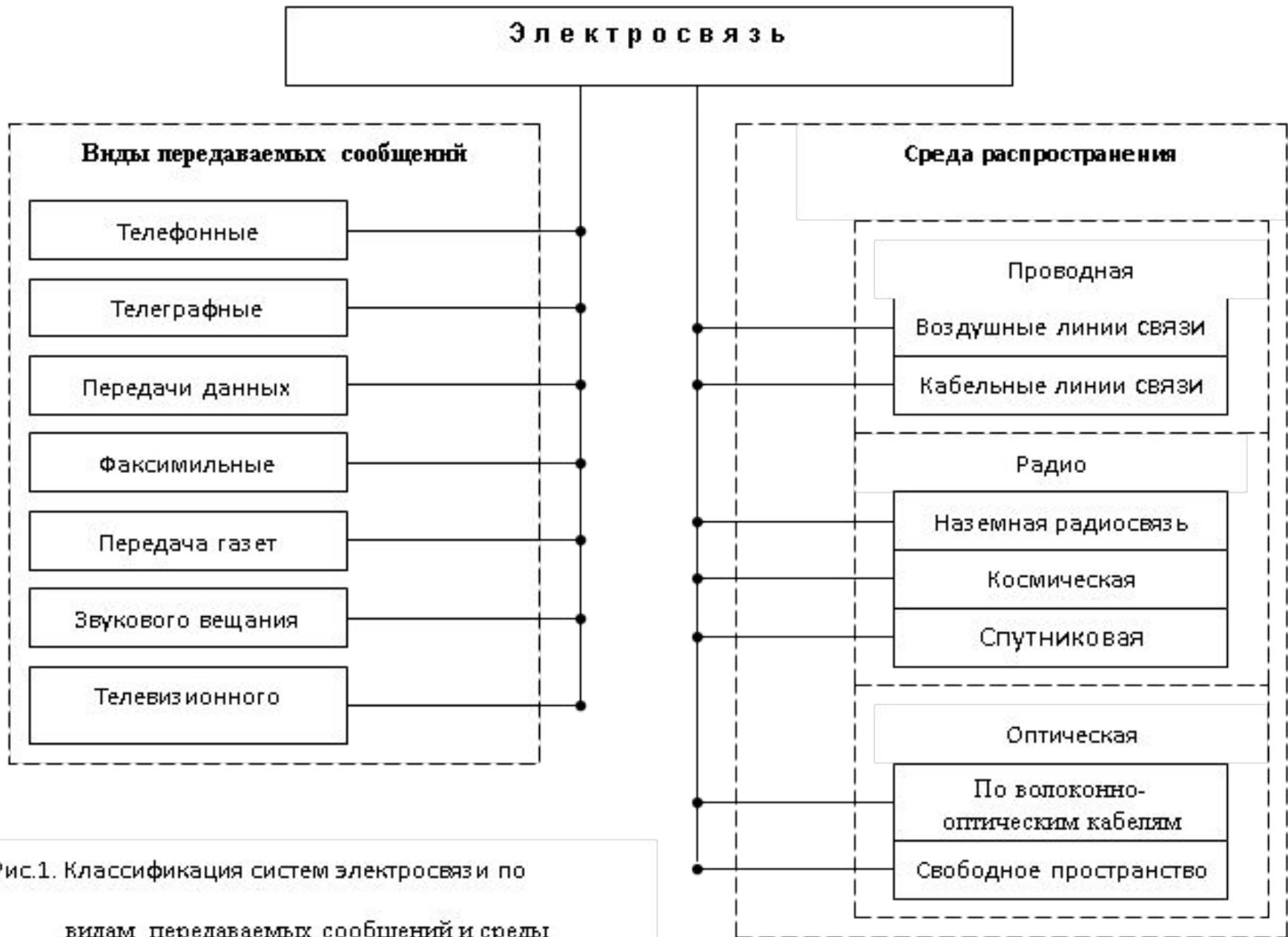


Рис.1. Классификация систем электросвязи по видам передаваемых сообщений и среды

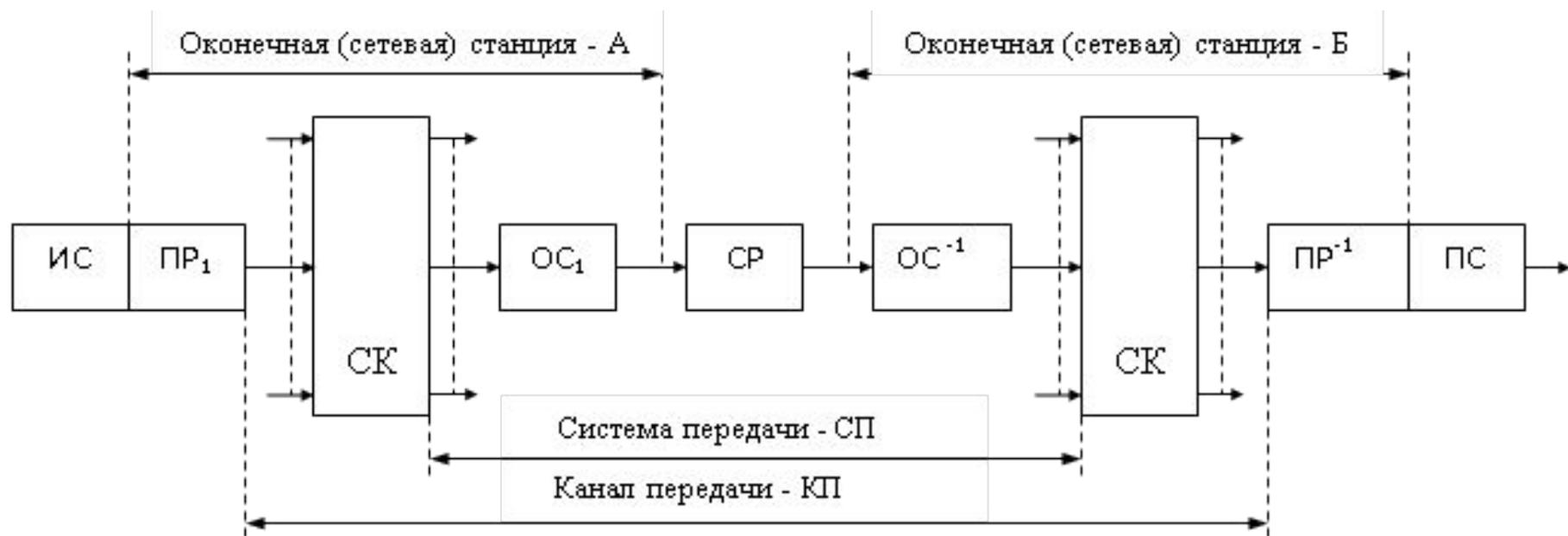


Рис.2. Взаимодействие телекоммуникационных систем и сетей

# Уровни передачи

*по мощности:*

$$p_M = 10 \lg (W_x / W_0)$$

*по напряжению:*

$$p_H = 20 \lg (U_x / U_0)$$

*по току:*

$$p_m = 20 \lg (I_x / I_0)$$

# Абсолютные уровни, опорные значения

- кажущаяся мощность  $W_0=1$  мВА или активная мощность  $W_0=1$  мВт;
- эффективное напряжение  $U_0=0,775$  В;
- эффективное значение тока  $I_0=1.29$  мА.

# Энергетические характеристики

$$W_x = 10^{0,1 P_m}$$

$$U_x = 10^{0,05 P_n}$$

$$I_x = 10^{0,05 P_m}$$

# Взаимосвязь

$$p_M = p_H - 10 \lg (Z_x / Z_0)$$

$$p_M = p_T + 10 \lg (Z_x / Z_0)$$

# Затухание и усиление

$$A_p = 10 \lg \frac{W_z}{W_n} = \underline{p_z} - \underline{p_n}, \text{ дБ},$$

$$S_p = 10 \lg \frac{W_n}{W_z} \text{ дБ},$$

# Диаграмма уровней

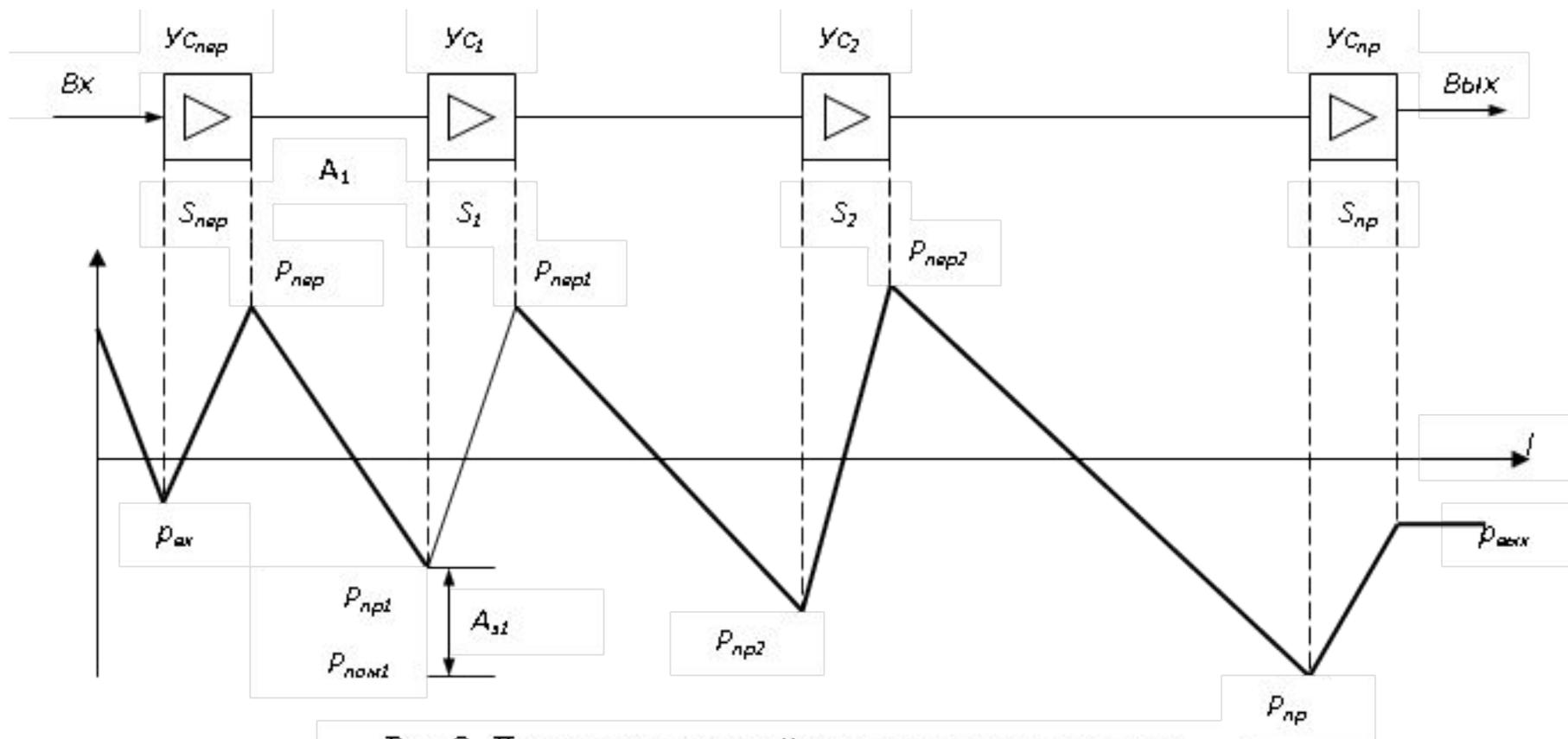


Рис. 3. Диаграмма уровней и ее характерные точки

# Первичные сигналы электросвязи

# Основные параметры первичных сигналов

- длительность сигнала  $T_c$

- средняя мощность

$$W_{cp} = \frac{1}{TR} \int_0^T U^2(t) dt$$

- максимальная мощность  $W_{max}$

- минимальная мощность  $W_{min}$

- динамический диапазон  $D_c$

$$D_c = 10 \lg \frac{W_{max}}{W_{min}}$$

- пикфактор  $Q_c$

$$Q_c = 10 \lg \frac{W_{max}}{W_{cp}}$$

- защищенность

$$A_z = 10 \lg \frac{W_{cp}}{W_n}$$

# Основные параметры первичных

- эффективно передаваемая полоса сигналов

частота  $\Delta F_c = F_{\text{макс}} - F_{\text{мин}}$

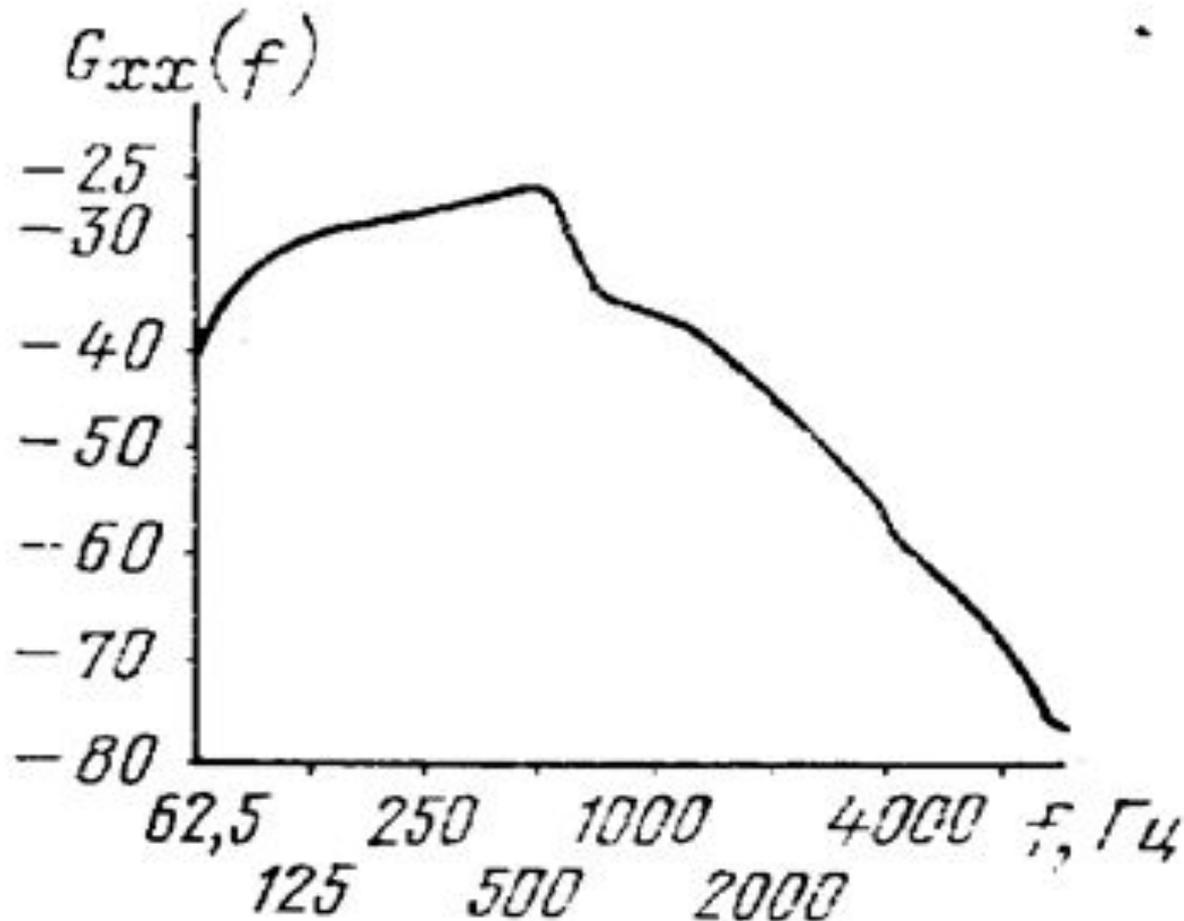
- объем первичного сигнала

- количество информации  $I_c = 3.321/\Delta F_c \lg(1 + \frac{W_{cp}}{W_n})$

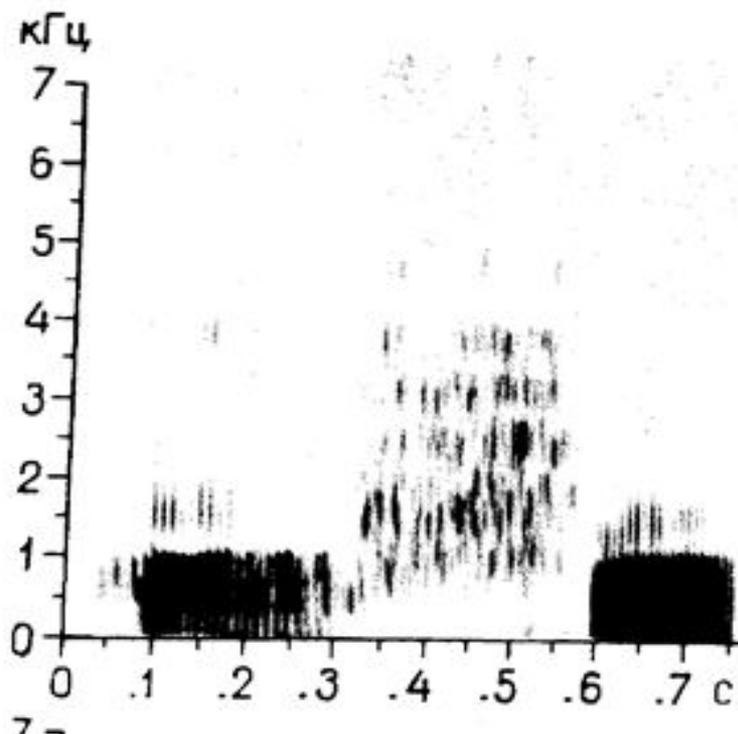
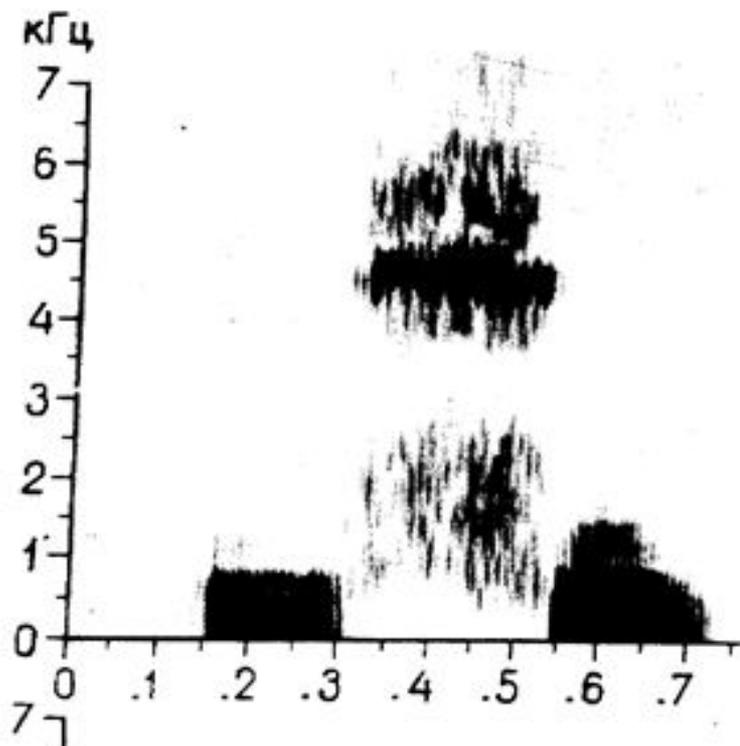
# Речь

- $\Delta F_T = 0,3 \dots 3,4$  кГц
- $\eta_T = 0,25 \dots 0,35$
- $W_{\text{мин}T} = 0,1$  мкВт
- $W_{\text{ср}T} = 88$  мкВт
- $W_{\text{макс}T} = 2220$  мкВт
- $D_T = 43$  дБ
- $Q_T = 14$  дБ
- $I_T = 10000$  бит/с

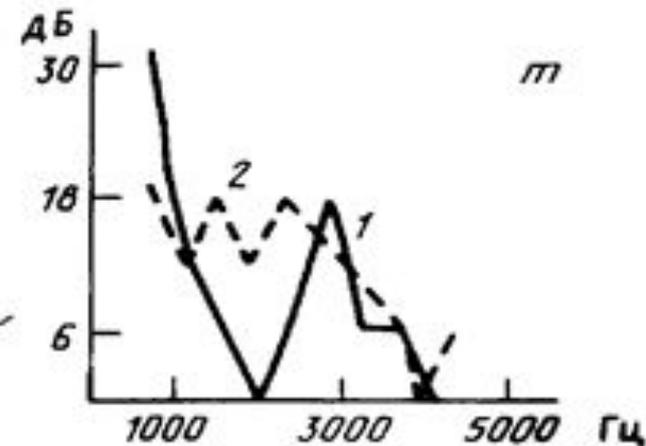
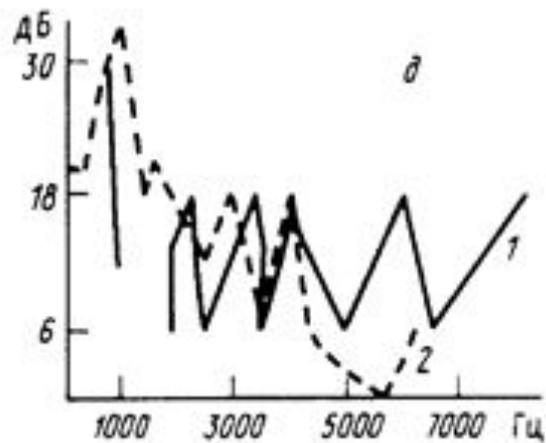
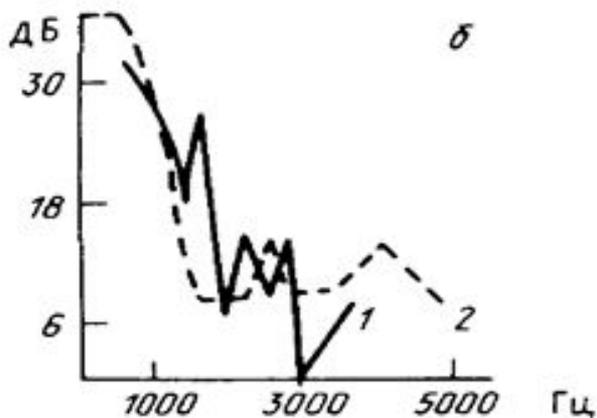
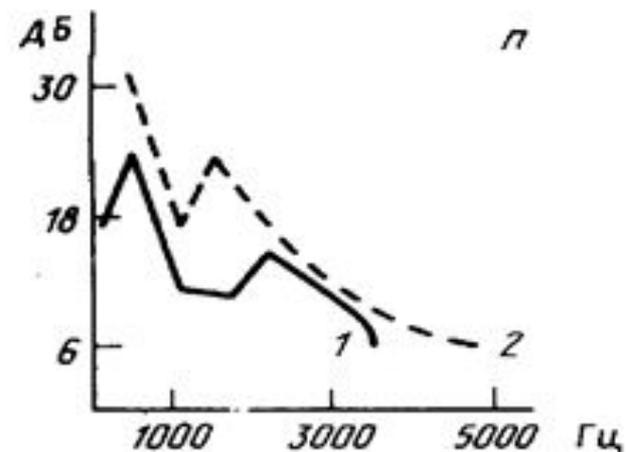
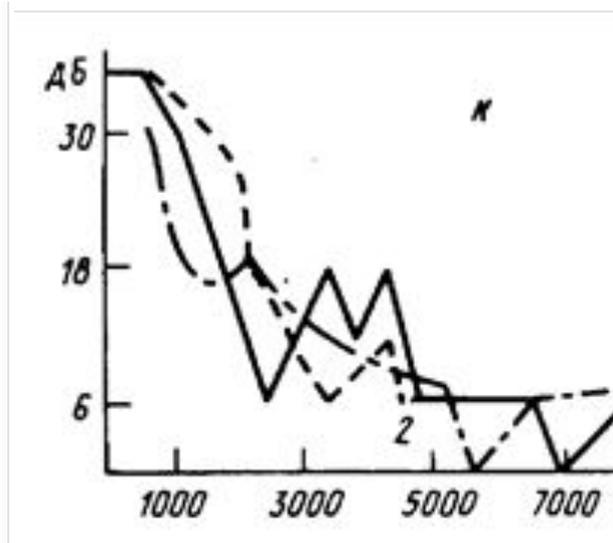
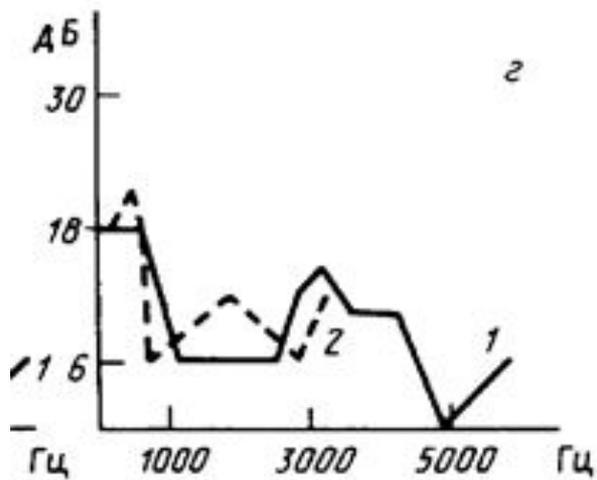
# Средняя спектральная плотность мощности речевого сигнала



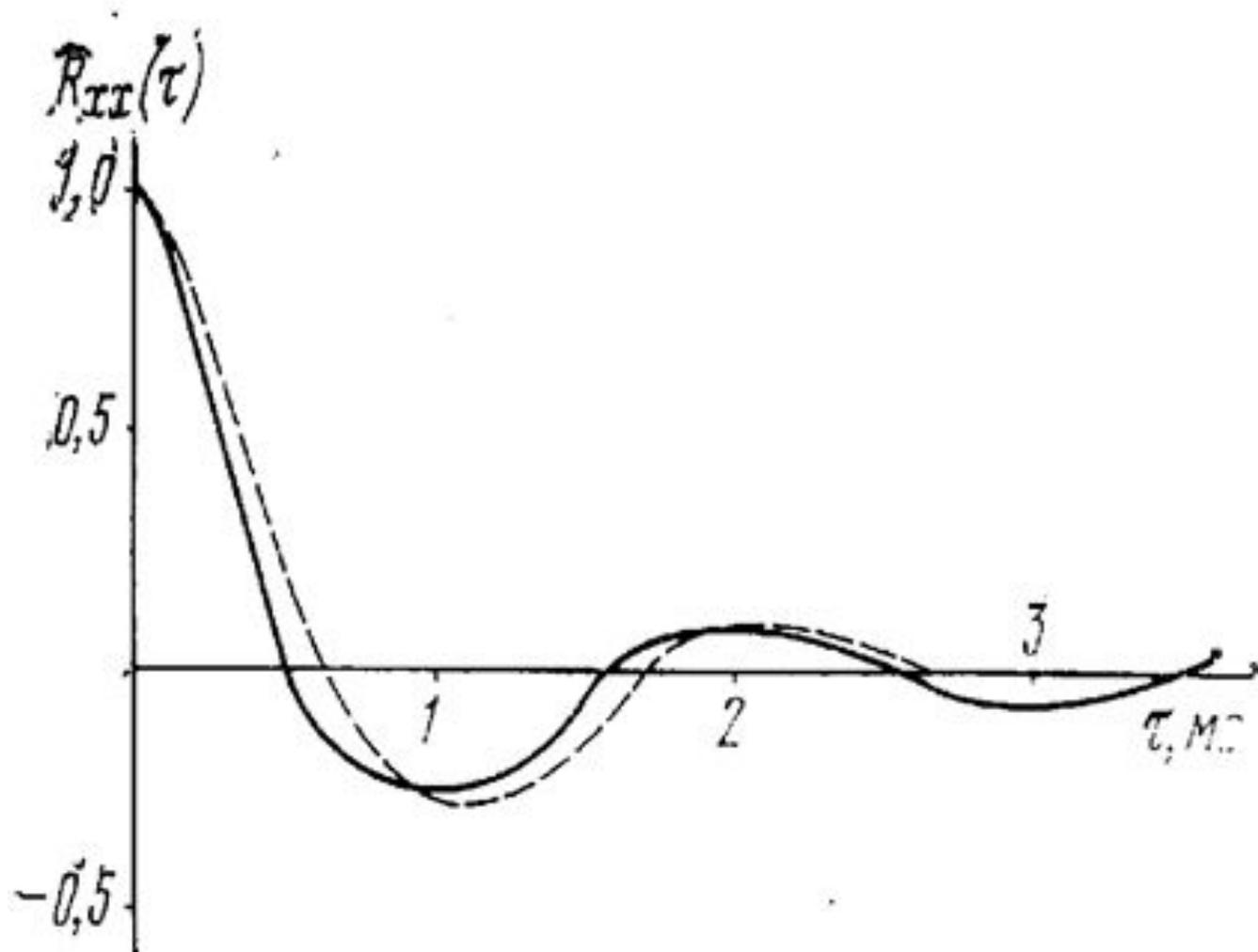
Динамические спектрограммы губно-зубного глухого щелевого согласного ф в симметричных слогах гласный – ф – гласный: [уфУ], [офО]



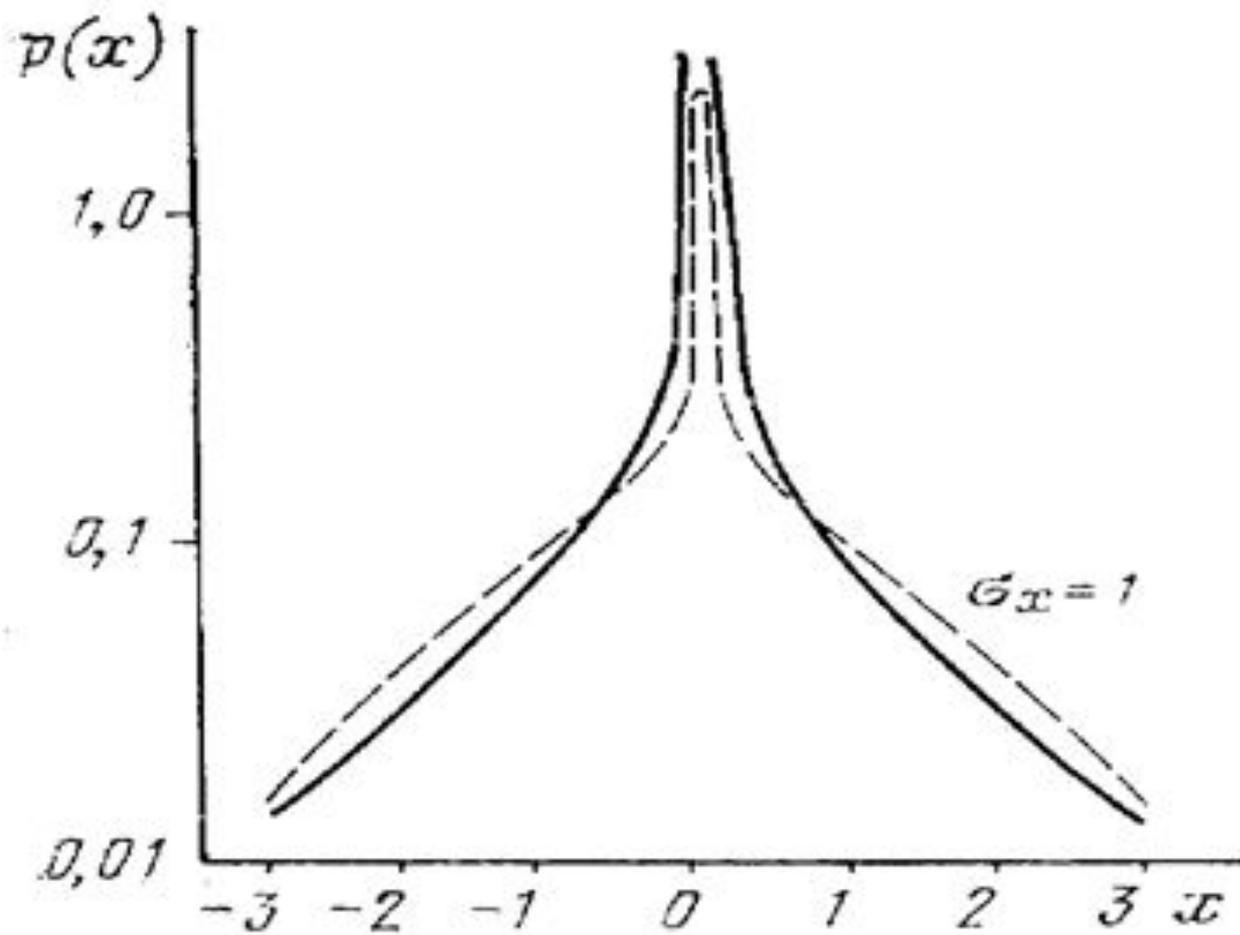
# СПЕКТР СМЫЧНЫХ СОГЛАСНЫХ В ПОЛНОМ И РАЗГОВОРНОМ СТИЛЯХ



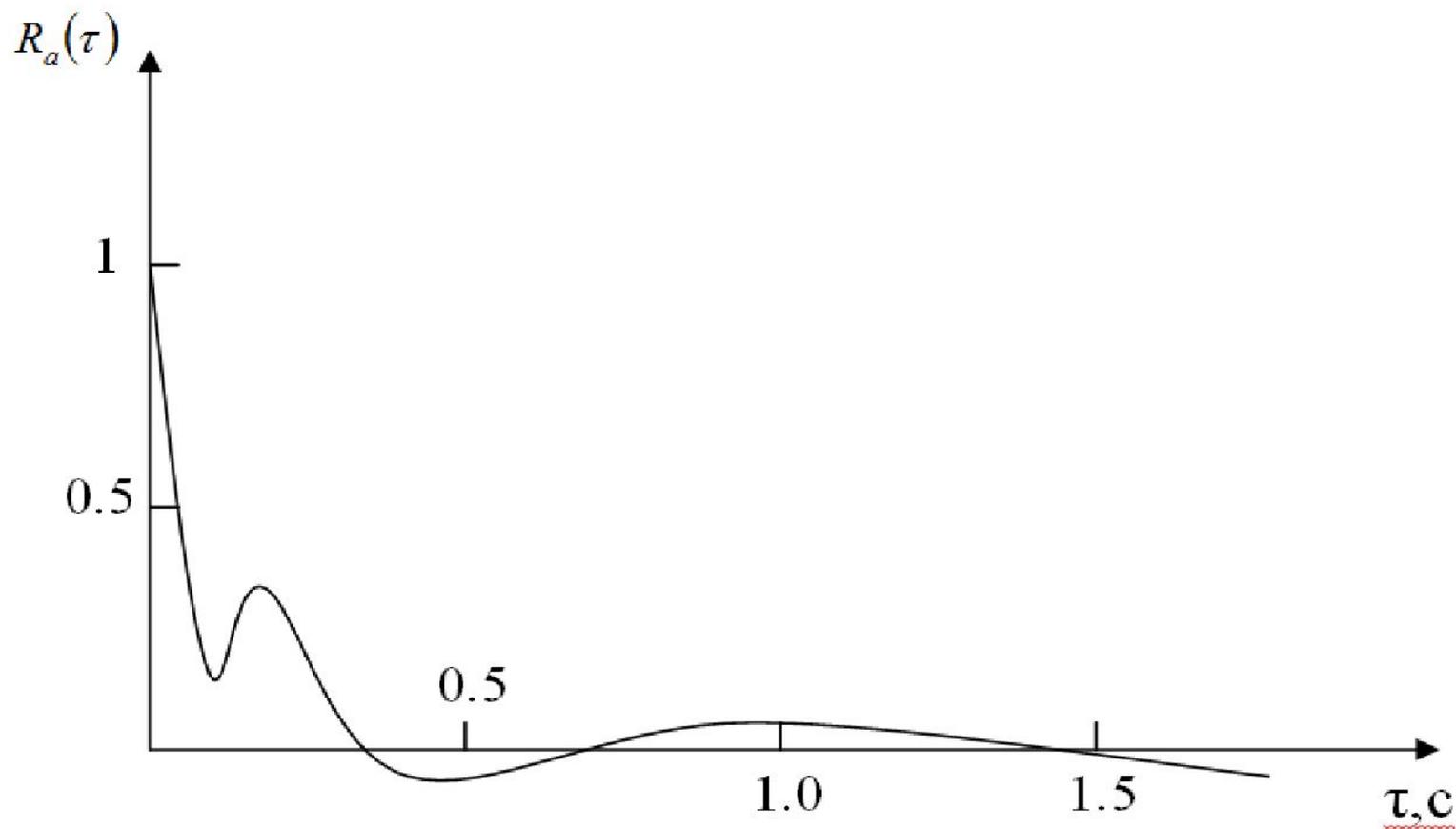
# Средние нормированные корреляционные функции речевого сигнала



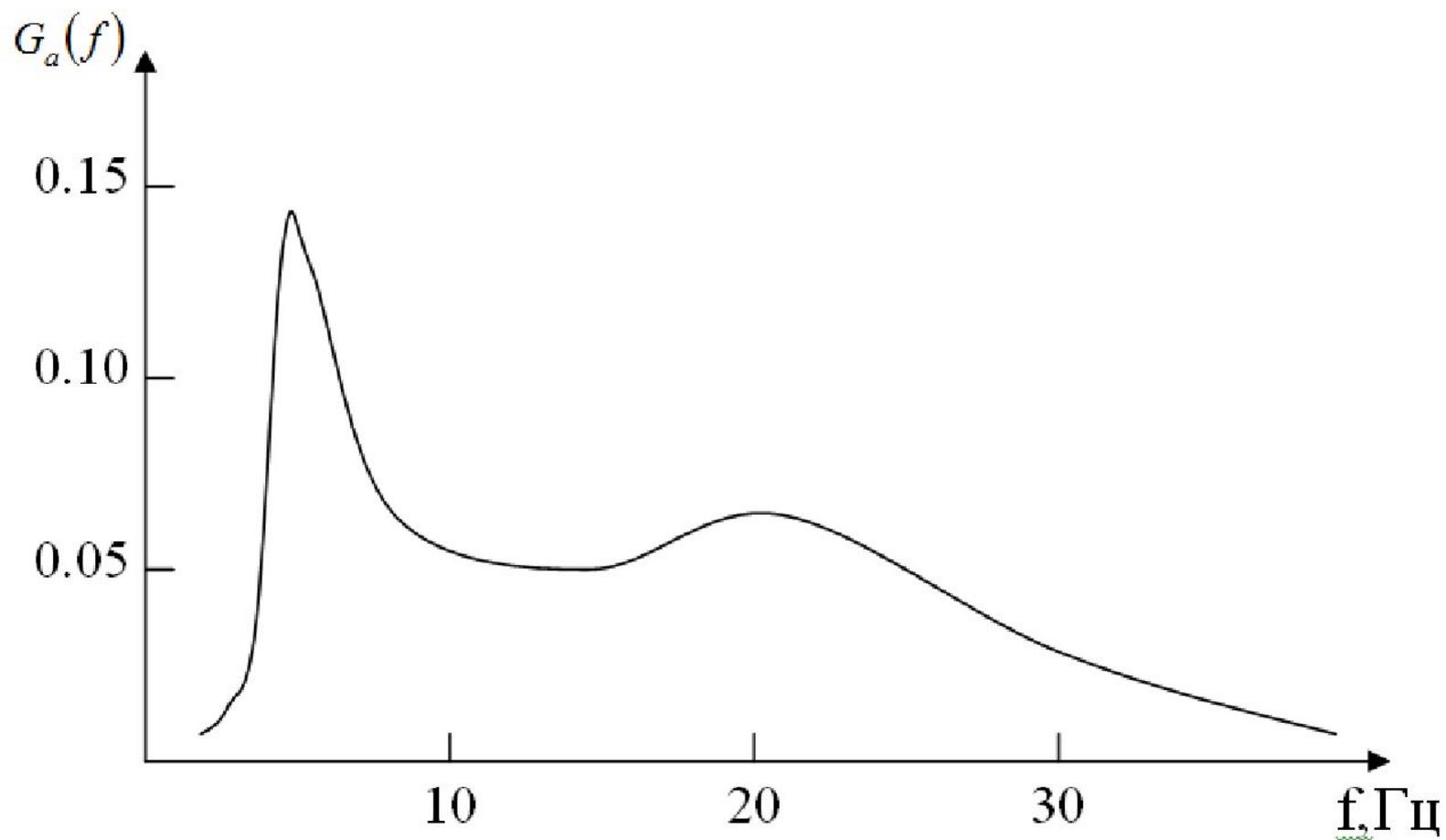
# Функции плотности вероятностей речевых сигналов



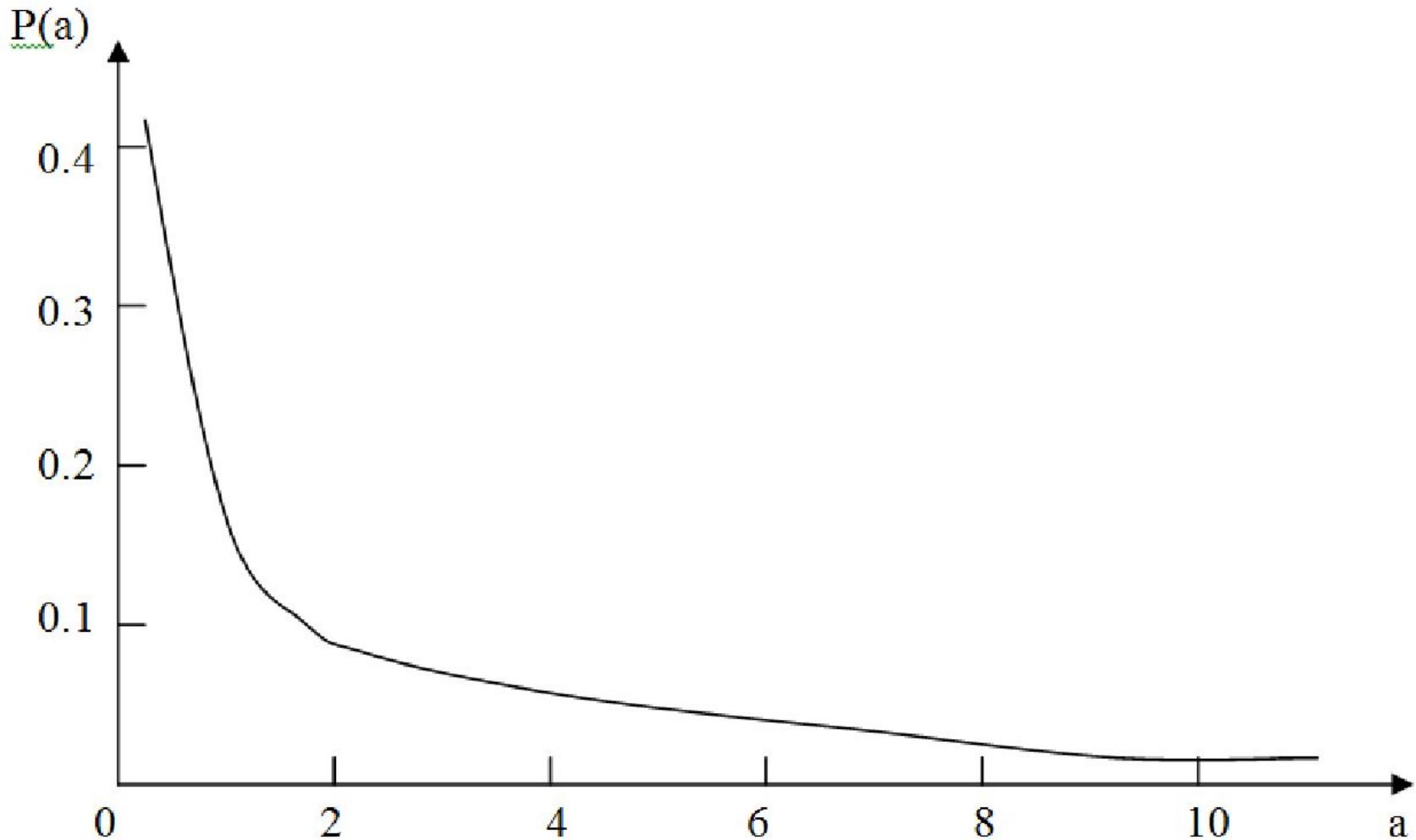
# Нормированная корреляционная функция огибающей речевого сигнала



# Спектральная плотность огибающей речевого сигнала



# Одномерная плотность вероятностей оггибающей речи



# Сигналы звукового вещания

- $\Delta F_{зв} = 30 \dots 15000 \text{ Гц}$
- $W_{\text{макс.зв}} = 8000 \text{ мкВт0}$
- $W_{\text{ср.зв}} = 923 \text{ мкВт0}$  при усреднении за час  
2230 мкВт0 – за минуту  
4500 мкВт0 – за секунду
- $D_{зв} = 65 \text{ дБ}$
- Потенциальная информационная емкость  
140...200 кбит/с

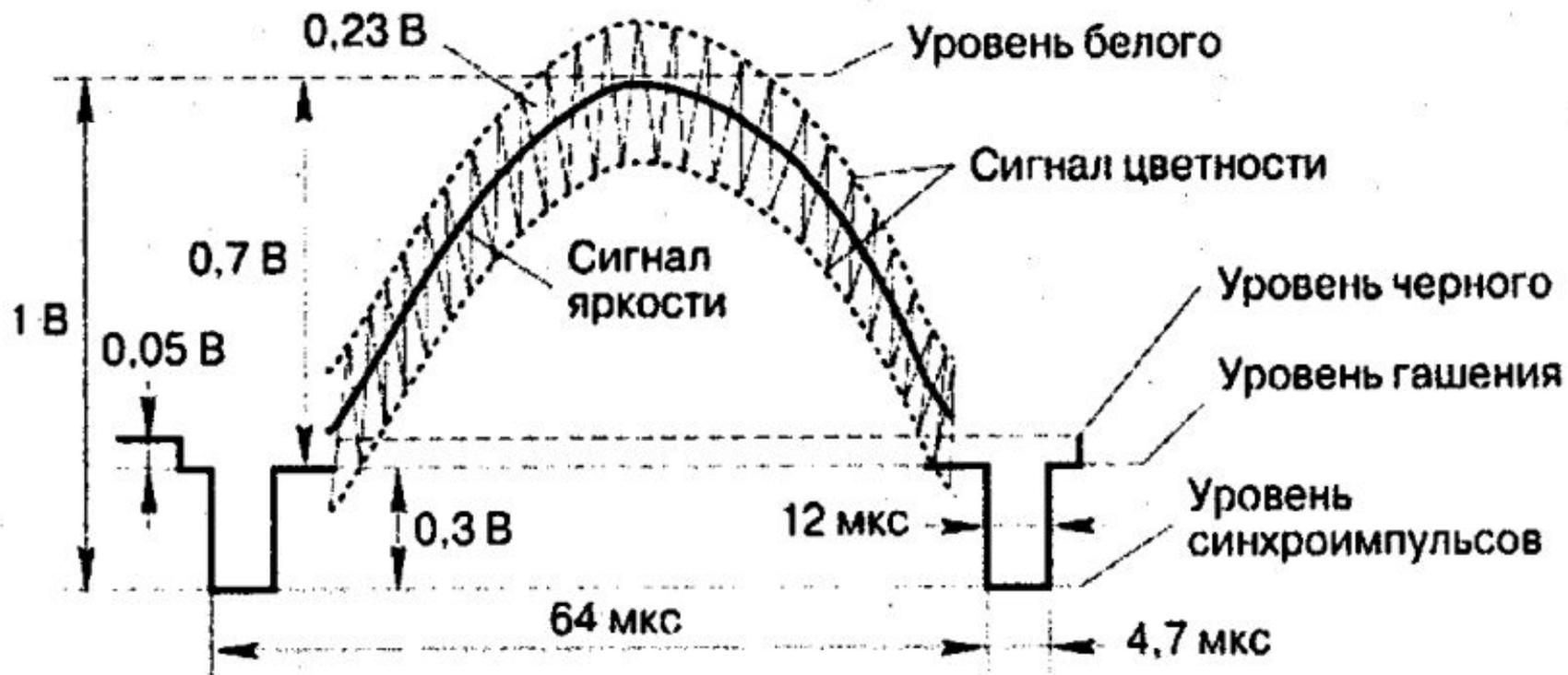
# Факсимильные сигналы

- $\Delta F = 1,5 \dots 250 \text{ кГц}$
- $D_{\phi} \cong 25 \text{ дБ}$
- $Q_{\text{макс.}\phi} = 4,8 \text{ дБ}$

# Телевизионный сигнал

- $\Delta F = 6.25 \text{ МГц}$
- $D_{TB} = 40 \text{ дБ}$
- $I_{TB} = 6,64 \cdot 6,0 \cdot 10^6 \lg 100 \approx 80 \text{ Мбит/с}$
- $A_{TB} = \text{не менее } 48 \text{ дБ}$
- $Q_{\text{макс.тв}} = 4,8 \text{ дБ}$

# Телевизионный сигнал



Осциллограмма одной строки полного ТВ-сигнала

# ТВЧ

- ГОСТ Р 53533

Экран 16:9

1920x1080 точек

Звук Dolby Digital

MPEG2 – 15..25 Мбит/с

MPEG4 – 8..12 Мбит/с

# Телевидение Сверхвысокой Чёткости UHDTV

В августе 2012 года были приняты два набора стандартов цифрового телевидения

4K UHD TV 2160p с разрешением 3840x2160 и

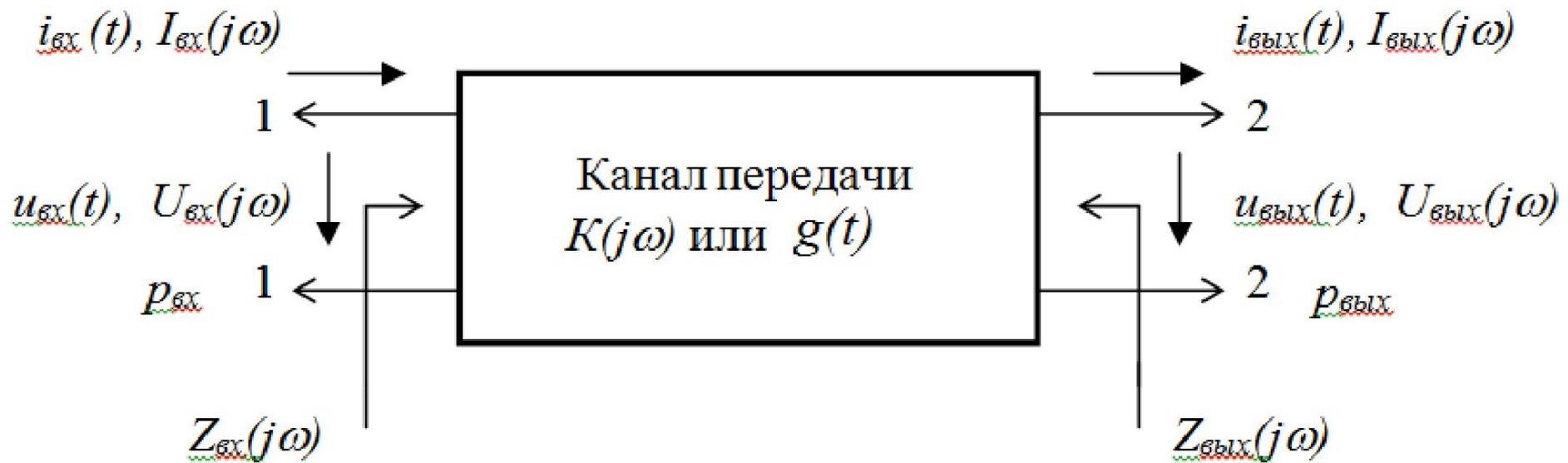
8K UHDTV 4320p. Super Hi-Vision 7680x4320

# КАНАЛЫ ПЕРЕДАЧИ

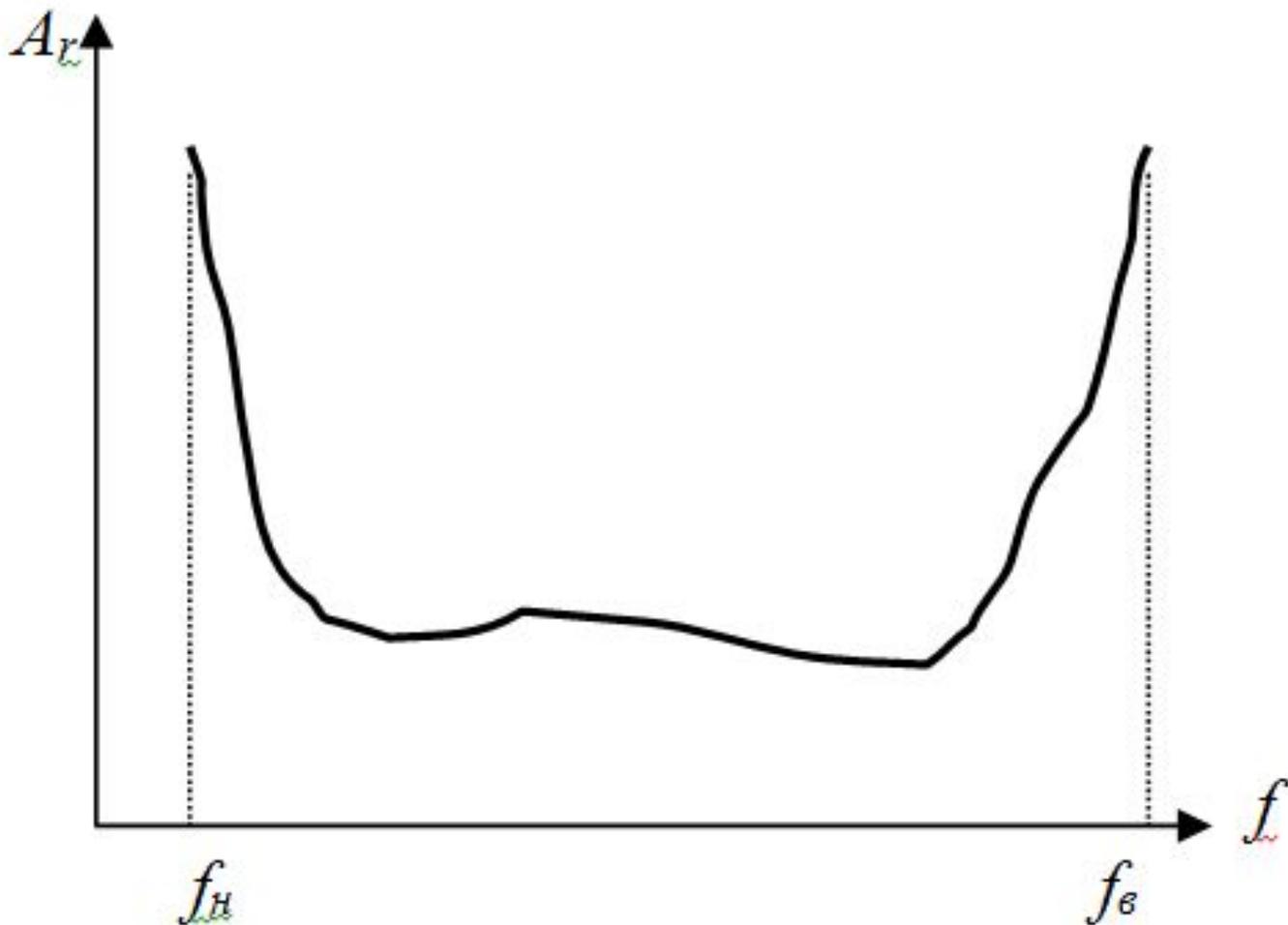
# Основные параметры каналов передачи

- эффективно передаваемая полоса частот  $\Delta F_K$
- время предоставления  $T_K$
- динамический диапазон  $D_K = 10 \lg \frac{W_{\text{клькс}}}{W_{\text{кльч}}}$
- емкость или объем  $V_K = D_K F_K T_K$
- защищенность  $A_{\text{ЭК}} = 10 \lg \frac{W_{\text{кльч}}}{W_{\text{н}}}$
- пропускная способность  $I_K = 3,32 \Delta F_K \lg(1 + \frac{W_{\text{сп}}}{W_{\text{н}}})$

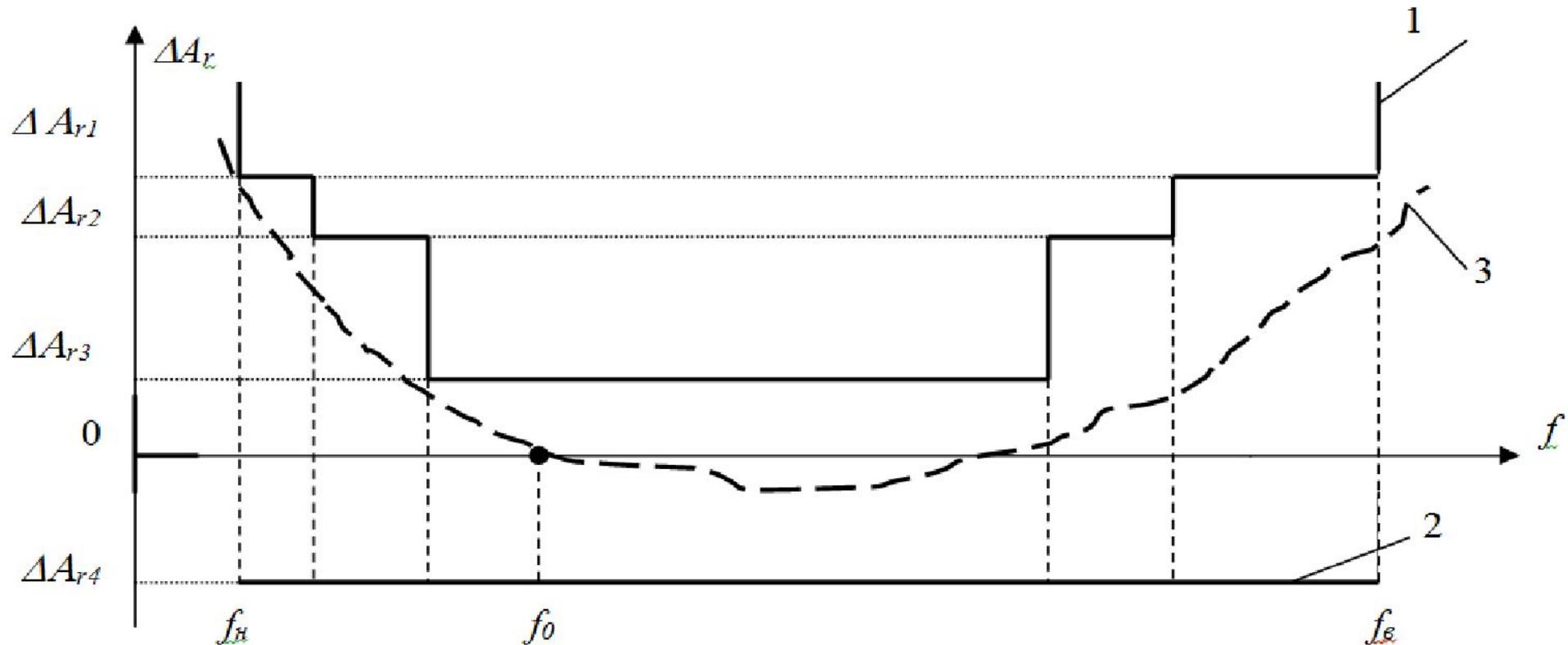
# Канал передачи как четырехполюсник



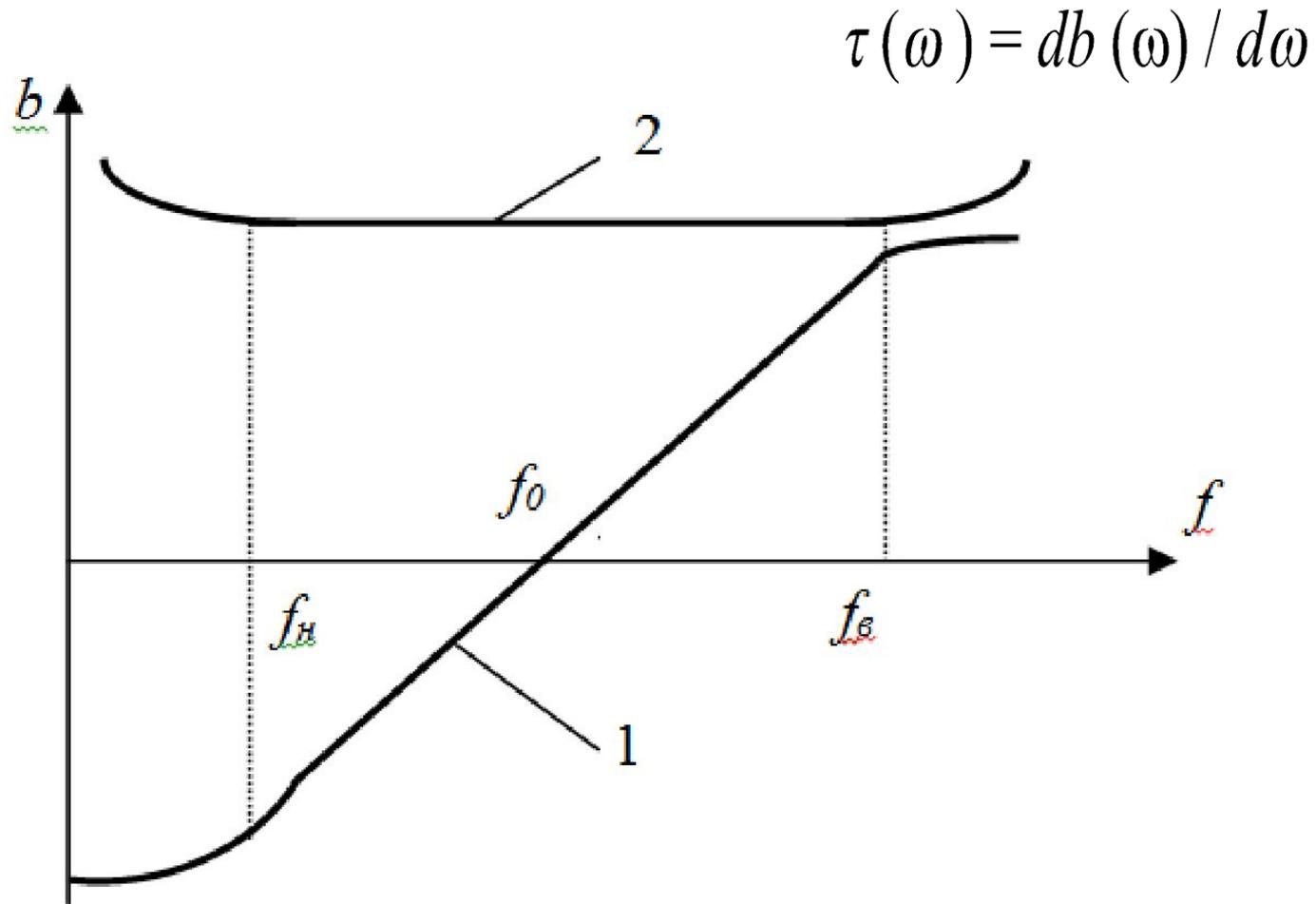
# Типовая амплитудно -частотная характеристика канала



# Шаблон допустимых отклонений ЧХ остаточного затухания канала передачи



# Типовая фазо - частотная характеристика канала и характеристика ГВЗ



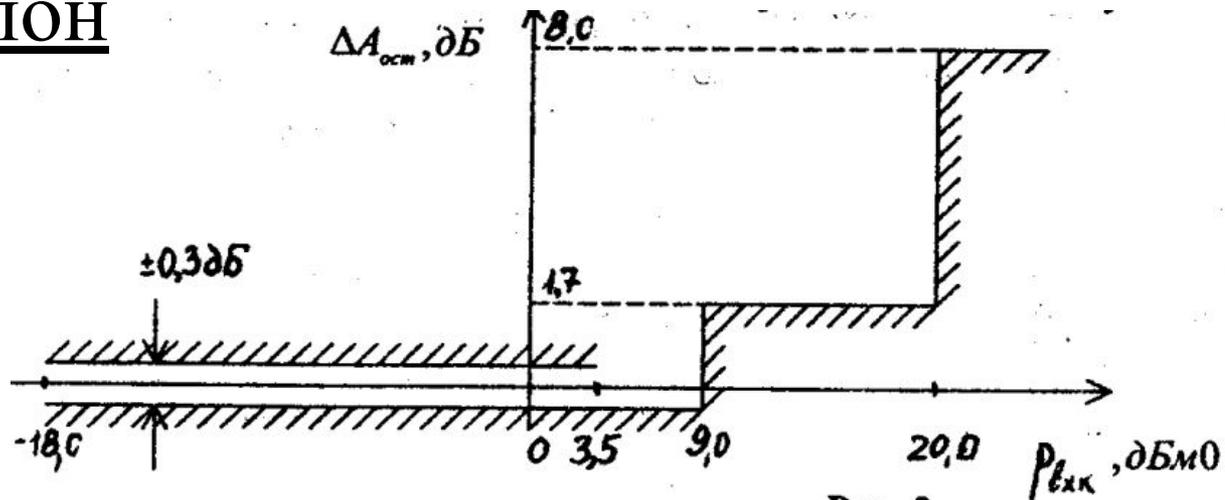
# Нелинейные искажения

$$K_{нл} = \frac{\sqrt{U_{2г}^2 + U_{3г}^2 + \dots + U_{nг}^2}}{U_{1г}}$$

$$A_{н} = 20 \lg \frac{1}{K_{нл}}$$

$$A_{нг} = 20 \lg (U_{1г} / U_{nг})$$

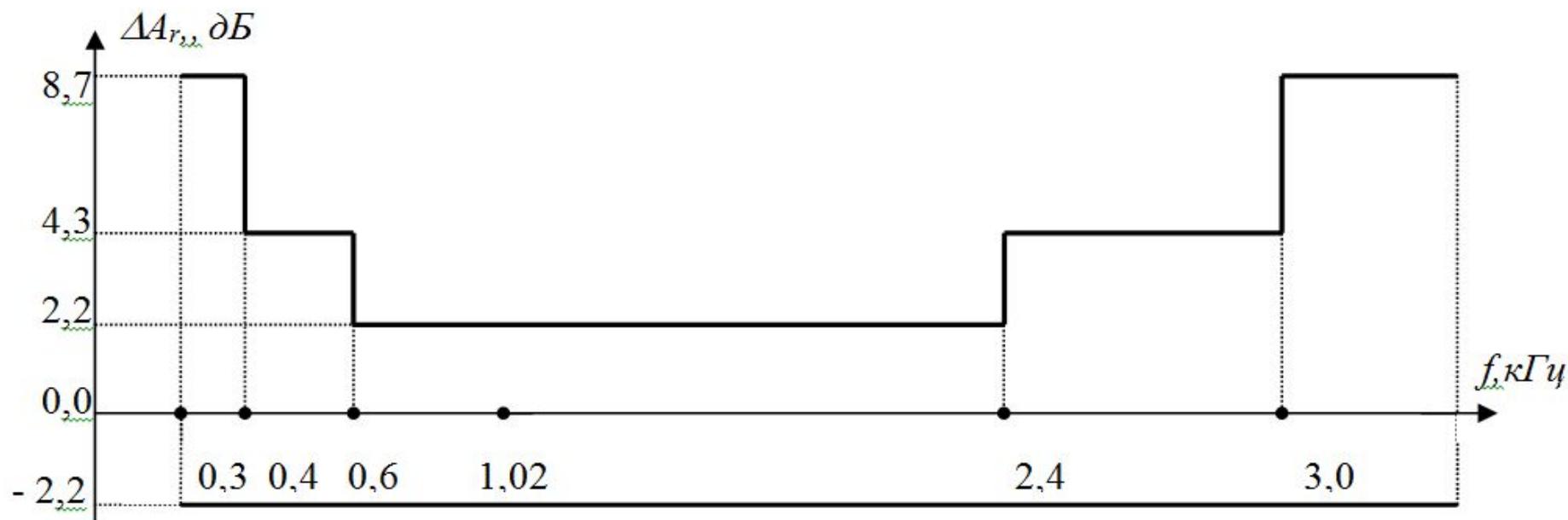
шаблон



# Типовые каналы передачи

Канал тональной частоты

# Шаблон допустимых отклонений остаточного затухания КТЧ



# Неравномерность АЧХ для простого канала длиной 2500 км

$f$ , кГц	0,3...0,4	0,4...0,6	0,6...2,4	2,4...3,0	3,0...3,4
$\Delta A$ , дБ	1,4	0,72	0,6	0,72	1,4

# Отклонения ГВП от его значения на частоте 1900 Гц для простого канала длиной 2500 км

f, кГц	0,4	0,6	0,8	1,0	1,4	1,6	2,2	2,4	2,8	3,0	3,2	3,3
$\Delta t$ , мс	2,4	1,5	1,1	0,6	0,4	0,1	0,1	0,15	0,45	0,75	1,35	1,9

# Затухание отражения

$$A_{\delta} = 20 \lg \frac{1}{\delta} = -20 \lg \delta \leq 20 \text{ дБ}$$

$$\delta = \left| \frac{(Z_{н1} - R_{ex})}{(Z_{н2} - R_{ds})} \right|$$

# Широкополосные каналы

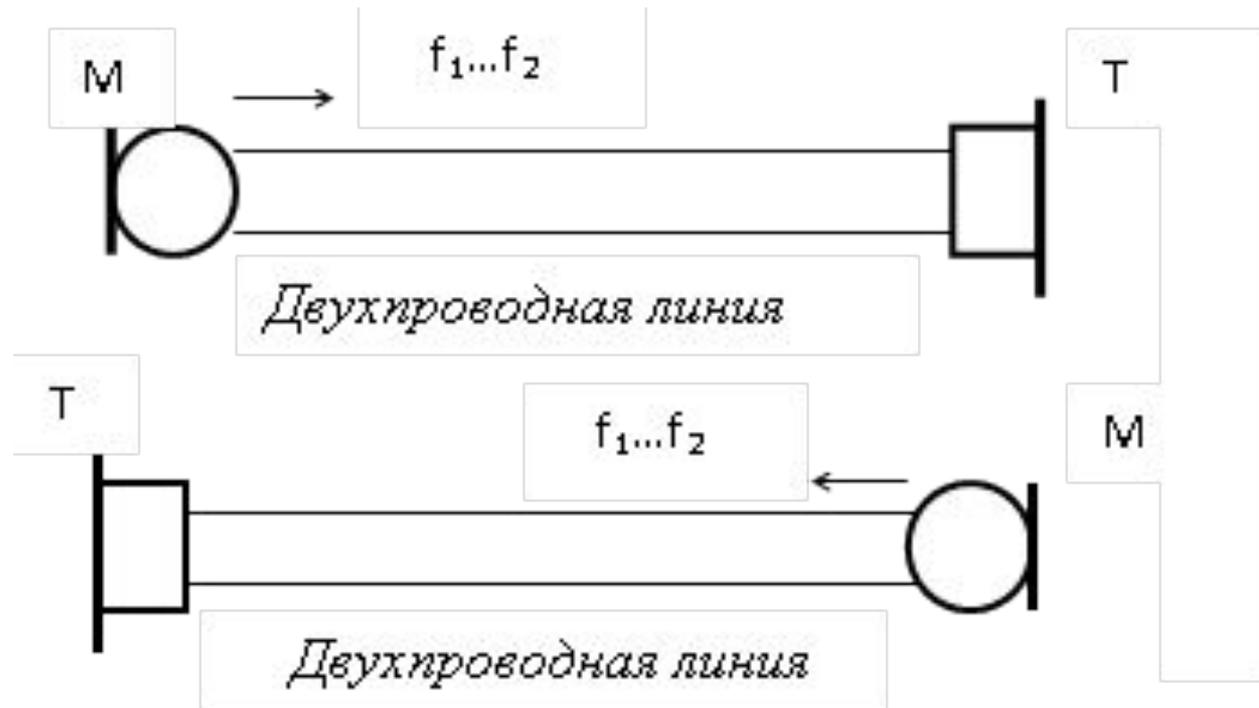
Параметры и характеристики	Типовые широкополосные каналы				
	ПГШК	ПШК	ВШК	ТШК	ЧШК
1. Границы эффективно передаваемой полосы частот, кГц	12,3...23,4	60,6...107,7	312,3...551,4	812,6...2043,7	8515...12388
2. Номинальная величина входного и выходного сопротивления, Ом	600	150	75	75	75
3. Номинальный относительный измерительный уровень, дБМО: на входе на входе	- 36 - 14	- 36 - 23	- 36 - 23	- 36 - 23	- 36 - 23
4. Остаточное затухание, дБ	- 22	- 13	- 13	- 13	- 13
5. Допустимая неравномерность частотной характеристики остаточного затухания, дБ	± 0,87	± 0,87	± 0,87	± 0,5	± 0,15
6. Допустимые отклонения группового времени прохождения, мкс в полосе, кГц	10 13...23	10 65...103	5 330...530	0,25 900...1900	0,25 9300...11700
7. Амплитудная характеристика прямолинейна при изменении уровня, дБ, в сторону уменьшения в сторону увеличения с точностью ± дБ	- 10  24 2	- 10  26 2	- 10  26 2	- 10  28 2	- 10  30 2
8. Средняя мощность сигнала в точке с нулевым относительным уровнем, мВт0	0,096	0,348	1,92	9,6	2838
9. Уровень среднего невзвешенного шума (за час), дБМО при протяженности канала 2500 км	- 42	- 35	- 28	- 21	- 16
10. Пропускная способность не ниже, бит/с	82 · 10 <sup>3</sup>	330 · 10 <sup>3</sup>	165 · 10 <sup>4</sup>	8,5 · 10 <sup>6</sup>	33 · 10 <sup>6</sup>

# Цифровые каналы

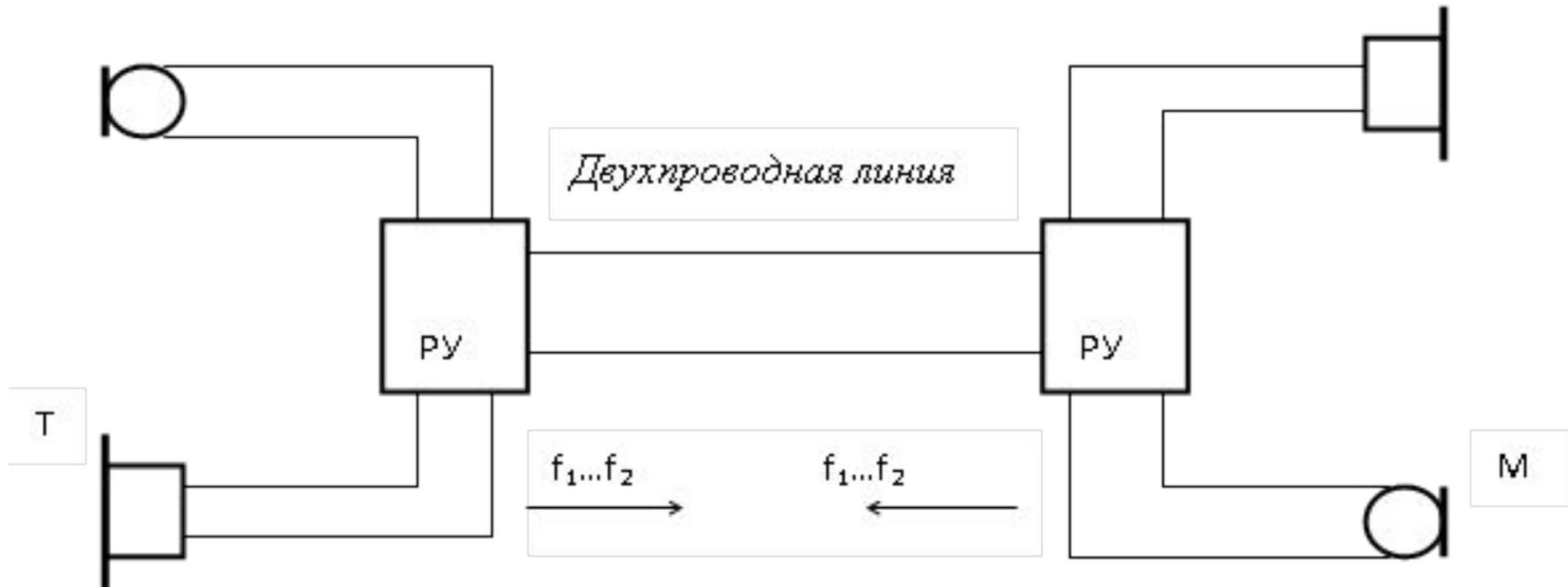
- *основной цифровой канал (ОЦК) со скоростью передачи 64 ( $1 \pm 50 \cdot 10^{-6}$ ) кбит/с;*
- *субпервичный цифровой канал (СПЦК) со скоростью передачи 480 ( $1 \pm 50 \cdot 10^{-6}$ ) кбит/с;*
- *первичный цифровой канал (ПЦК) со скоростью передачи 2048 ( $1 \pm 50 \cdot 10^{-6}$ ) кбит/с;*
- *вторичный цифровой канал (ВЦК) со скоростью передачи 8448 ( $1 \pm 30 \cdot 10^{-6}$ ) кбит/с;*
- *третичный цифровой канал (ТЦК) со скоростью передачи 34368 ( $1 \pm 20 \cdot 10^{-6}$ ) кбит/с;*
- *четверичный цифровой канал (ЧЦК) со скоростью передачи 139264 ( $1 \pm 15 \cdot 10^{-6}$ ) кбит/с.*

# Принципы построения двусторонних каналов

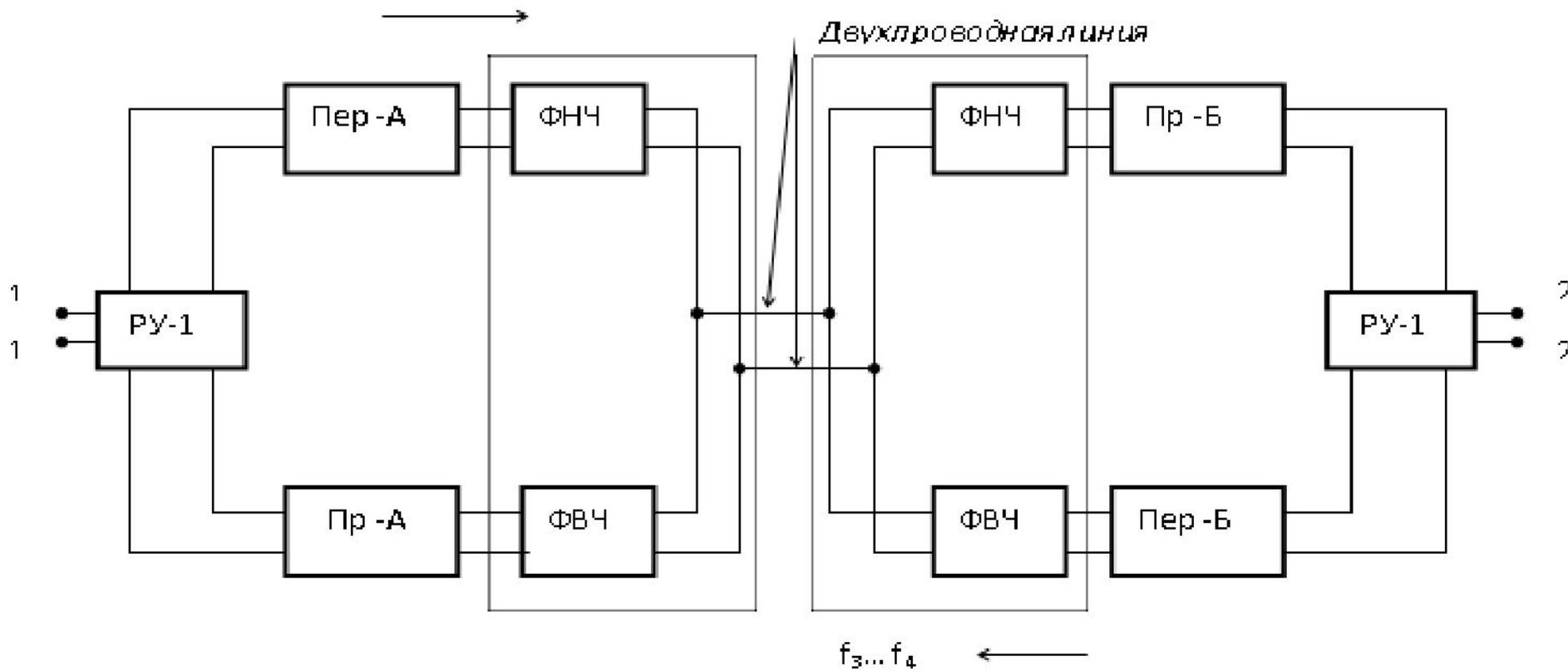
# Однополосная четырехпроводная схема организации двусторонней телефонной связи



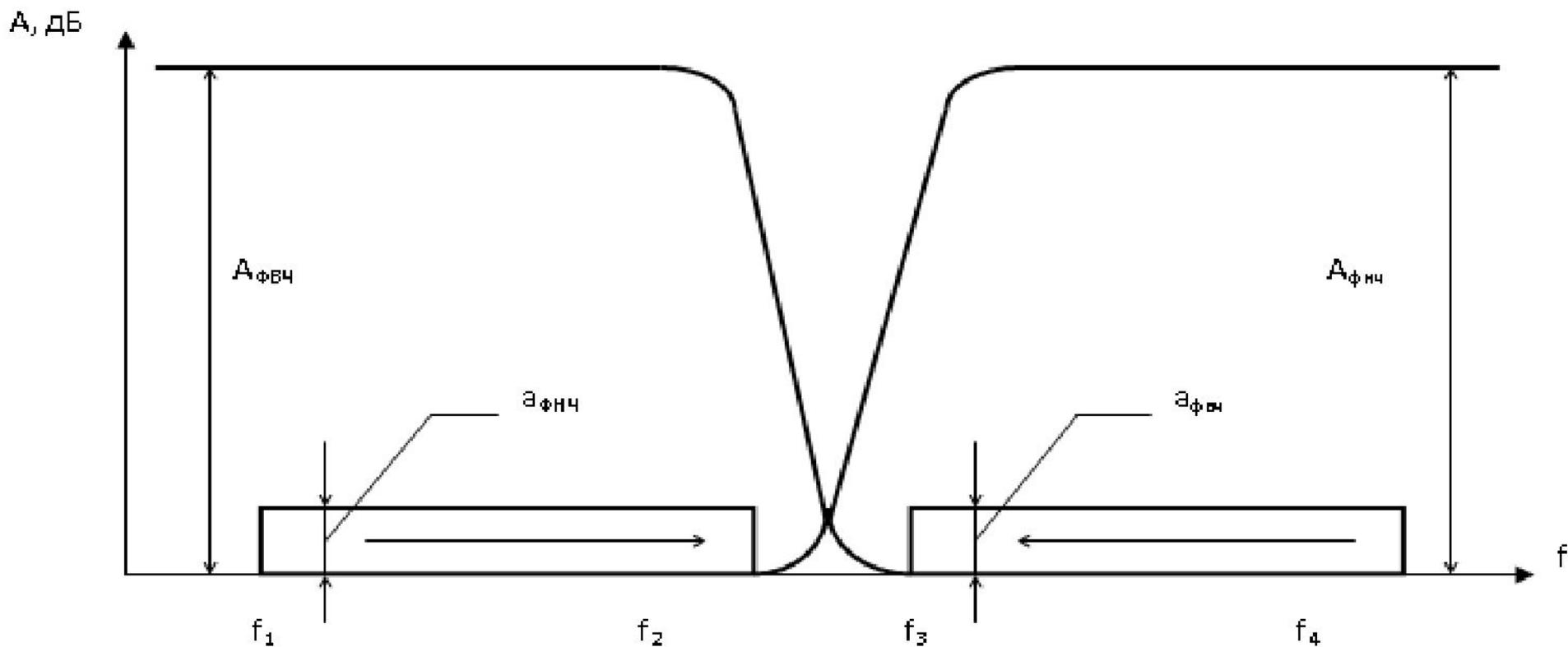
# Однополосная двухпроводная схема организации двусторонней СВЯЗИ



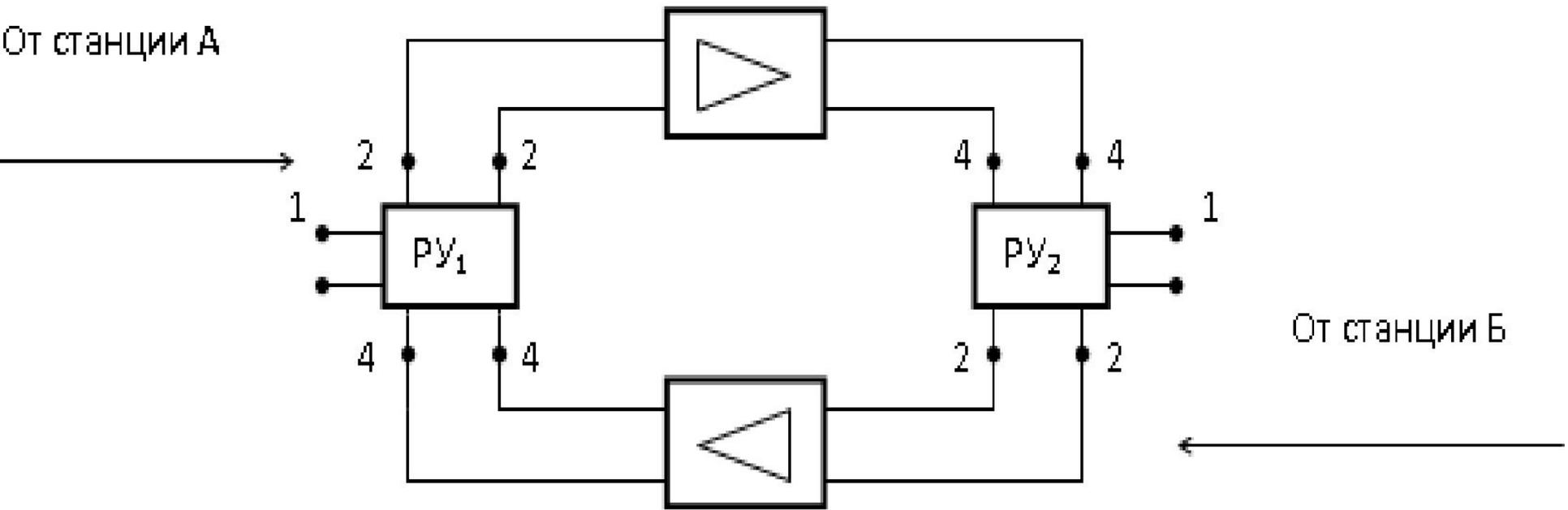
# Двухполосная двухпроводная схема организации двусторонней СВЯЗИ



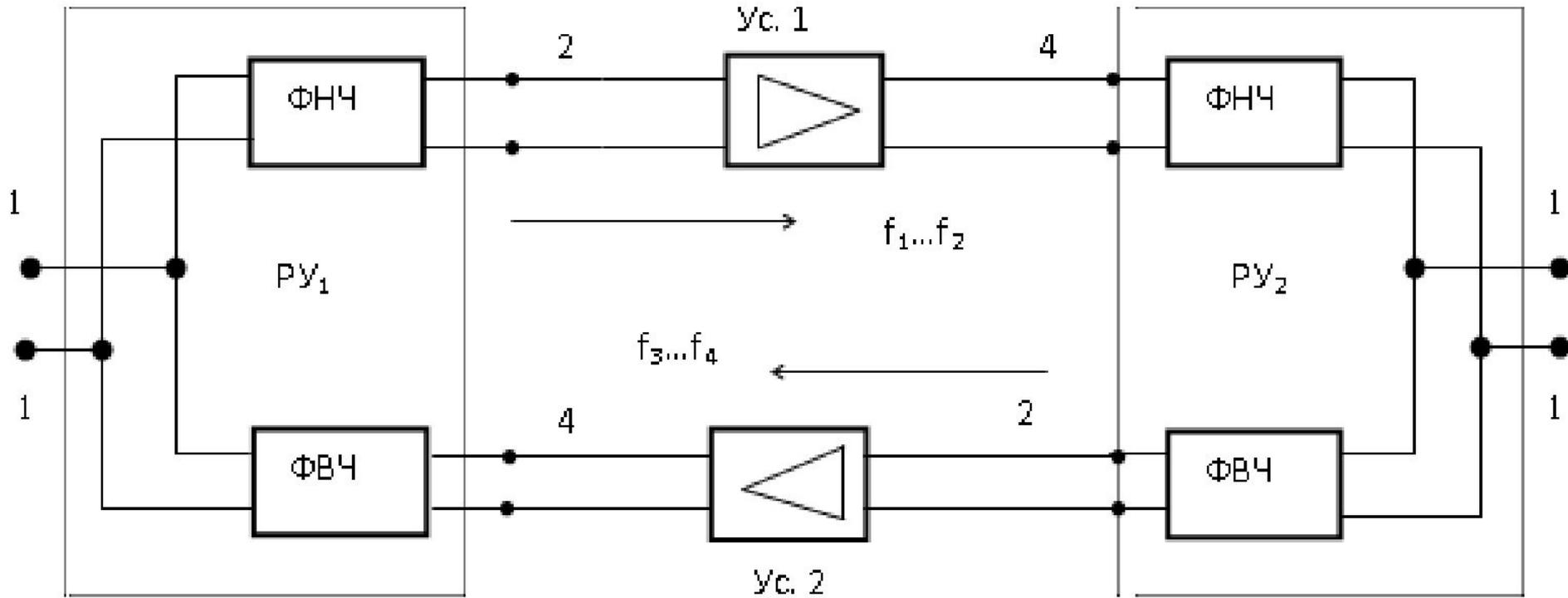
# Характеристики ослабления направляющих фильтров



# Дуплексный усилитель однополосной четырехпроводной схемы

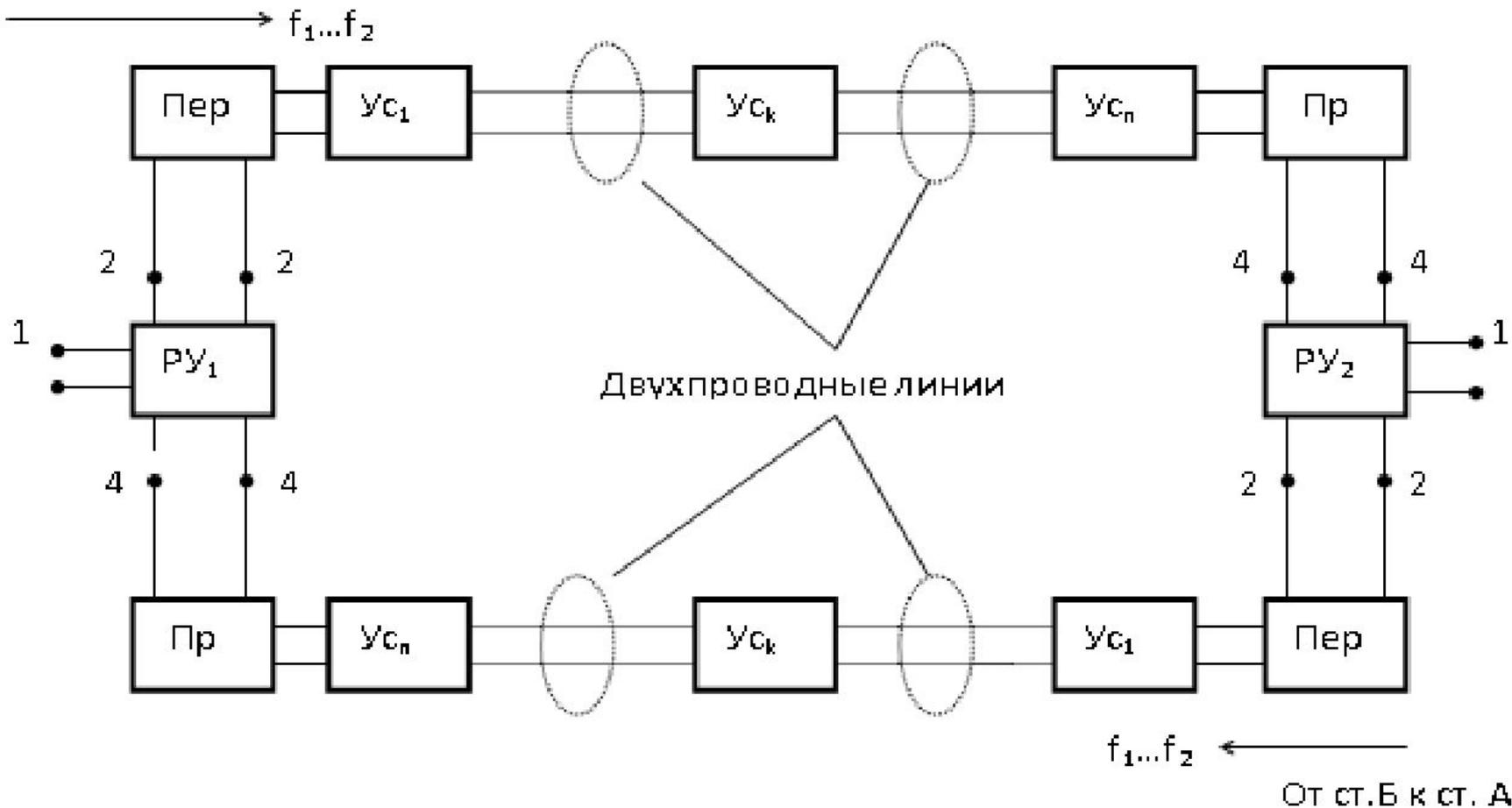


# Дуплексный усилитель двухполосной двухпроводной организации связи

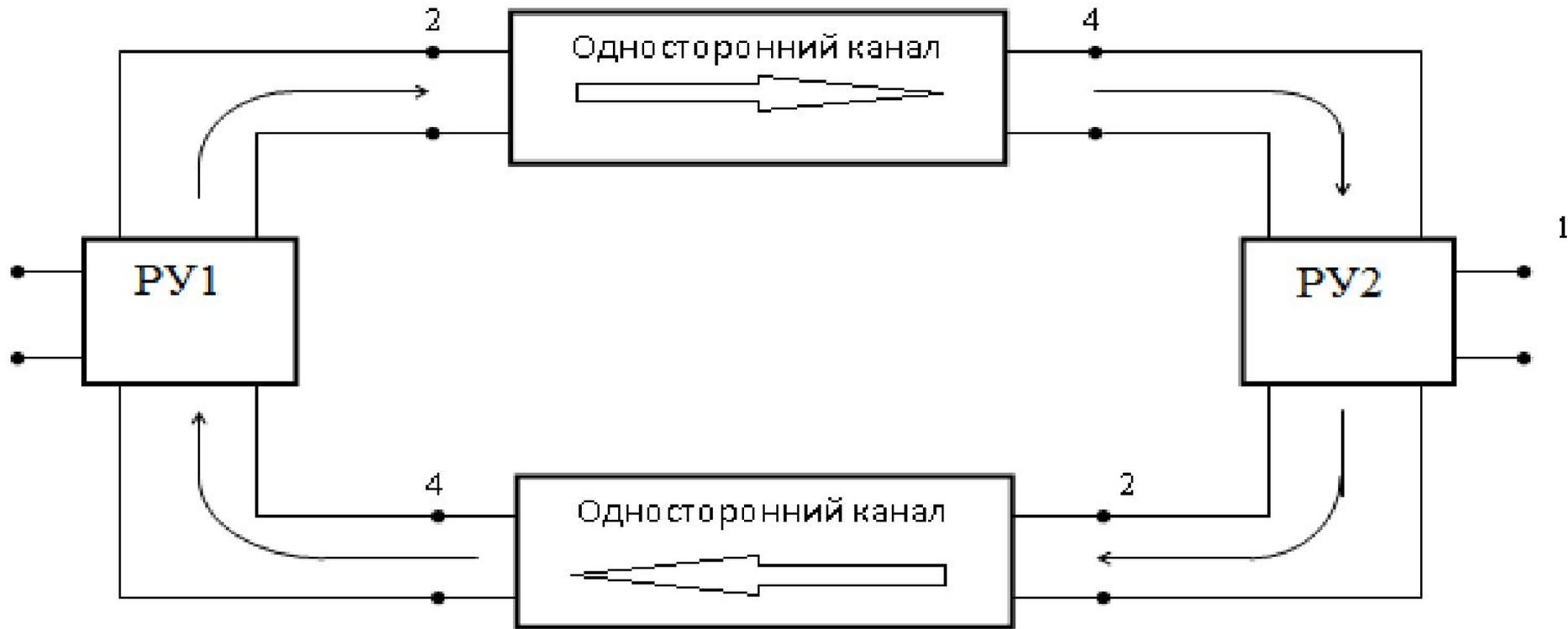


# Обобщенная схема однополосной четырёхпроводной системы двусторонней связи

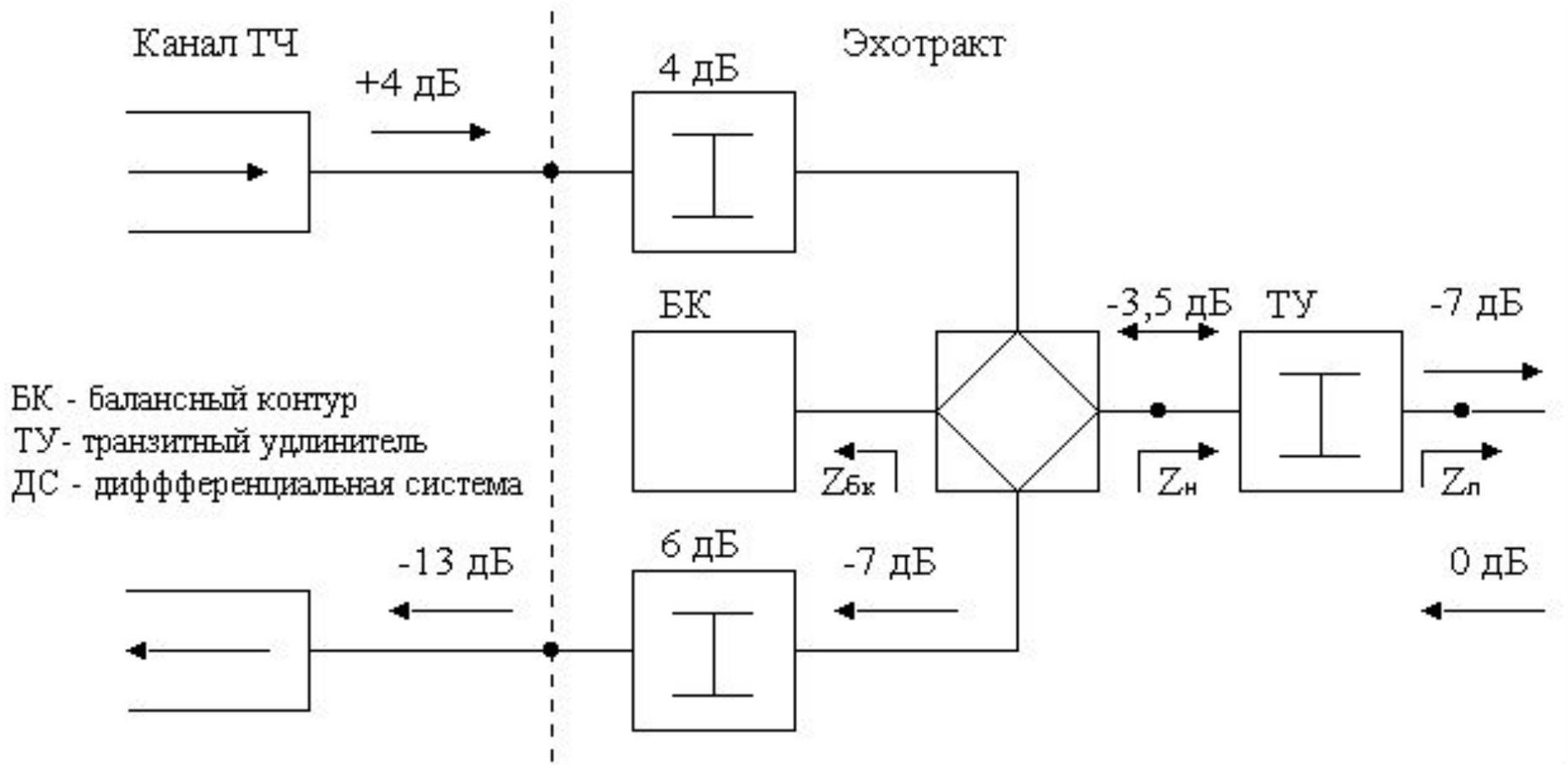
От ст. А к ст. Б



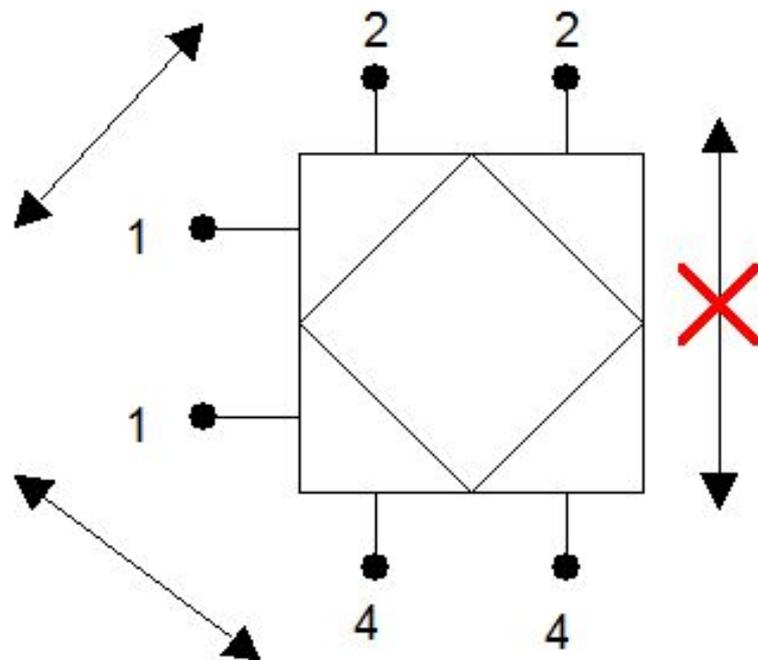
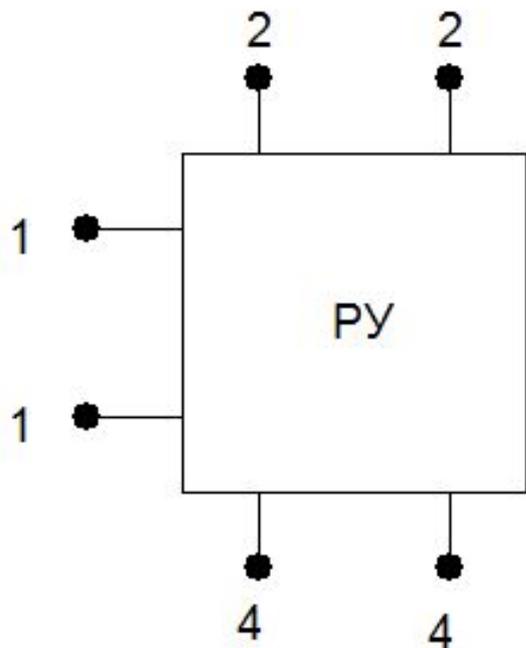
# Обобщенная структурная схема двустороннего канала



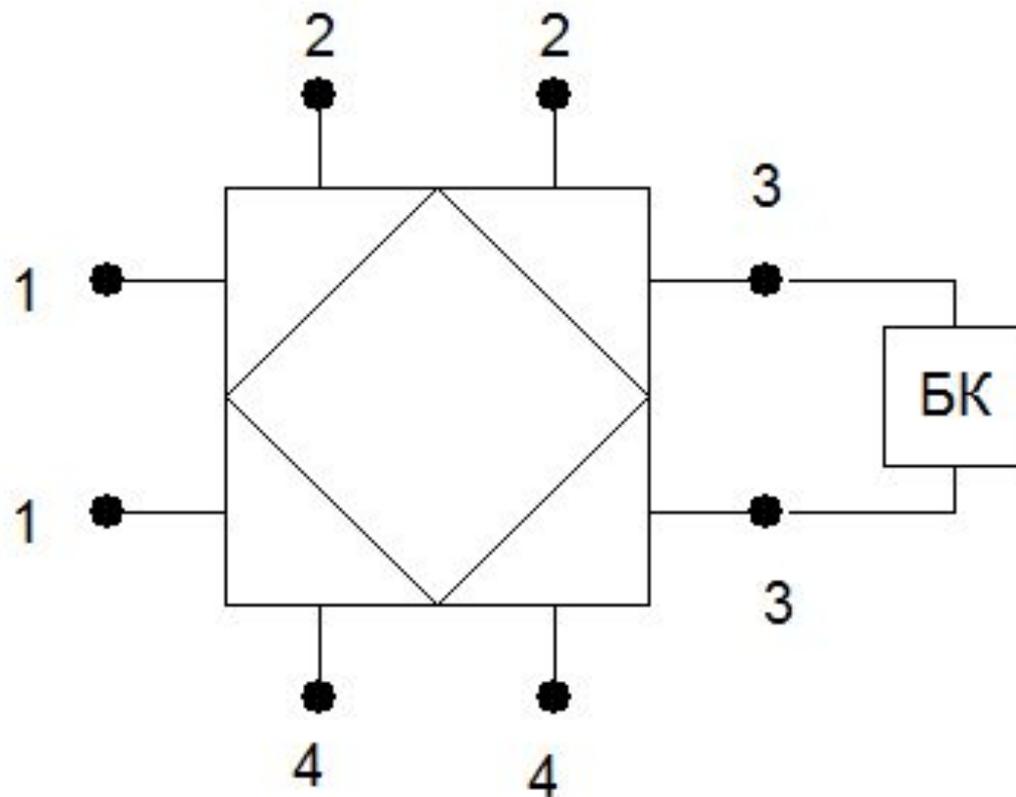
# Двухпроводное окончание телефонного канала



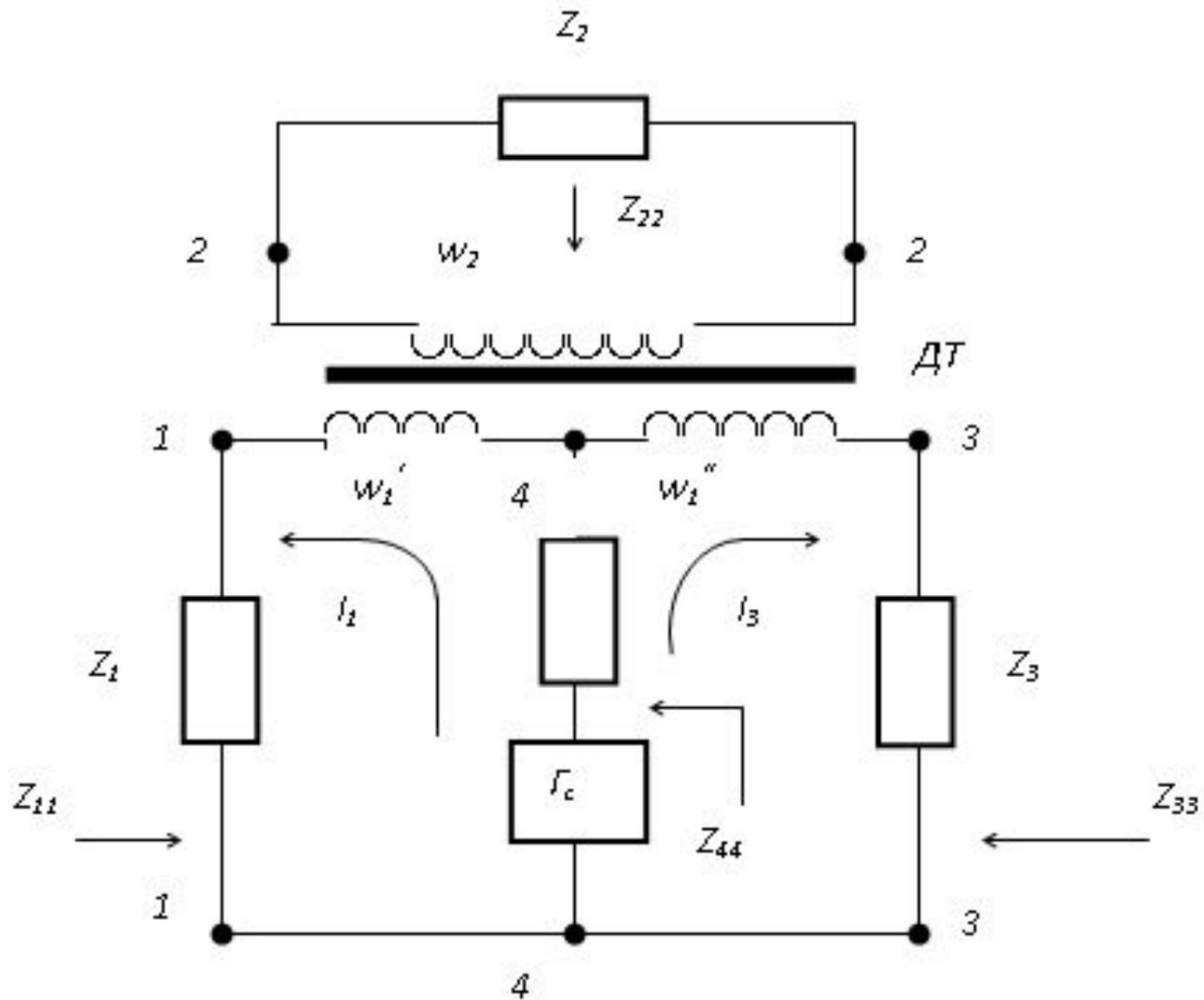
# Развязывающие устройства



# Дифференциальная система



# Трансформаторная дифференциальная система



# Расчетные соотношения

$$n = \frac{w_1' + w_1''}{w_2} = \frac{w_1'}{w_2}; n_1 = \frac{w_1'}{w_2}; n_2 = \frac{w_1''}{w_2}; n = n_1 + n_2; \eta = \frac{w_1'}{w_1''}$$

$$I_1 w_1' = I_3 w_1'' \text{ или } \frac{I_3}{I_1} = \frac{w_1'}{w_1''} = \eta \quad I_1 Z = I_3 Z_3 \quad \text{или} \quad \frac{I_3}{I_1} = \frac{Z_1}{Z_3} = \eta$$

$$Z_3 = Z_1 \frac{I_1}{I_3} = Z_1 \frac{w_1'}{w_1''} = \frac{Z_1}{\eta}, \quad Z_3 = Z_1 / \eta, \quad I_3 = \eta I_1 \quad \text{или} \quad I_1 = I_3 / \eta$$

$$Z_{44} = \frac{Z_1 Z_3}{Z_1 + Z_3} = \frac{Z_1 Z_1 / \eta}{Z_1 + Z_1 / \eta} = Z_1 \frac{1}{1 + \eta} \quad Z_2 = Z_{22} = Z_1 \frac{1 + \eta}{\eta^2}$$

$$\mathbf{W}_1 = \mathbf{I}^2 \mathbf{Z}_1 \quad \text{и} \quad \mathbf{W}_3 = \mathbf{I}^3 \mathbf{Z}_3 = \mathbf{I}^2 \mathbf{Z}_1 / \eta$$

$$\mathbf{W}_2 = \mathbf{I}^2 \mathbf{Z}_1 + \mathbf{I}^2 \mathbf{Z}_1 / \eta = \mathbf{I}^2 \mathbf{Z}_1 (1 + 1 / \eta)$$

# Расчетные соотношения

$$A_{12} = A_{21} = 10 \lg \frac{W_2}{W_1} = 10 \lg \frac{I^2 Z_1 (1 + 1/\eta)}{I^2 Z_1} = 10 \lg \frac{1 + \eta}{\eta}$$

$$A_{23} = A_{32} = 10 \lg \frac{W_2}{W_3} = 10 \lg \frac{I^2 Z_1 (1 + 1/\eta)}{I^2 Z_1 / \eta} = 10 \lg(1 + \eta)$$

$$A_{41} = A_{15} = 10 \lg \frac{W_4}{W_1} = 10 \lg \frac{I_1^2 Z_1 (1 + \eta)}{I_1^2 Z_1} = 10 \lg(1 + \eta)$$

$$A_{43} = A_{34} = 10 \lg \frac{W_4}{W_3} = 10 \lg \frac{I_1^2 Z_1 (1 + \eta)}{I_1^2 Z_1 \eta} = 10 \lg\left(1 + \frac{1}{\eta}\right)$$

# Неуравновешенная дифсистема

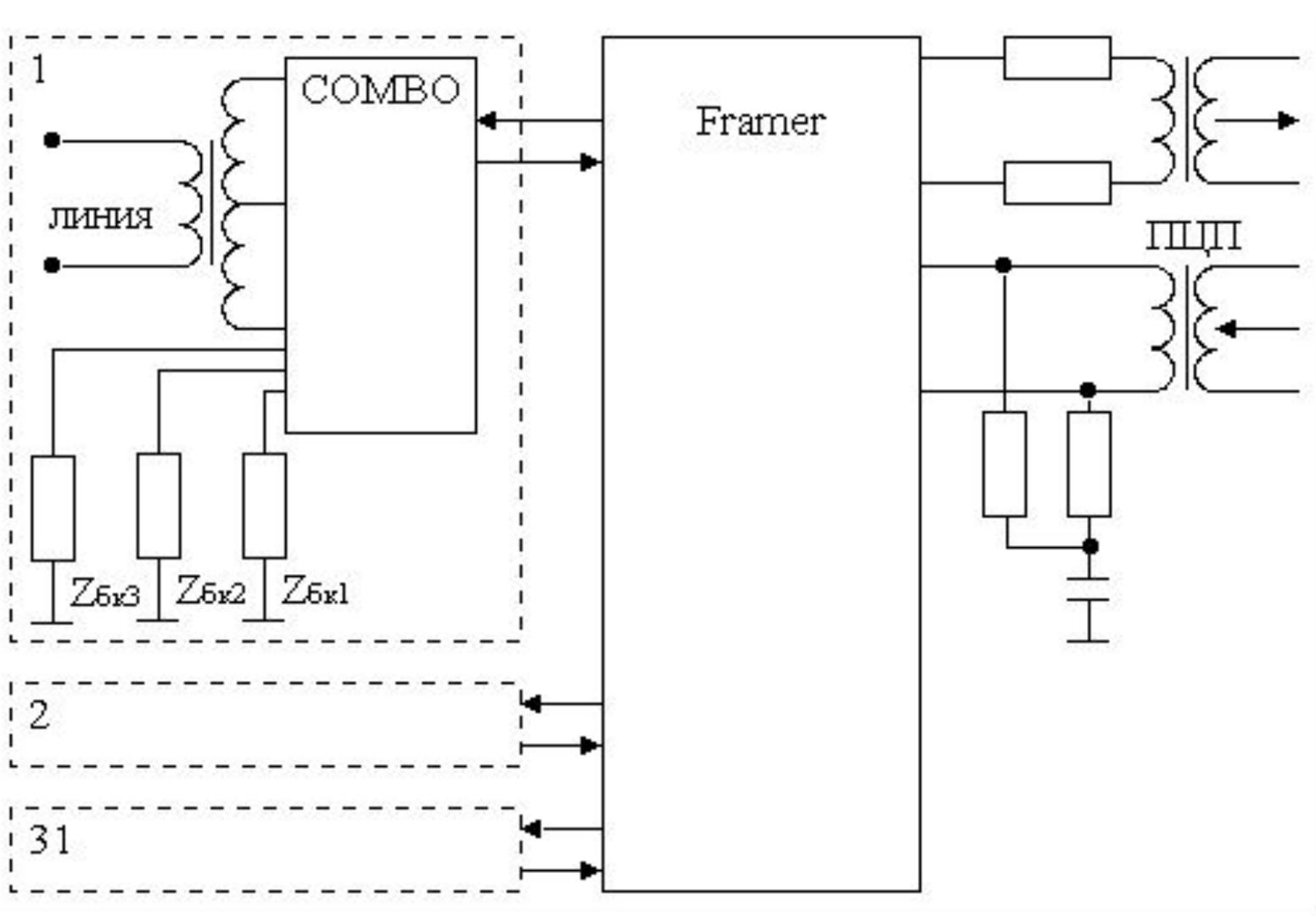
$$A_{отпр} = 20 \lg \left| \frac{Z_{л} + Z_{11}}{Z_{л} - Z_{11}} \right|$$

$$\mathbf{A}_{42} = \mathbf{A}_{41} + \mathbf{A}_{отпр} + \mathbf{A}_{12}$$

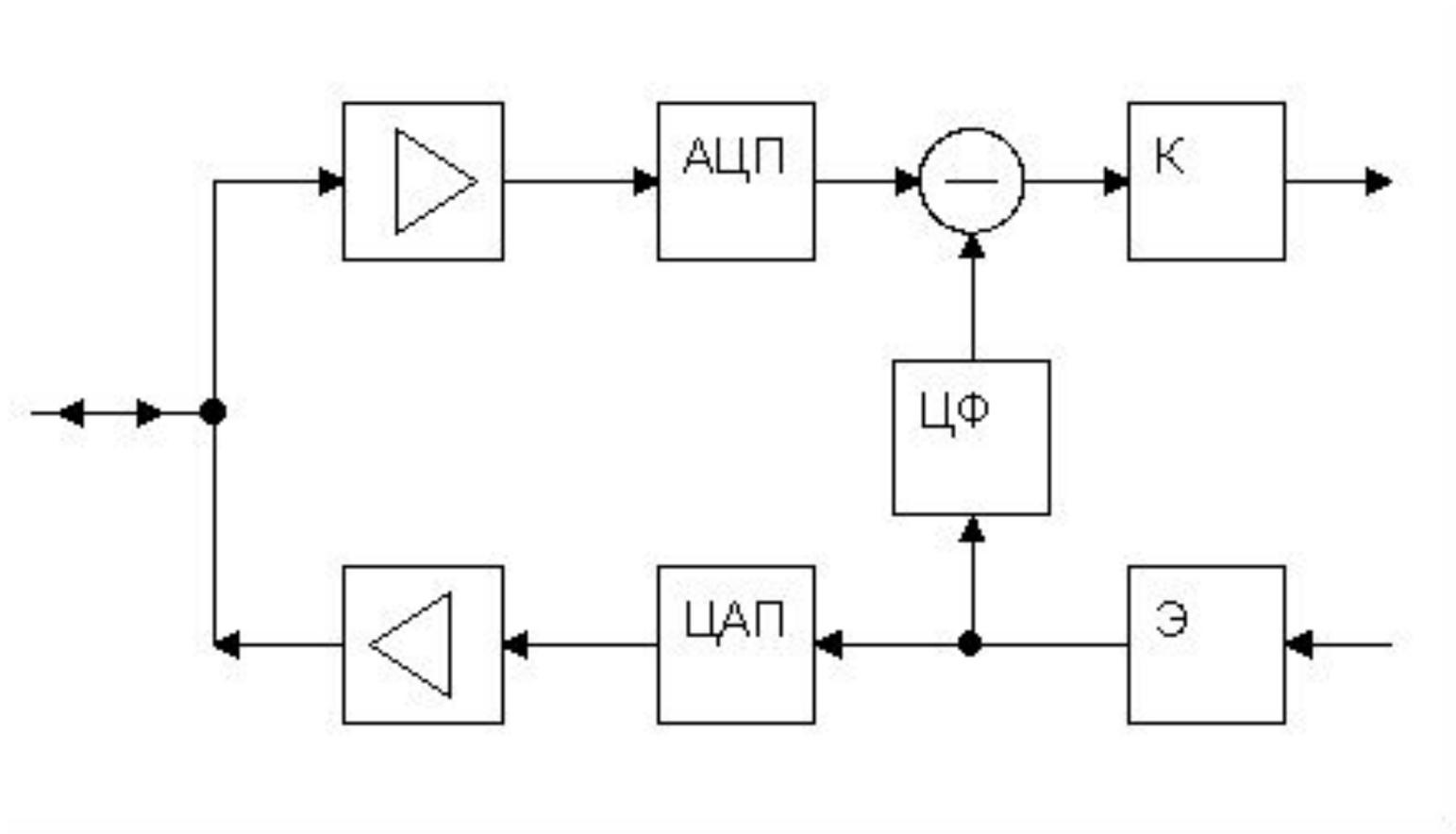
$$A_{42} = 10 \lg(1 + \eta) + 20 \lg \left| \frac{Z_{л} + Z_{11}}{Z_{л} - Z_{11}} \right| + 10 \lg \left( 1 + \frac{1}{\eta} \right) = 10 \lg \frac{(1 + \eta)^2}{\eta} + A_{\varepsilon}$$

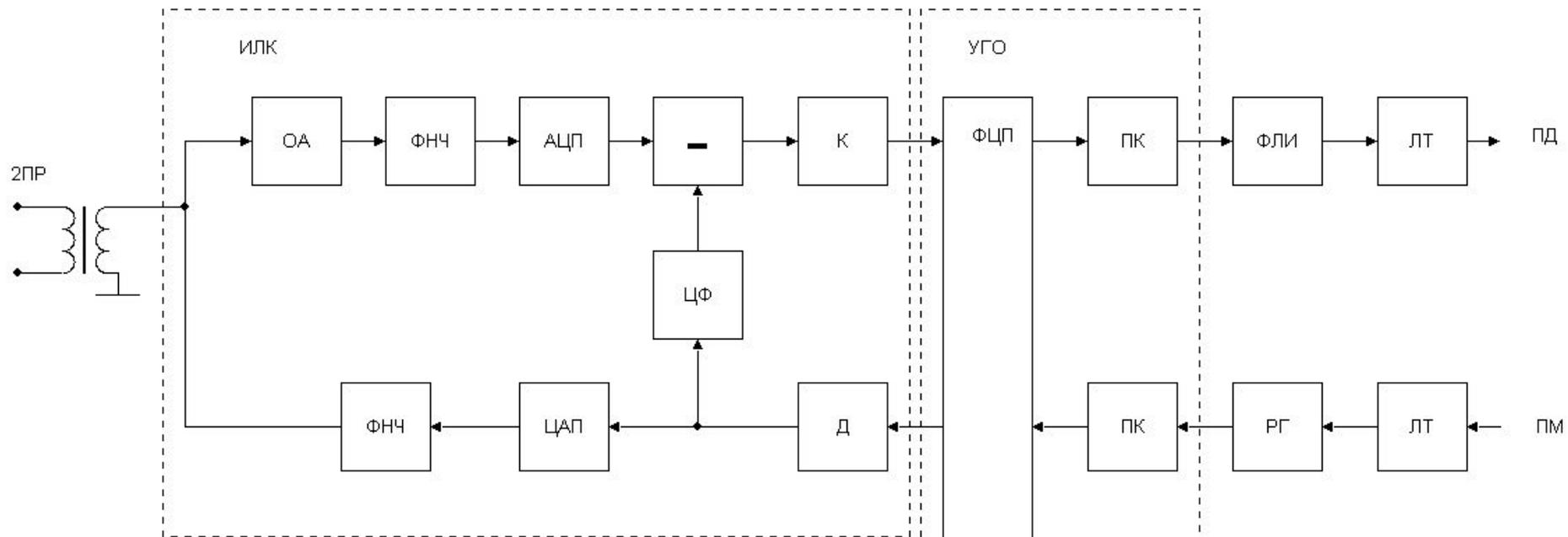
$$A_{\varepsilon} = A_{отпр} = 20 \lg \left| \frac{Z_{л} + Z_{11}}{Z_{л} - Z_{11}} \right| + 20 \lg \left| \frac{Z_{л} + \eta Z_{\varepsilon}}{Z_{л} - \eta Z_{\varepsilon}} \right|$$

# Дифференциальная система на основе COMBO



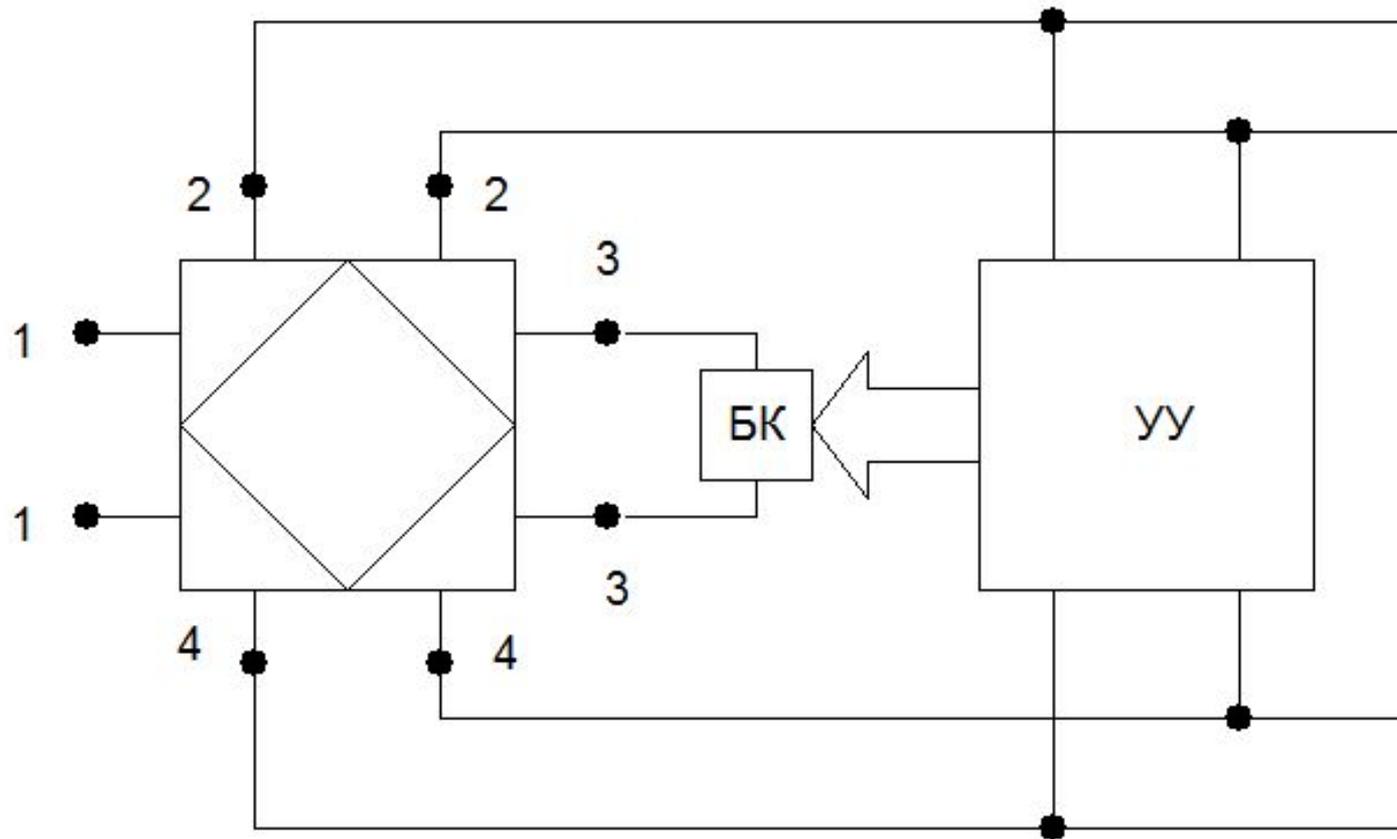
# Дифференциальная система на основе кофидека



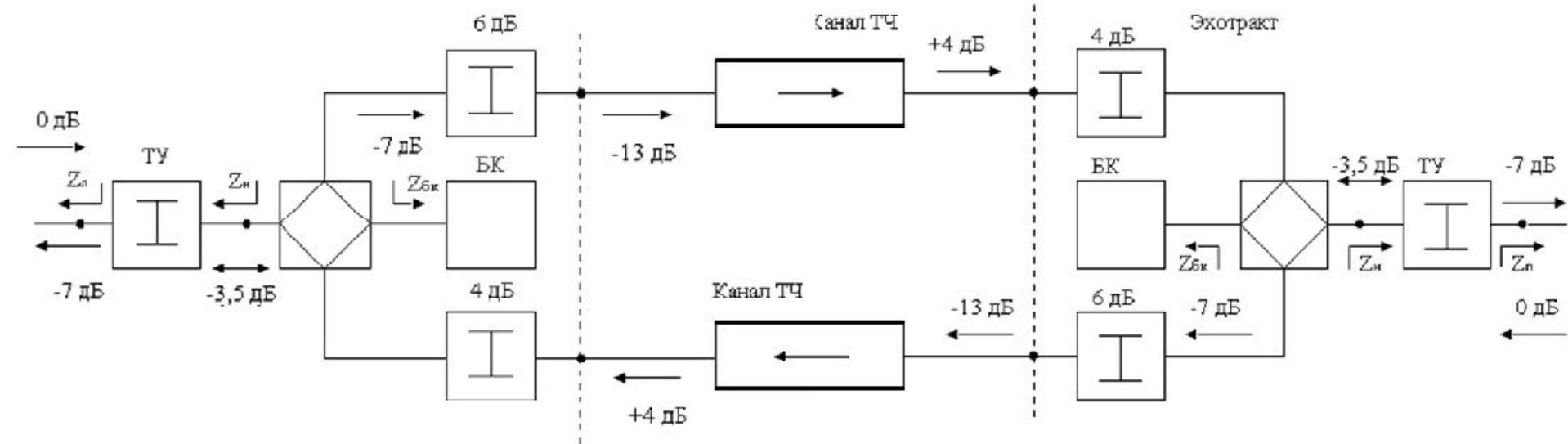


ИЛК - интерфейс линейного комплекта  
 ОА - ограничитель амплитуд  
 ФНЧ - фильтр нижних частот  
 АЦП - аналого-цифровой преобразователь  
 ЦФ - цифровой фильтр  
 К - кодер  
 ФЦП - формирователь потока  
 ПК - преобразователь кода  
 ФЛИ - формирователь линейных импульсов  
 ЛТ - линейный трансформатор  
 РГ - регенератор  
 Д - декодер  
 ЦАП - цифроаналоговый преобразователь  
 УГО - узел группообразования

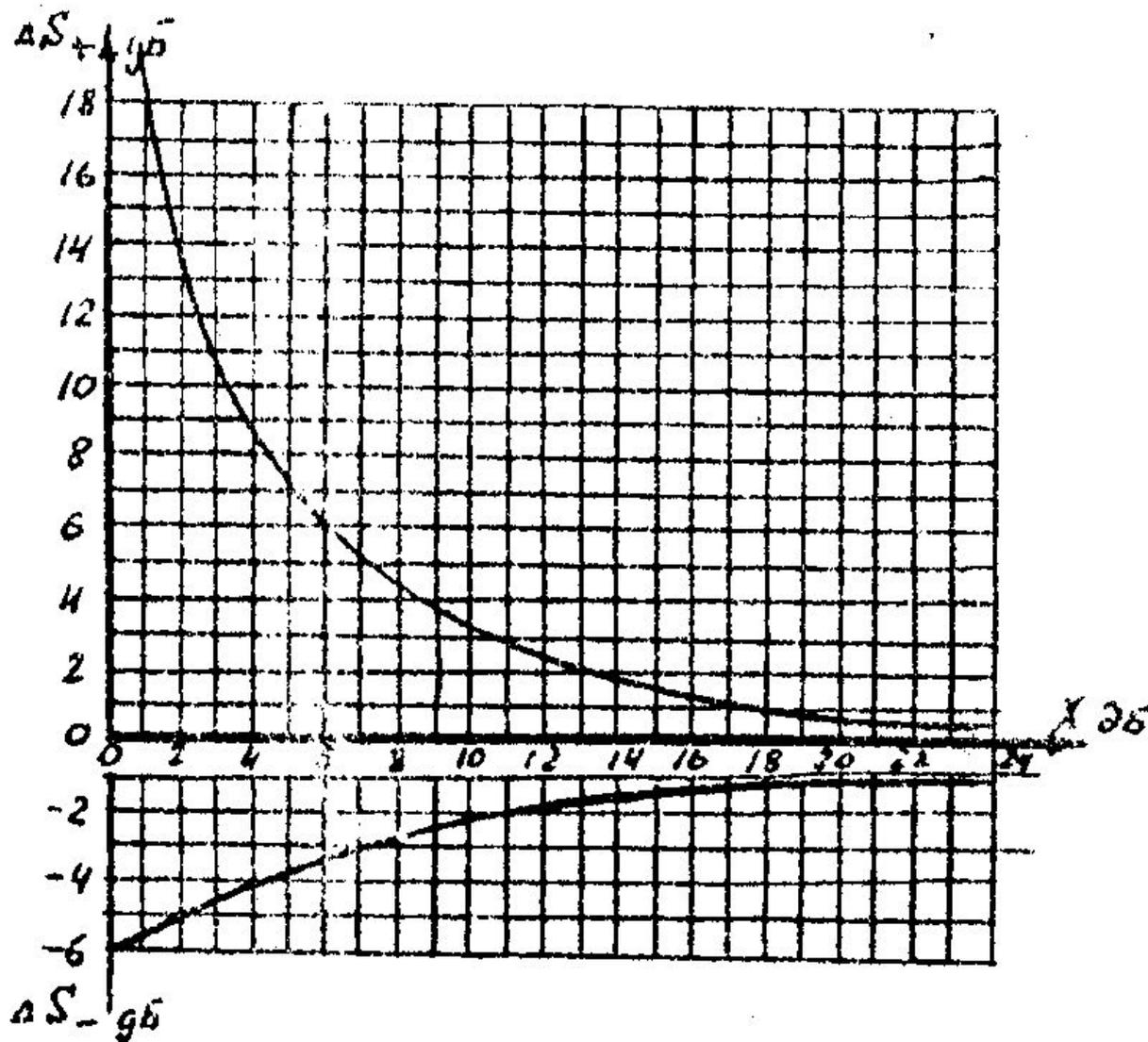
# Самобалансирующаяся (адаптивная) дифференциальная система



# Канал как замкнутая система

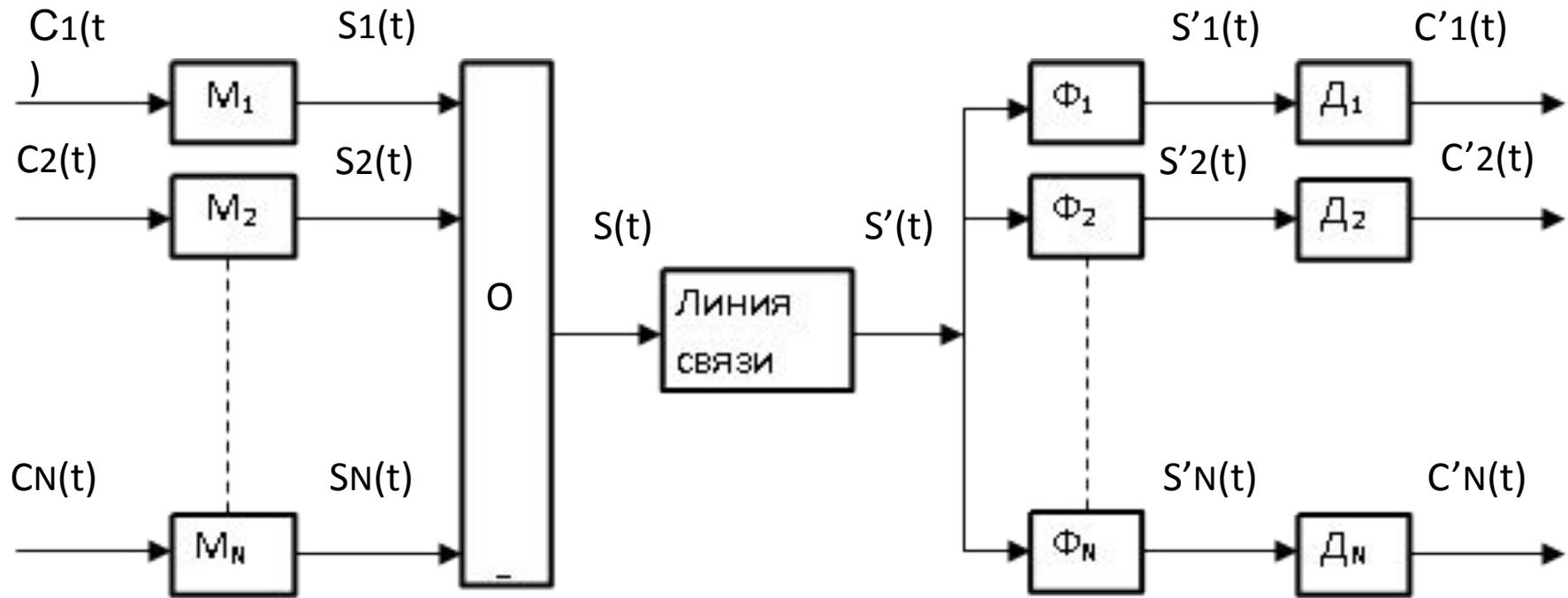


# Искажения от обратной связи

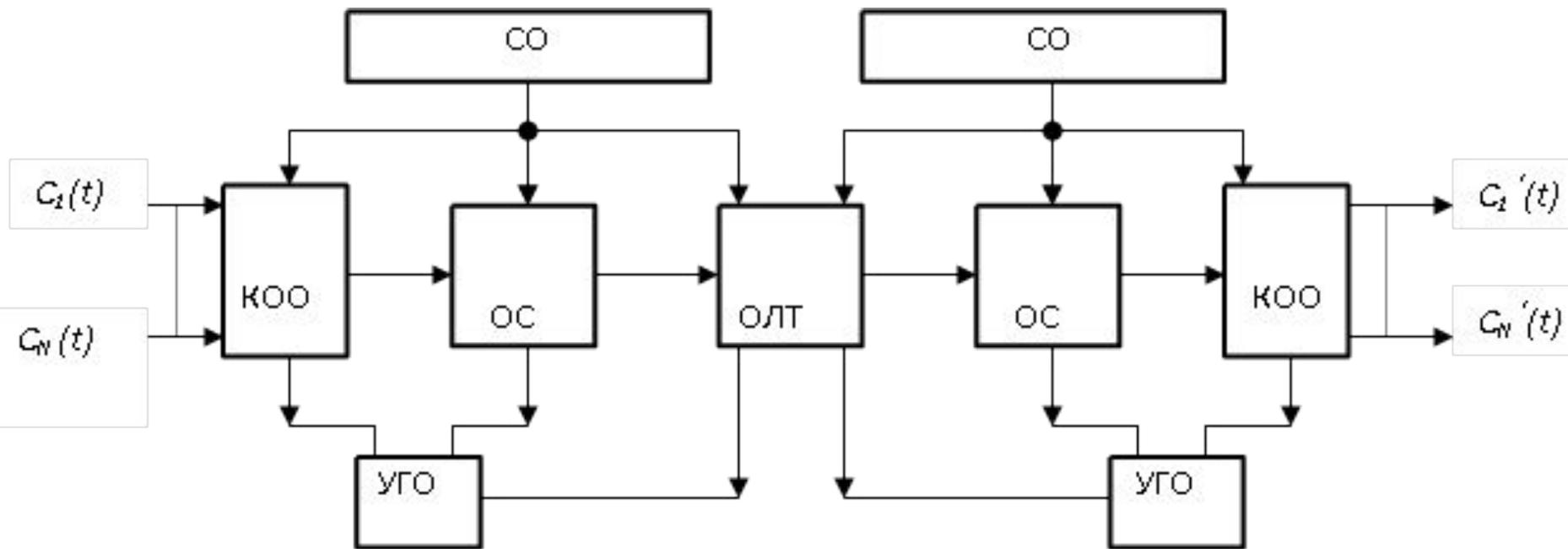


# Частотное разделение каналов (ЧРК)

# Обобщенная структурная схема многоканальной системы передачи



# Унифицированное оборудование многочанальных систем передачи



# Формирование канальных сигналов при амплитудной модуляции

$$\Psi(t) = U_{\omega} \cos(\omega t + \varphi_{\omega}) = U_{\omega} \cos(2\pi f t + \varphi_{\omega}),$$

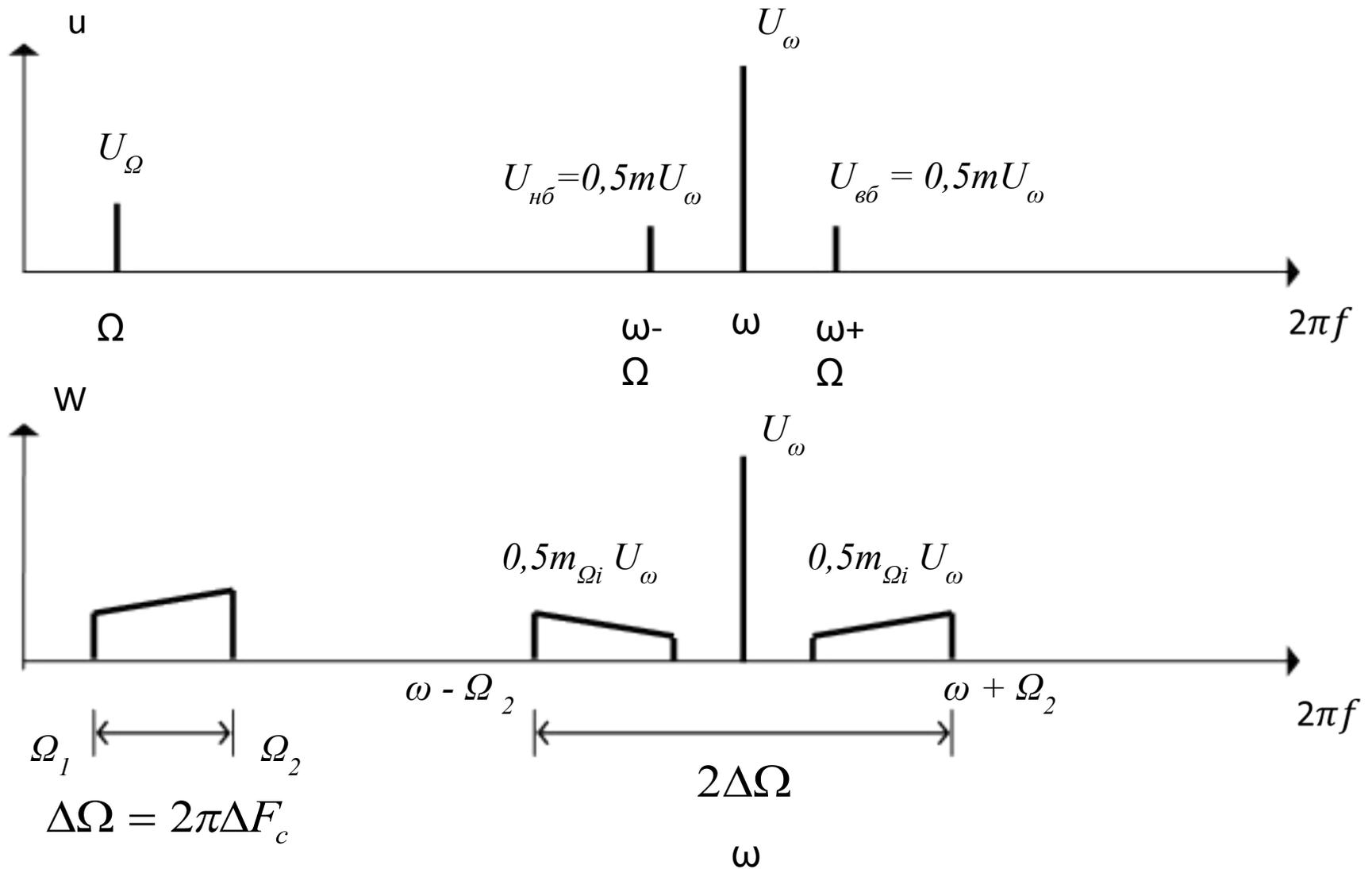
$$c(t) = \sum_{\Omega_i=\Omega_1}^{\Omega_2} U_{\Omega_i} \cos(\Omega_i t + \varphi_{\Omega_i}), \quad c(t) = U_{\Omega} \cos(\Omega t + \varphi_{\Omega})$$

$$s(t) = [U_{\omega} + U_{\Omega} \cos(\Omega t + \varphi_{\Omega})] \cos(\omega t + \varphi_{\omega}) = U_{\omega} \left[ 1 + \frac{U_{\Omega}}{U_{\omega}} \cos(\Omega t + \varphi_{\Omega}) \right] \cos(\omega t + \varphi_{\omega}).$$

$$s(t) = U_{\omega} [1 + m \cos(\Omega t + \varphi_{\Omega})] \cos(\omega t + \varphi_{\omega}).$$

$$s(t) = U_{\omega} \cos(\omega t + \varphi_{\omega}) + \frac{m}{2} U_{\omega} \cos[(\omega - \Omega)t + (\varphi_{\omega} - \varphi_{\Omega})] + \frac{m}{2} U_{\omega} \cos[(\omega + \Omega)t + (\varphi_{\omega} + \varphi_{\Omega})]$$

# Спектры сигналов

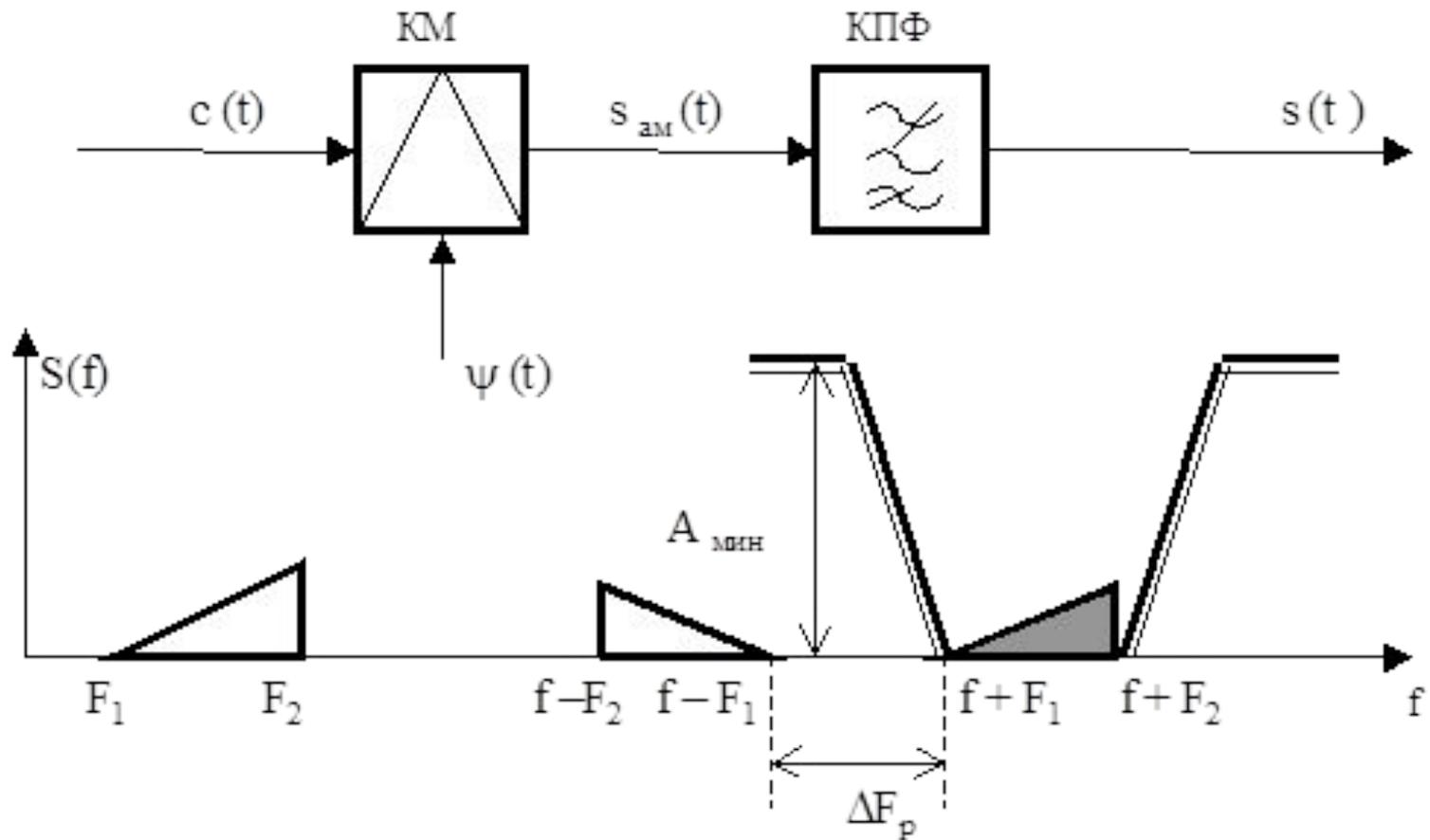


# Модулированный сигнал

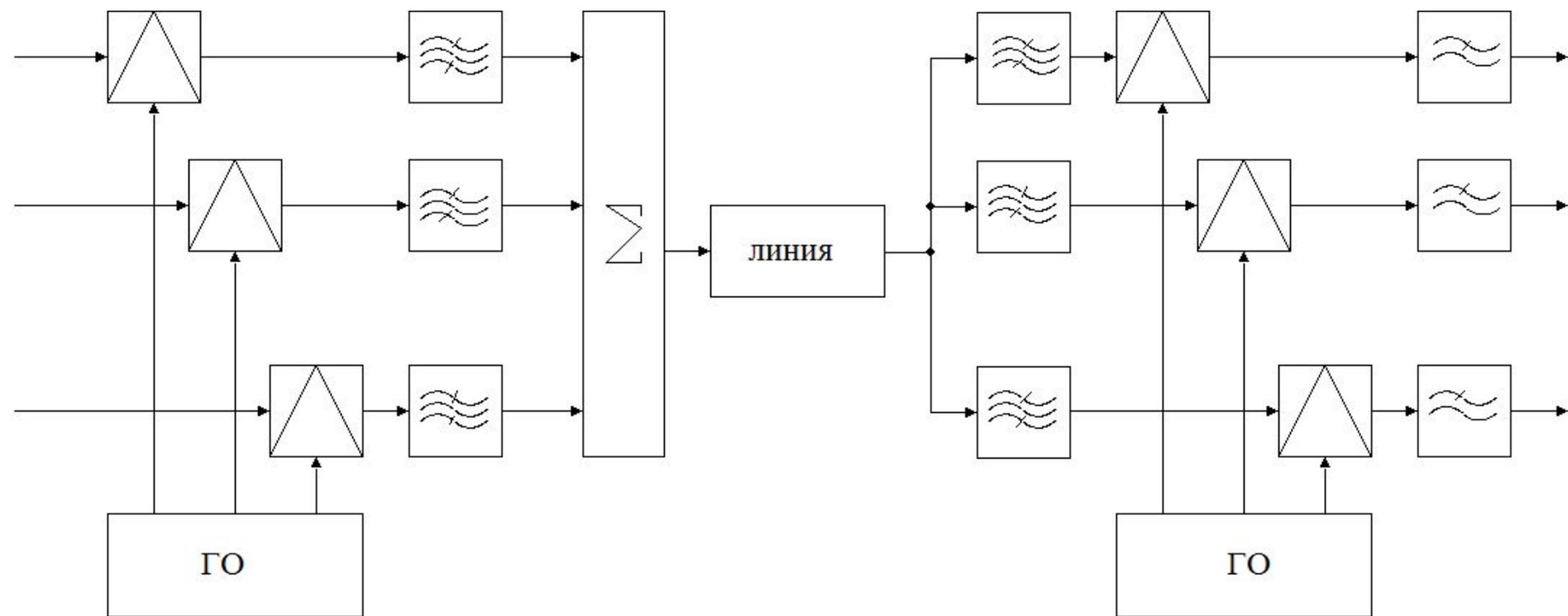
$$s(t) = U_{\omega} \left[ 1 + \sum_{\Omega_i = \Omega_1}^{\Omega_2} m_{\Omega_i} \cos(\Omega_i t + \varphi_{\Omega_i}) \right] \cos(\omega t + \varphi_{\omega})$$

$$s(t) = U_{\omega} \cos(\omega t + \varphi_{\omega}) + \frac{1}{2} U_{\omega} \sum_{\Omega_i = \Omega_1}^{\Omega_2} m_{\Omega_i} \cos[(\omega - \Omega_i)t + (\varphi_{\omega} - \varphi_{\Omega_i})] +$$
$$+ \frac{1}{2} U_{\omega} \sum_{\Omega_i = \Omega_1}^{\Omega_2} m_{\Omega_i} \cos[(\omega + \Omega_i)t + (\varphi_{\omega} + \varphi_{\Omega_i})]$$

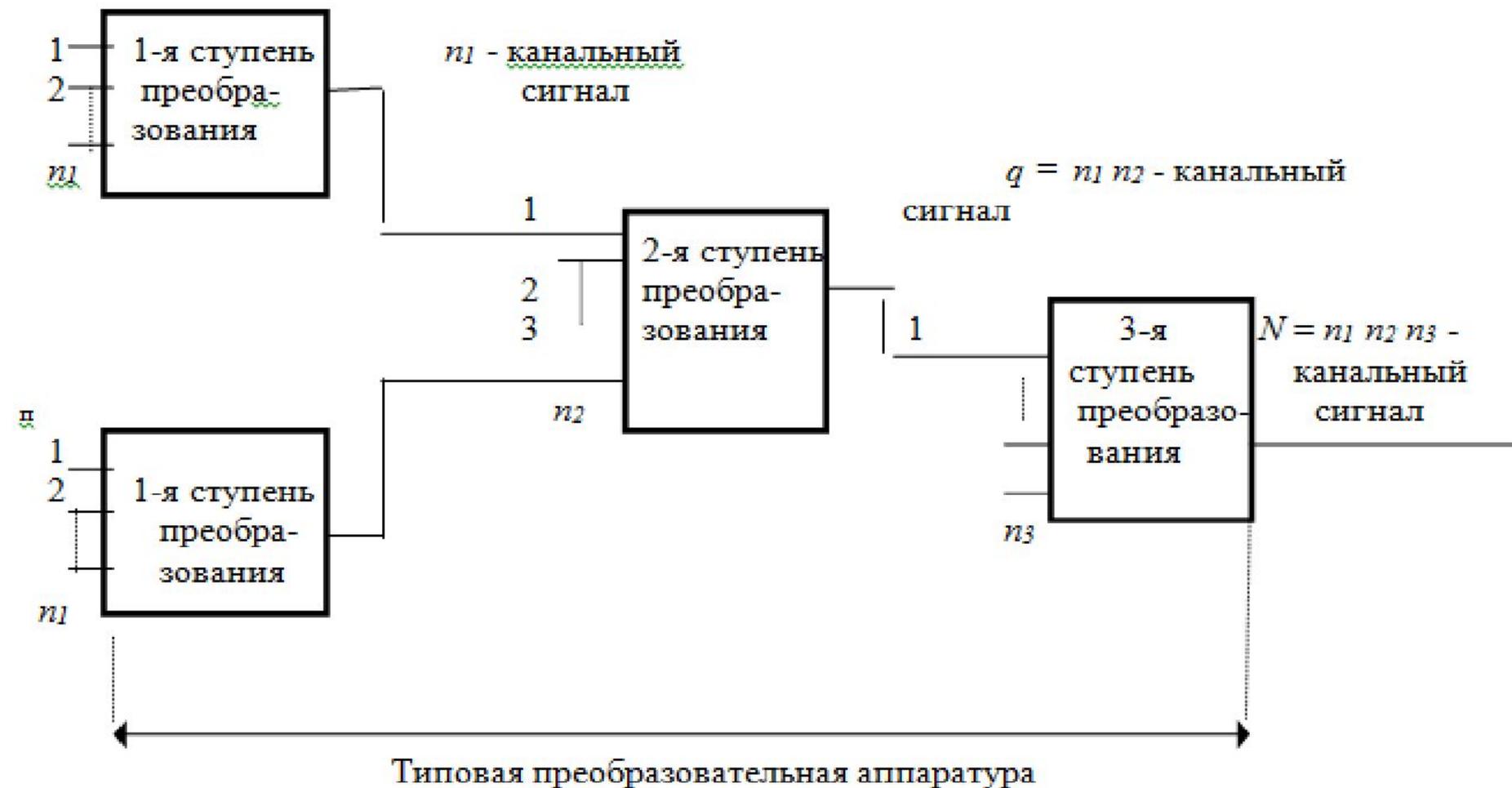
# Фильтровой метод выделения одной боковой полосы



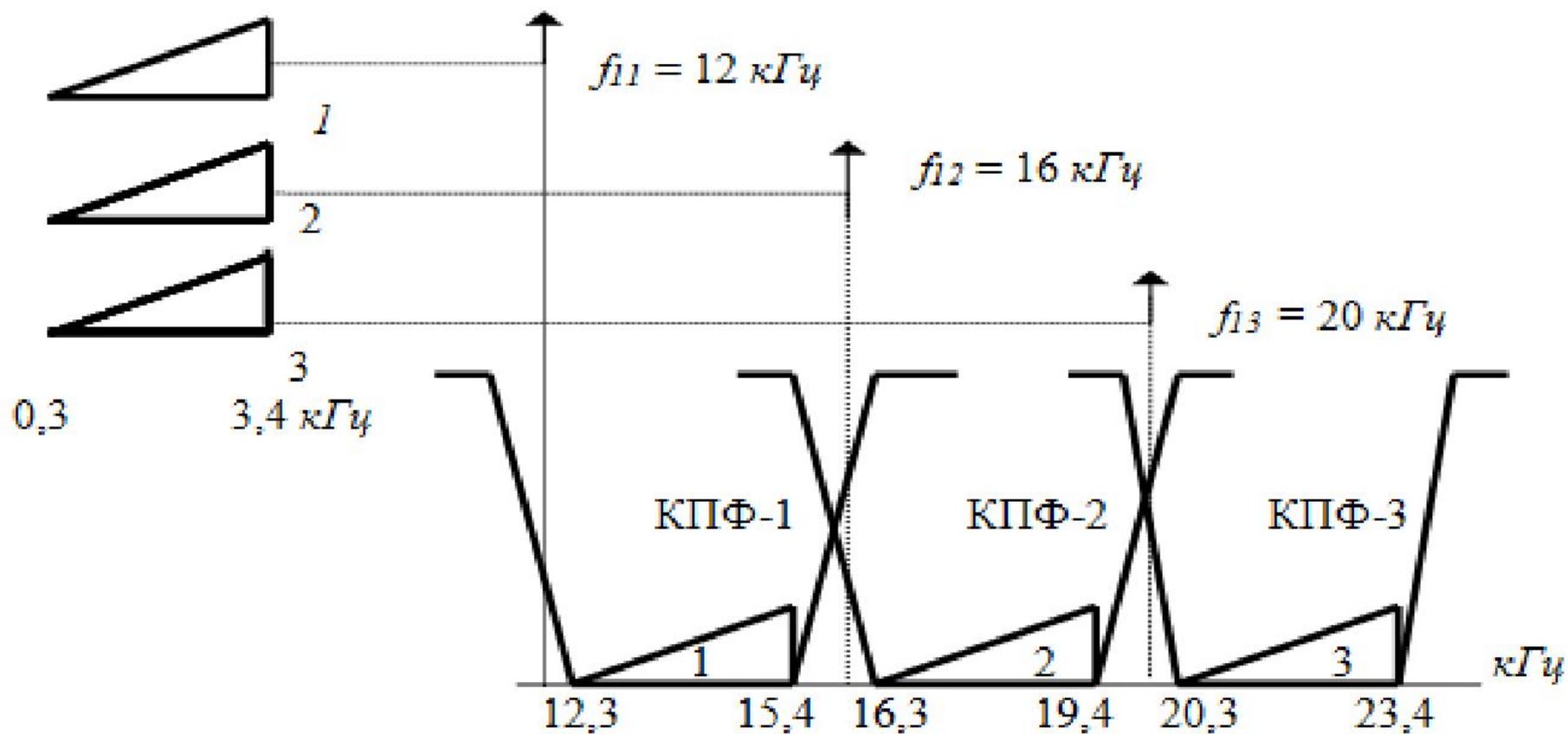
# Схема КОО с ЧРК



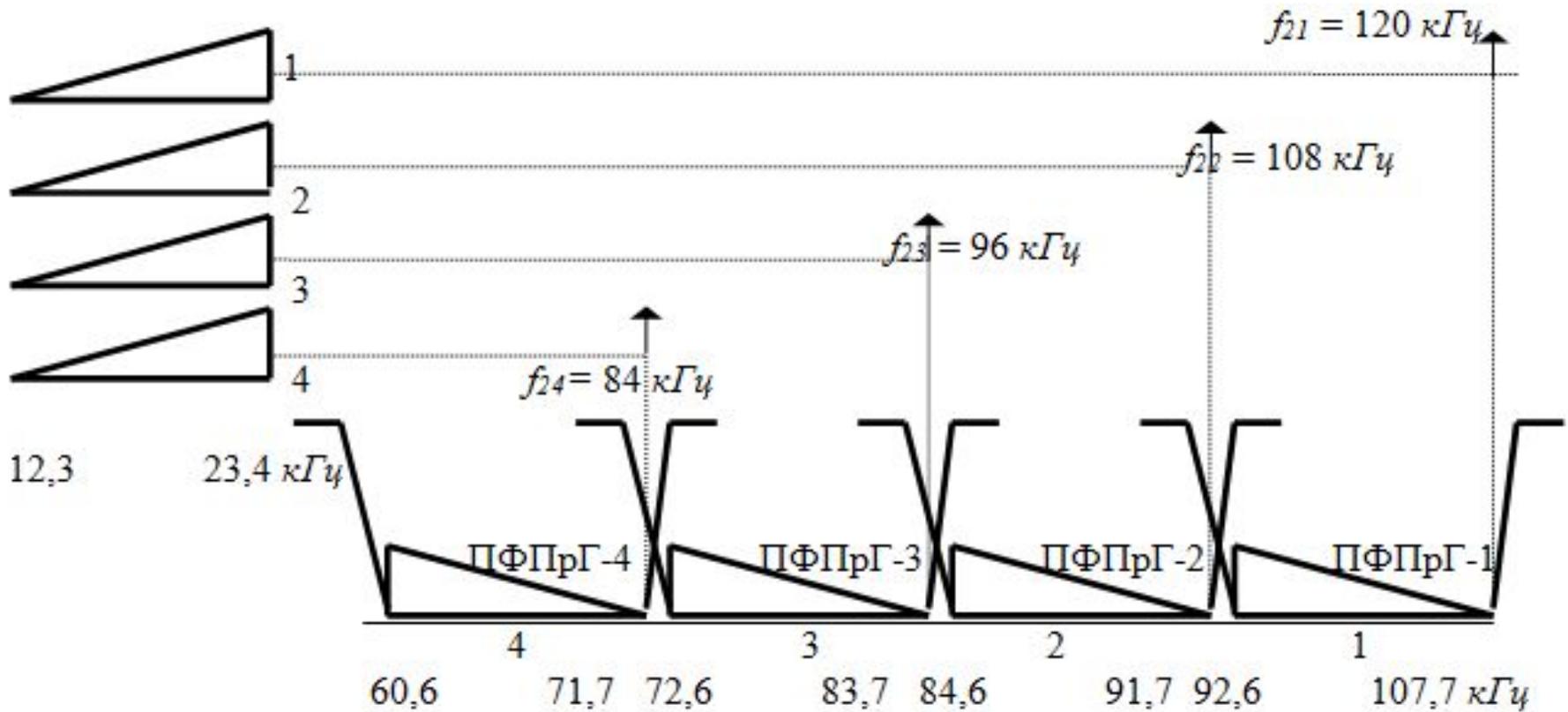
# Группообразование



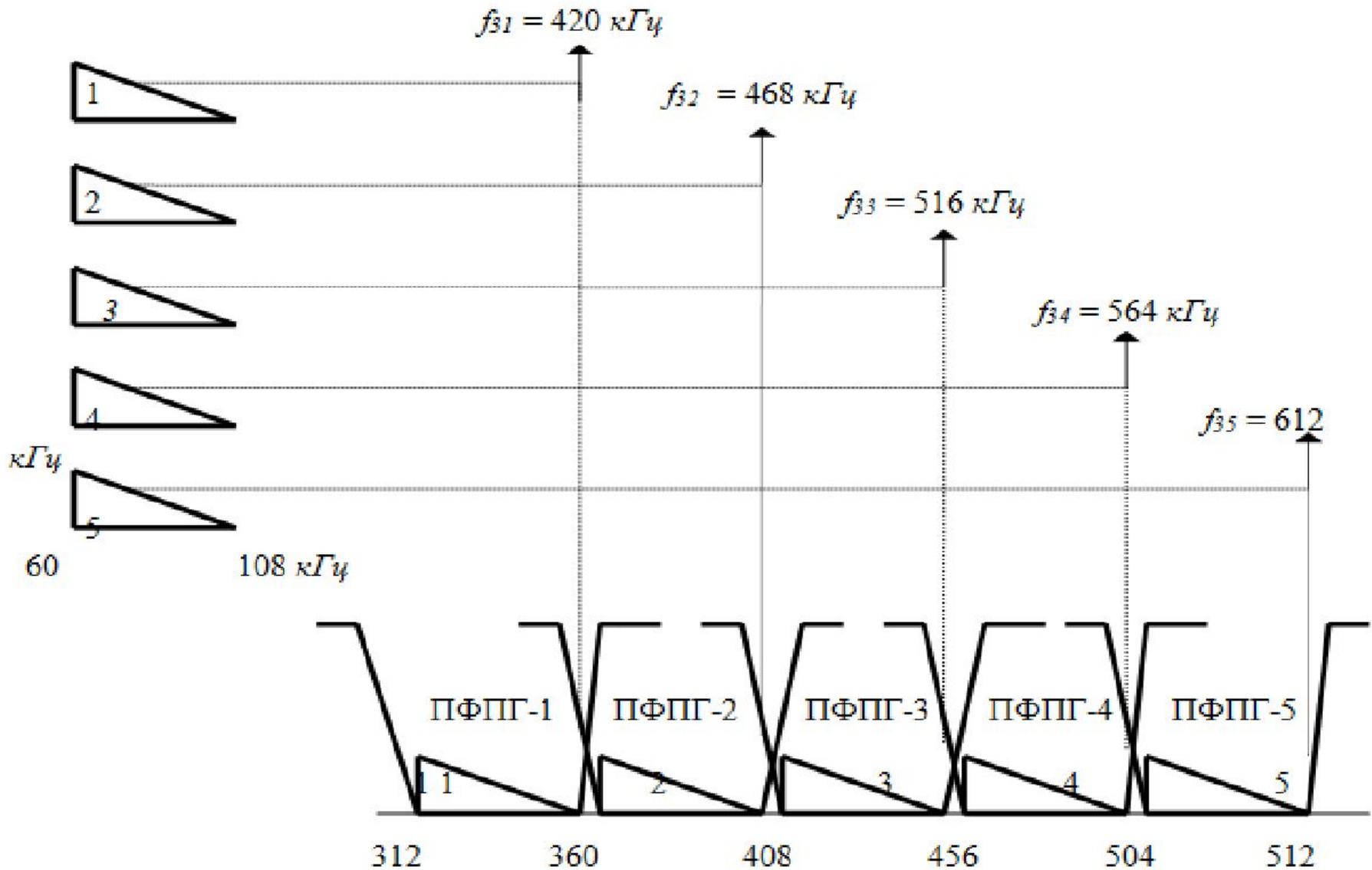
# Предгруппа



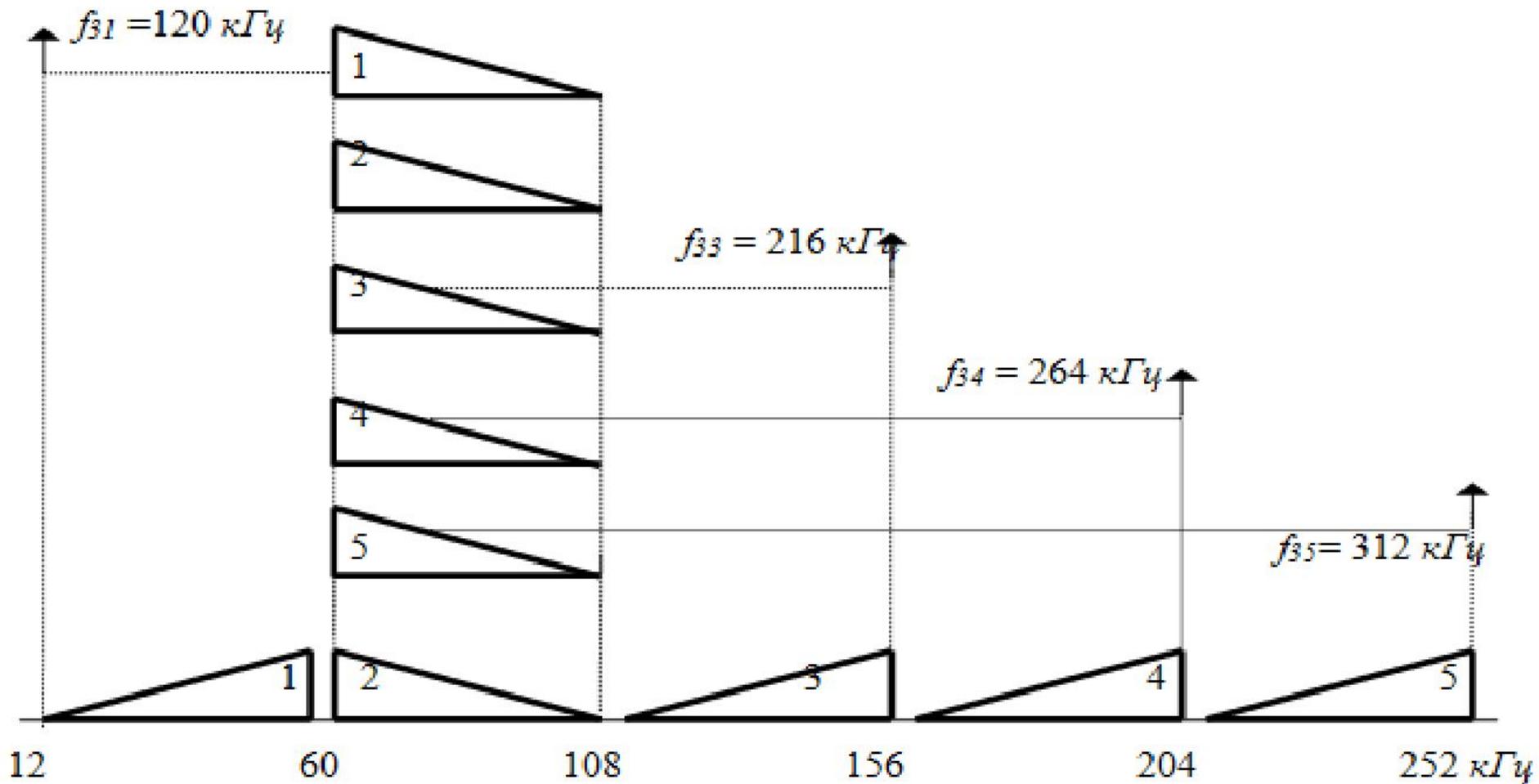
# Первичная группа



# Вторичная группа

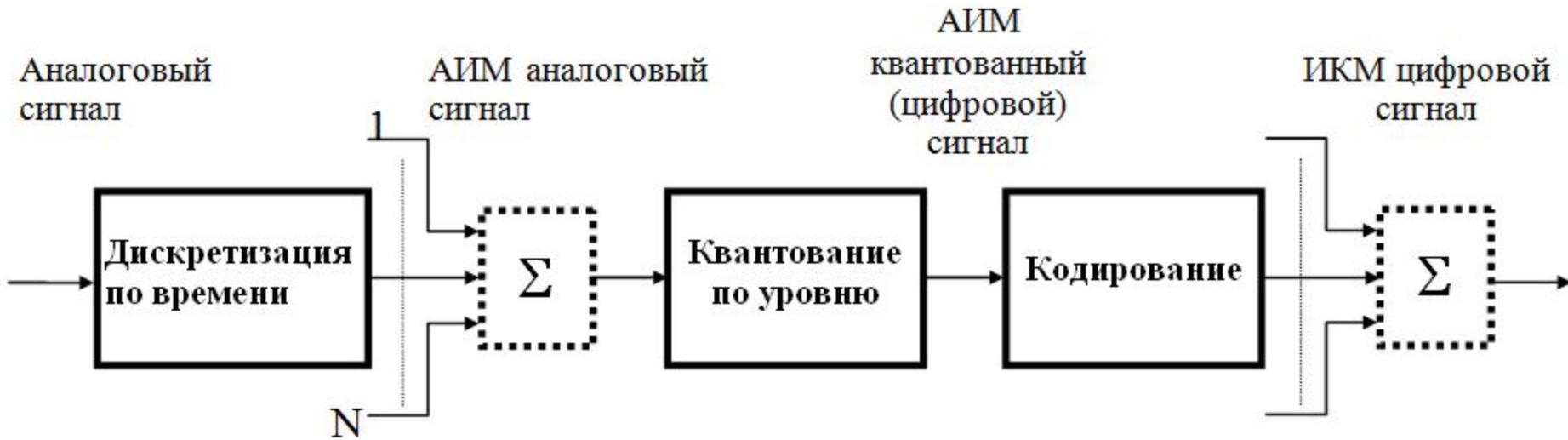


# Линейный спектр К60

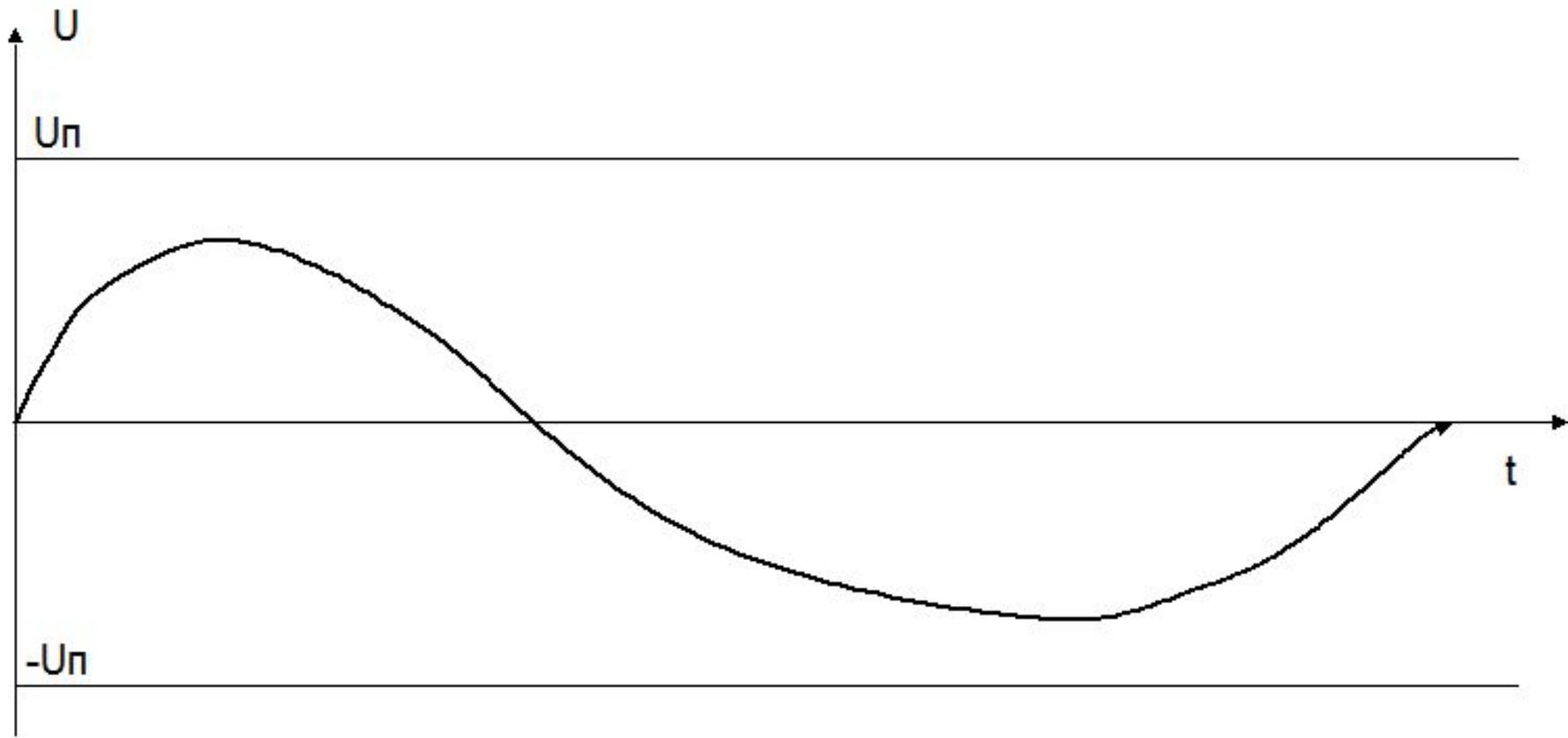


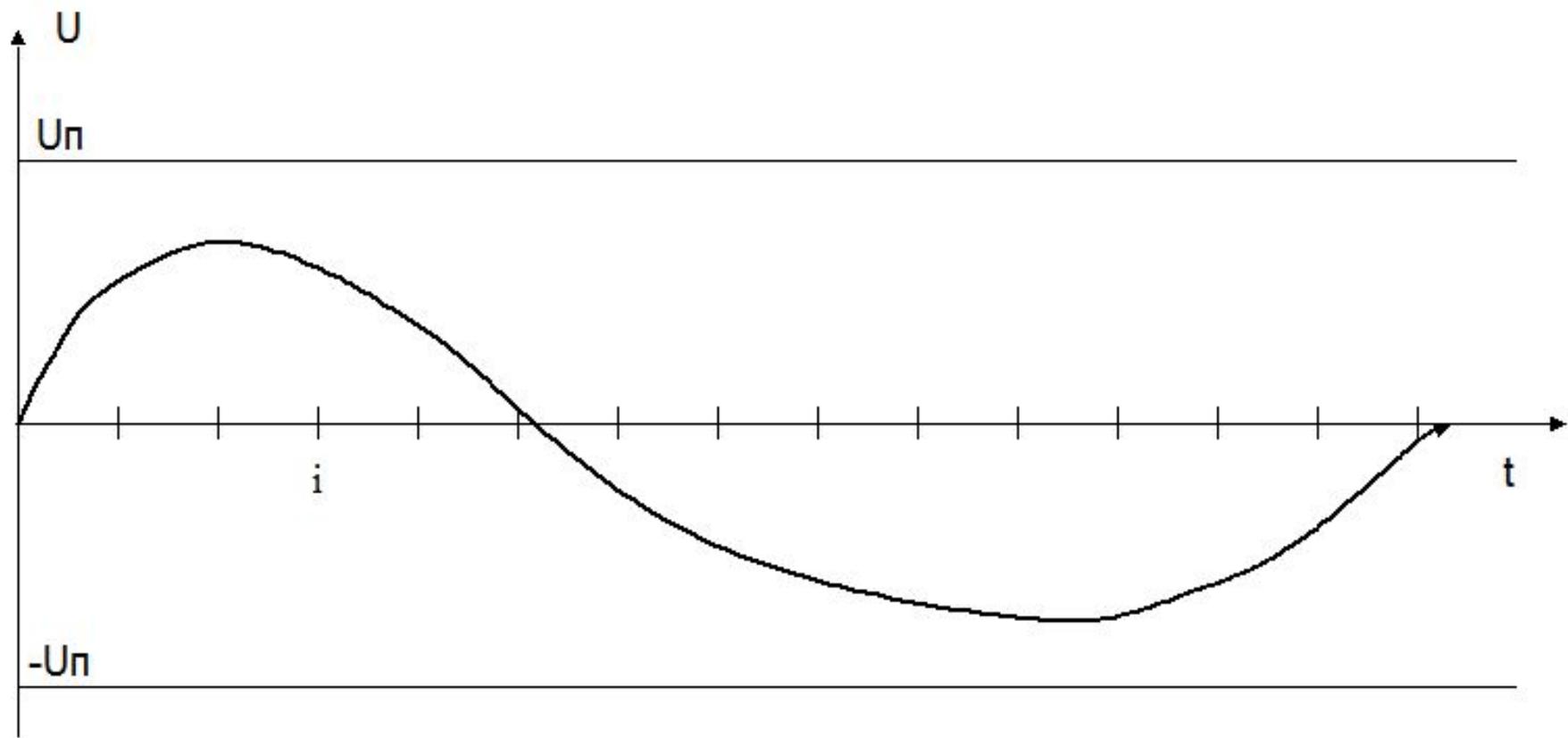
# Основы построения цифровых систем передачи

# Этапы формирования цифрового сигнала

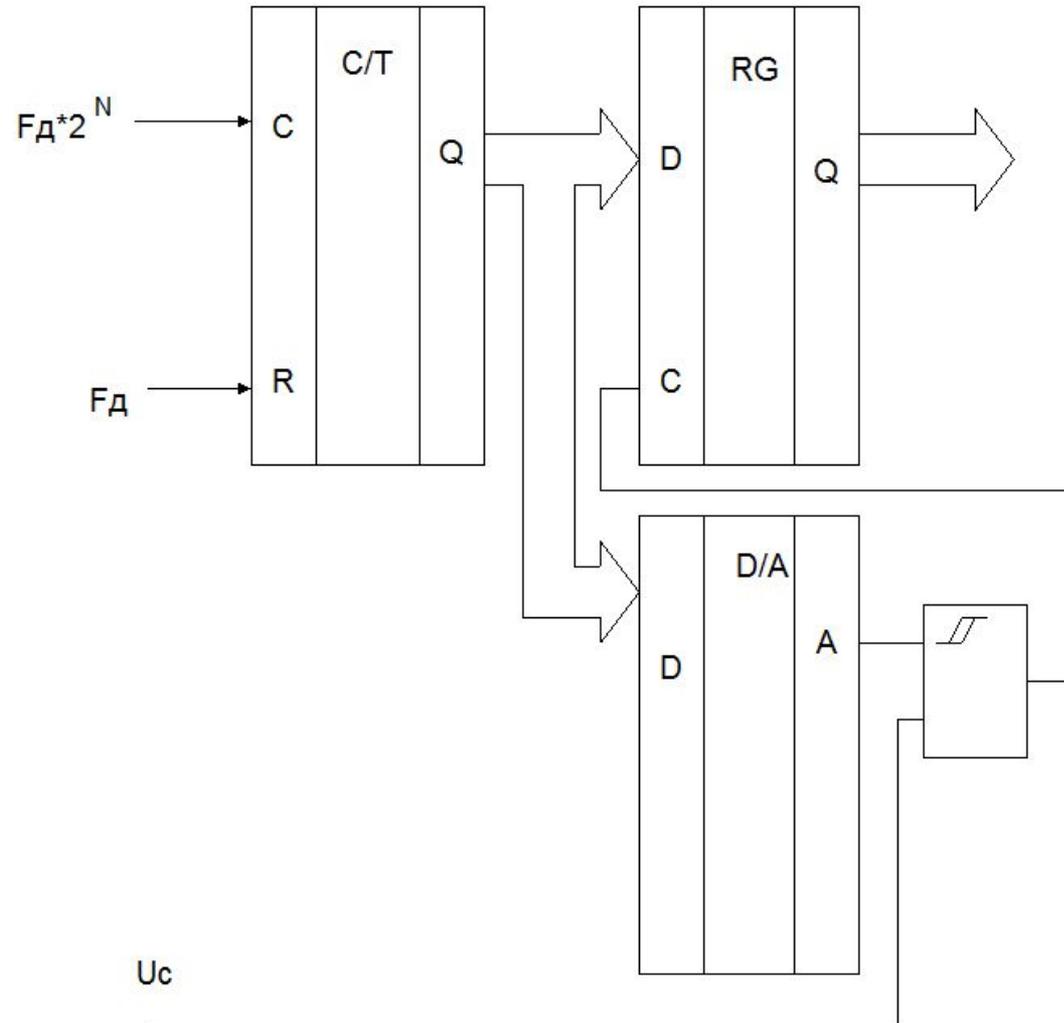


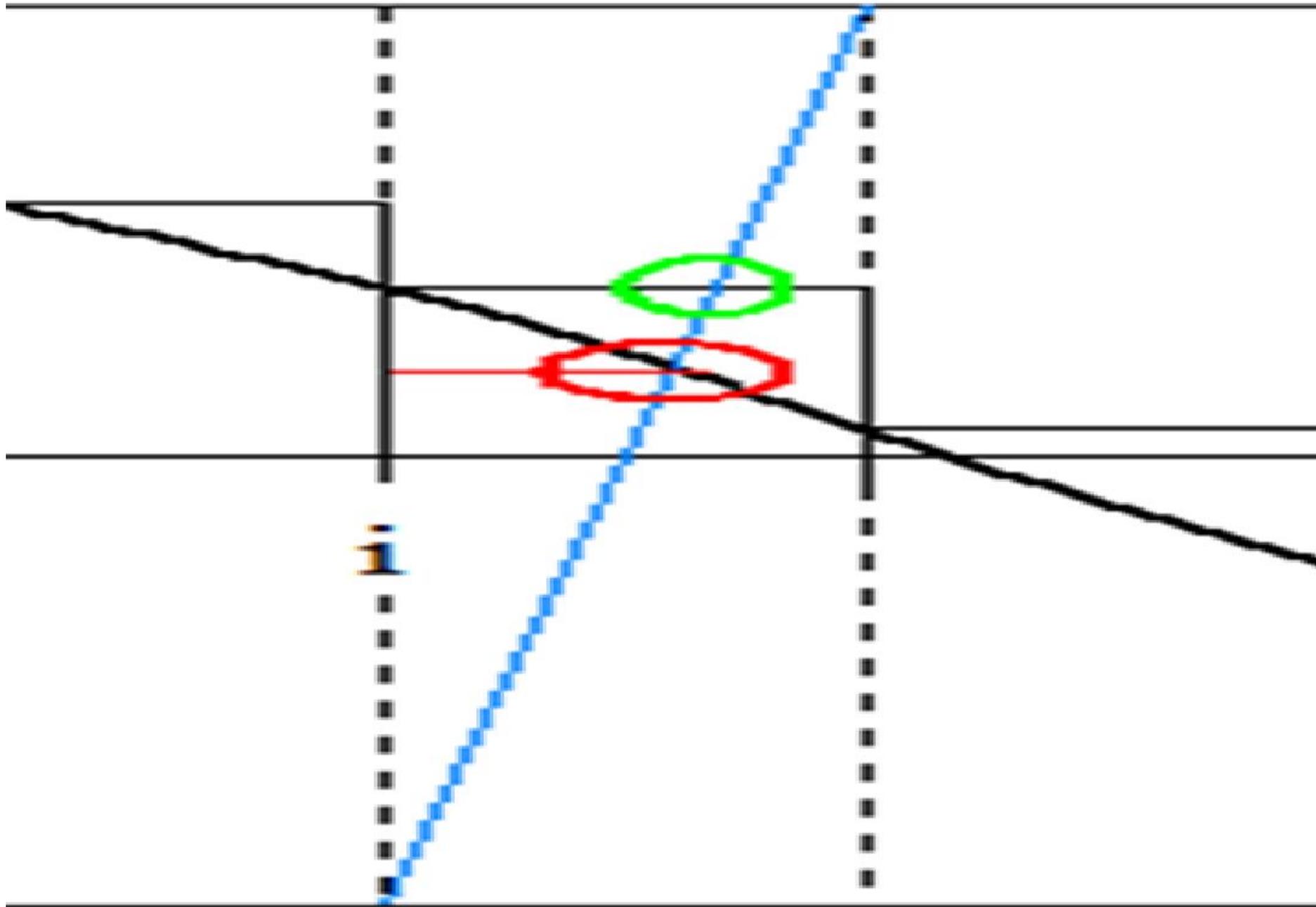
# Дискретизация по времени

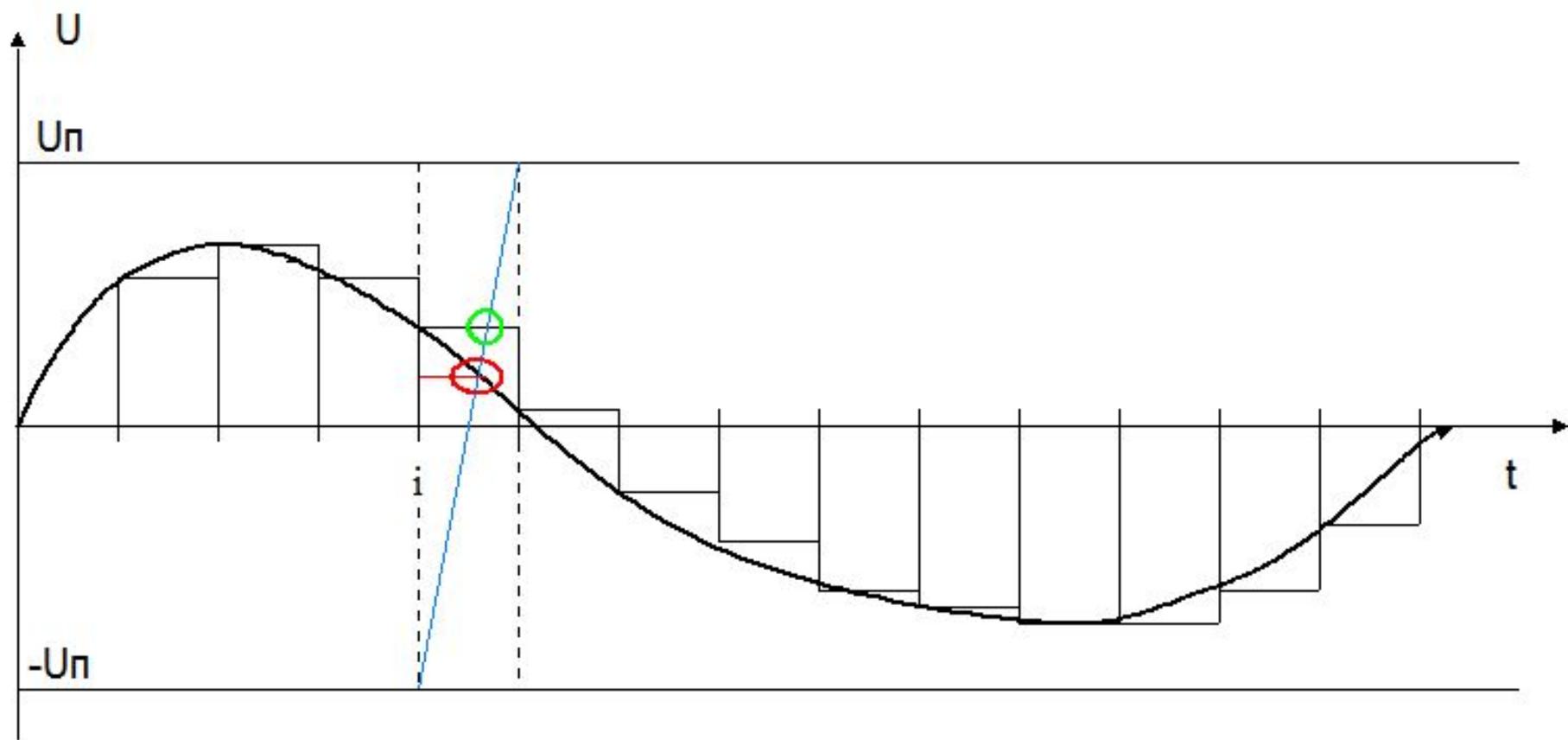


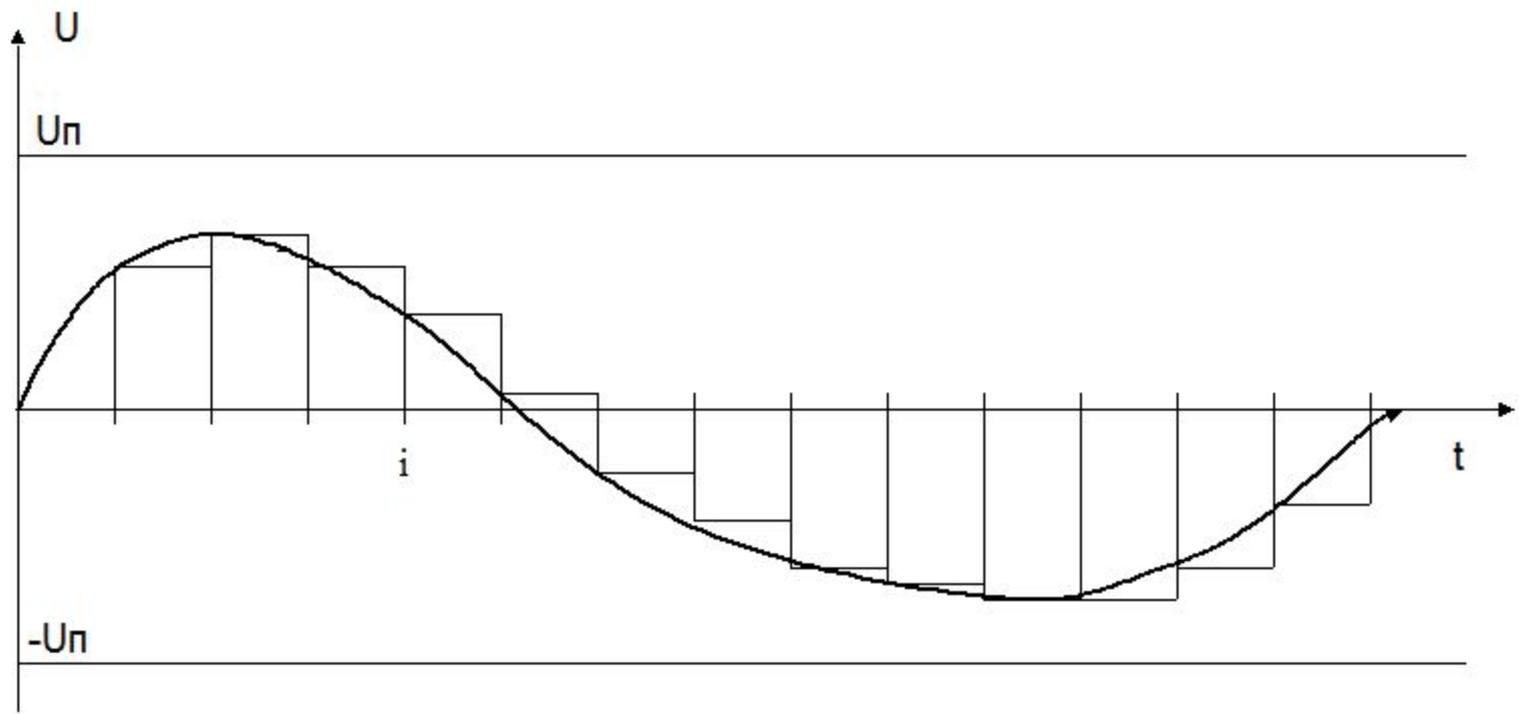


# АЦП

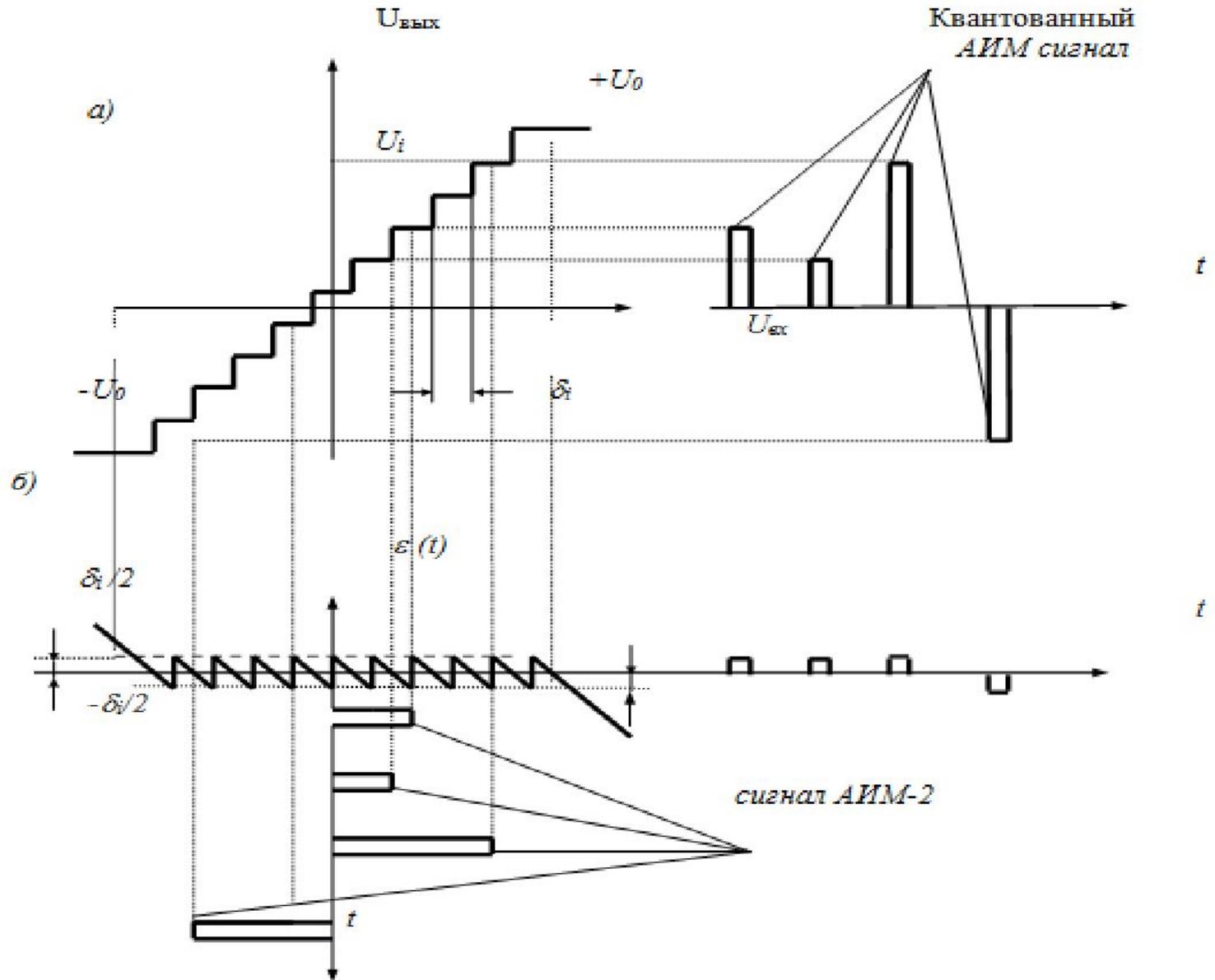




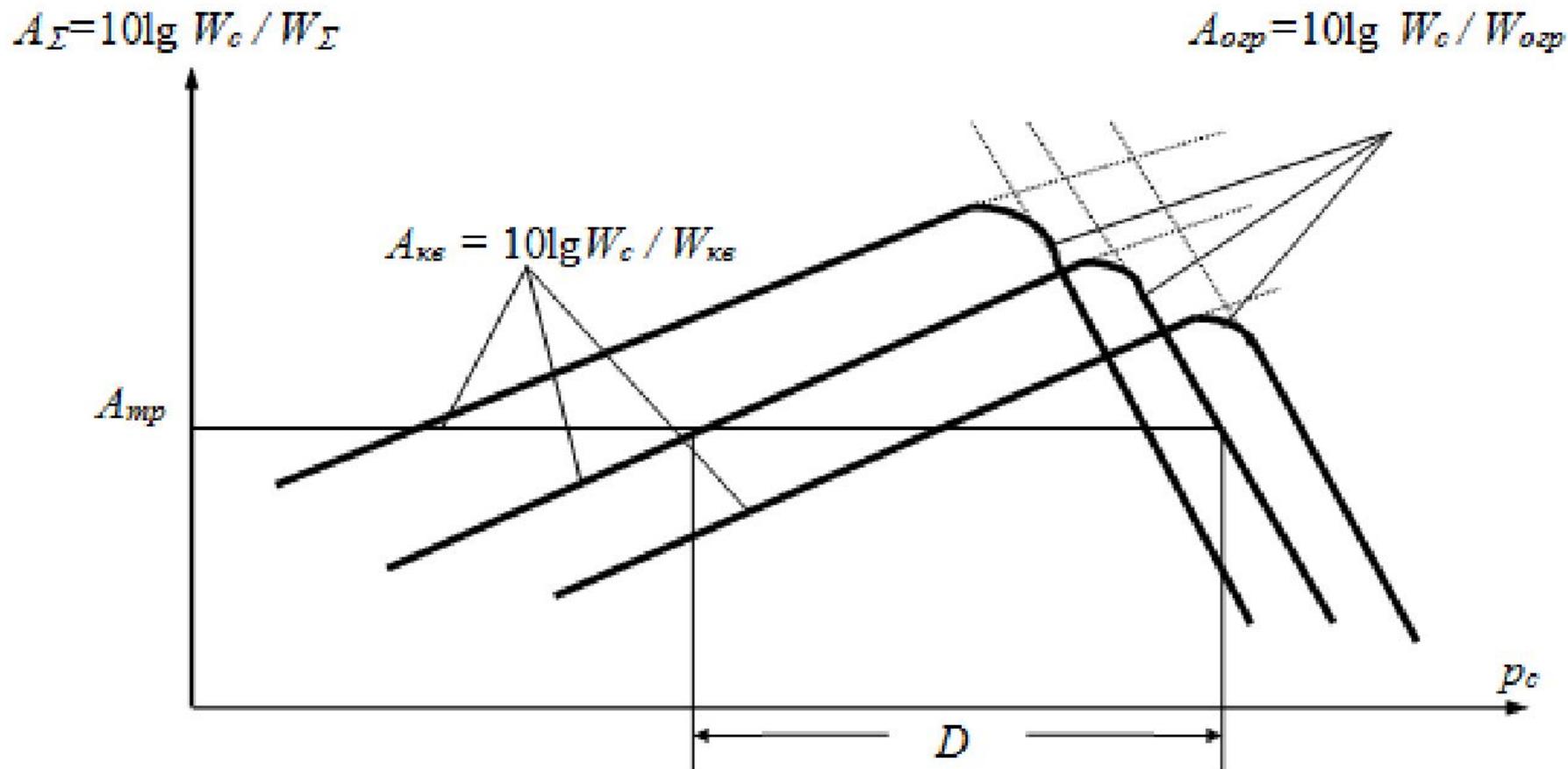




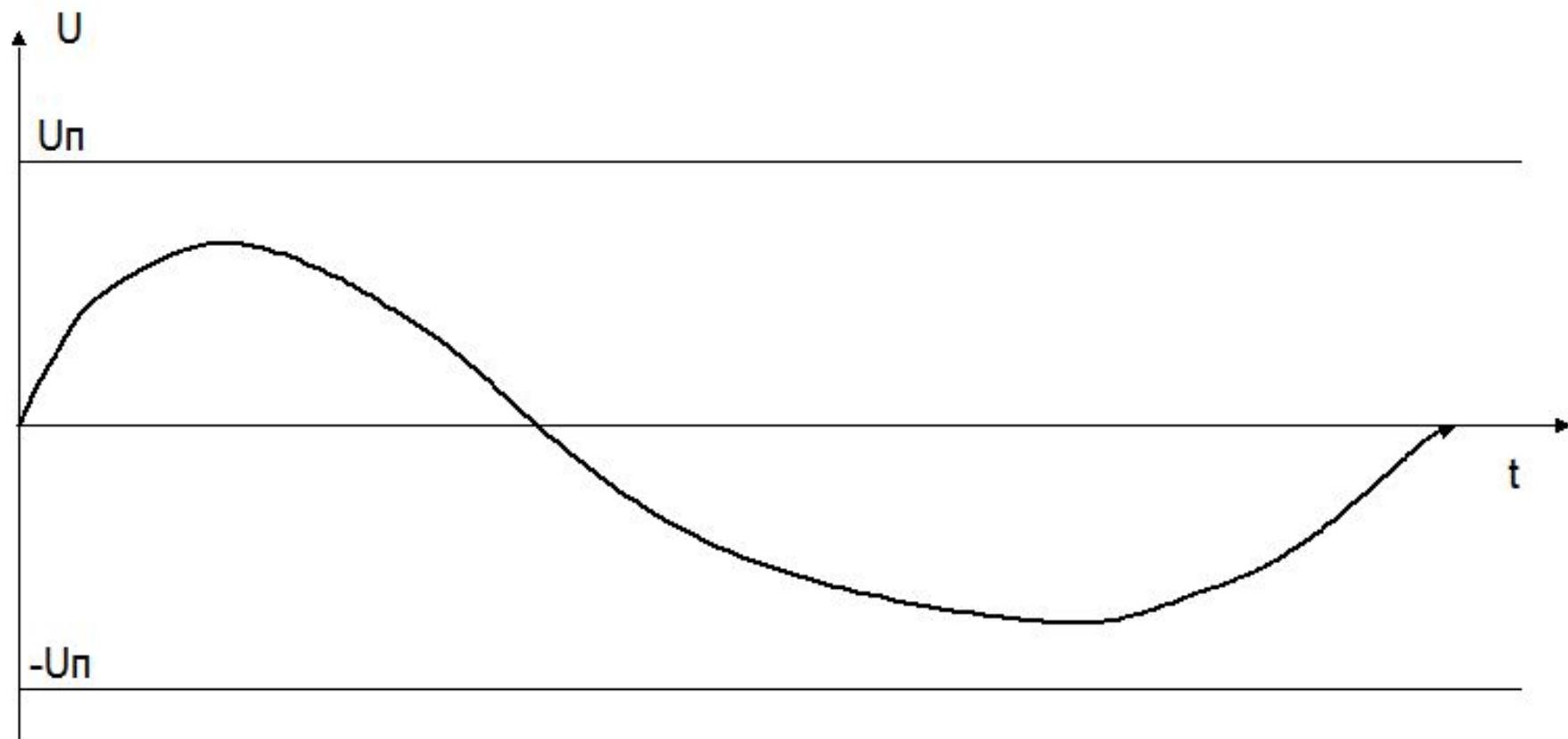
# Процесс квантования по уровню и шумы квантования

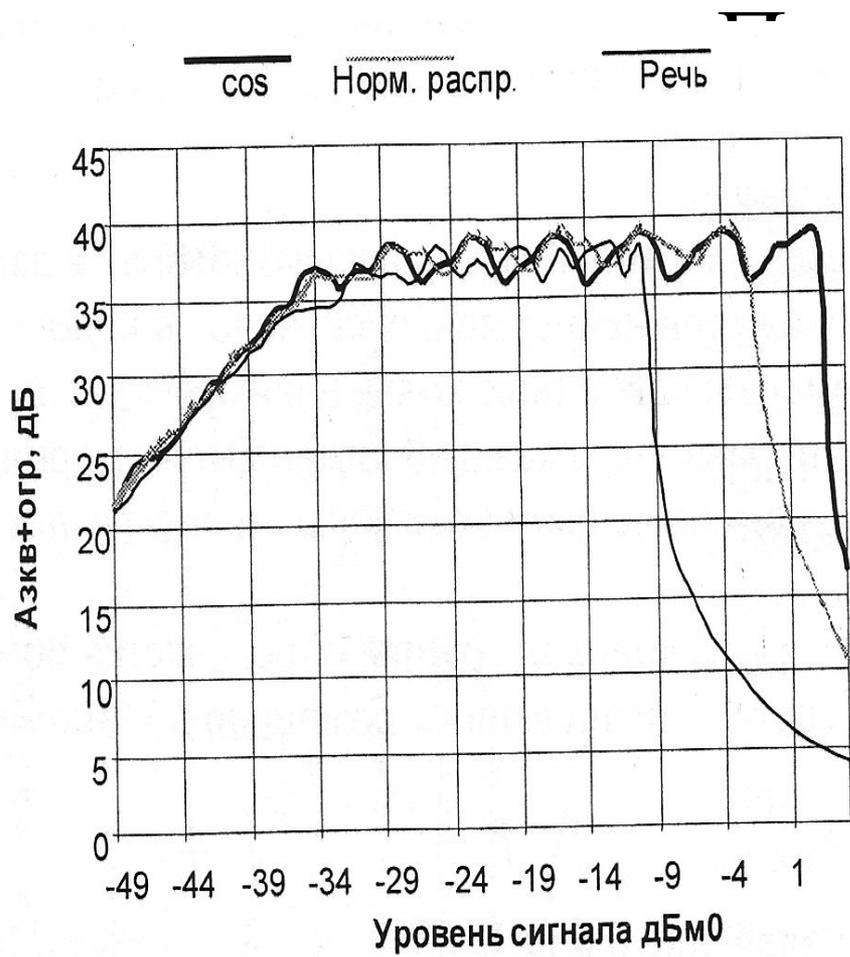


# Защищенность от шумов квантования и ограничения

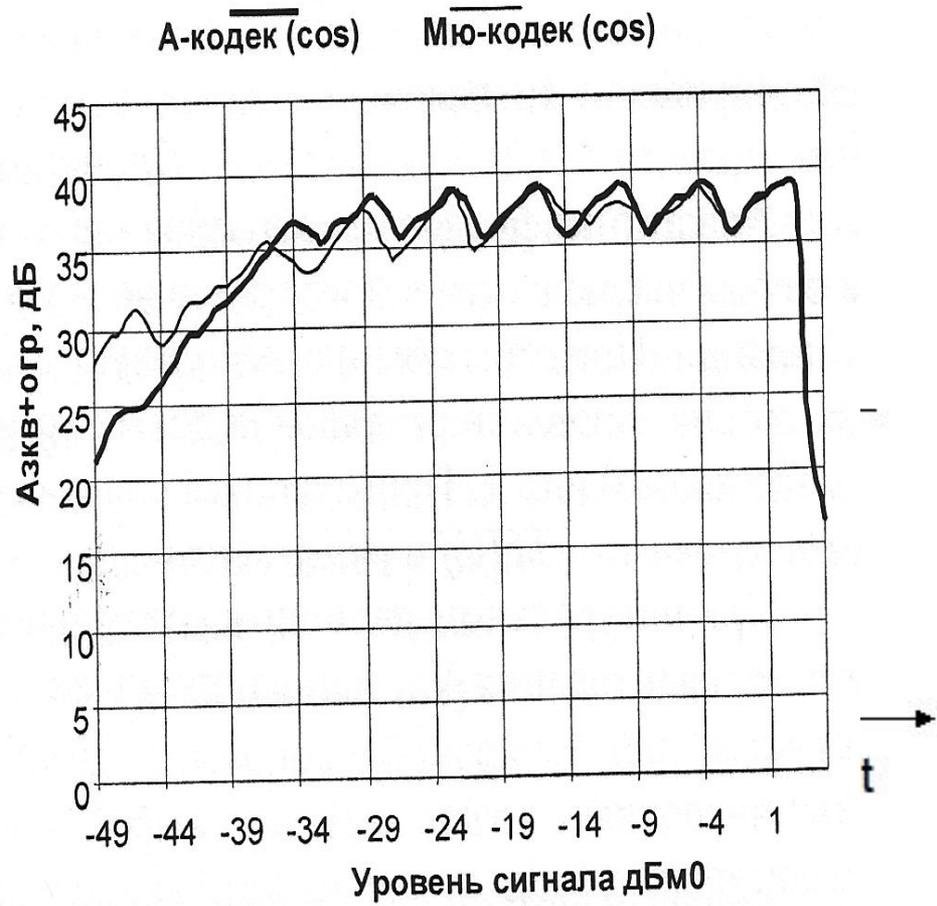


# Перегрузка

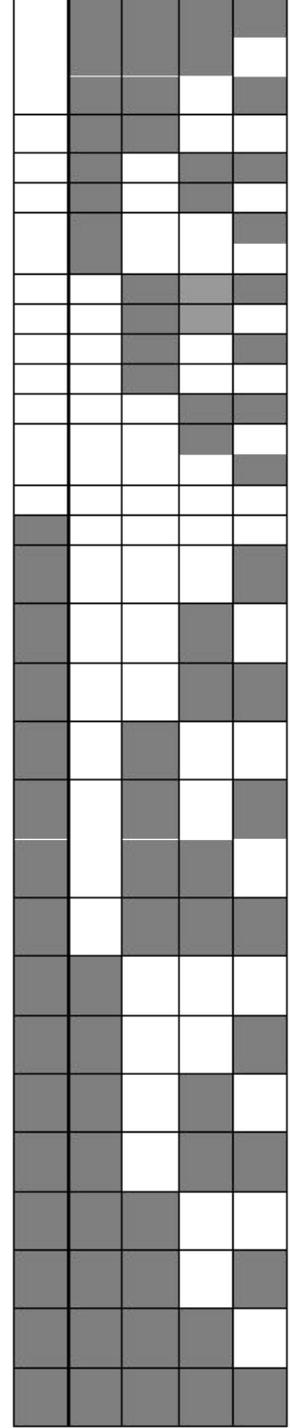
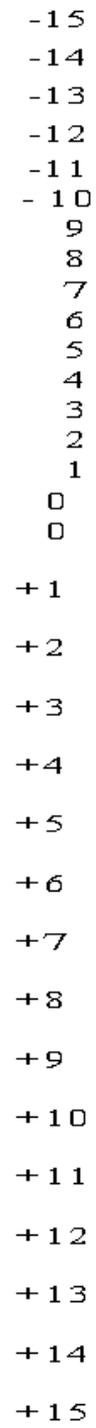
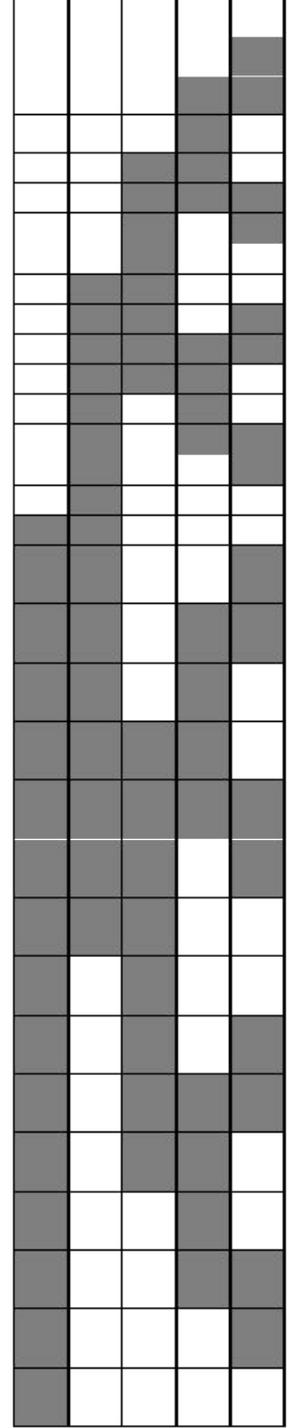
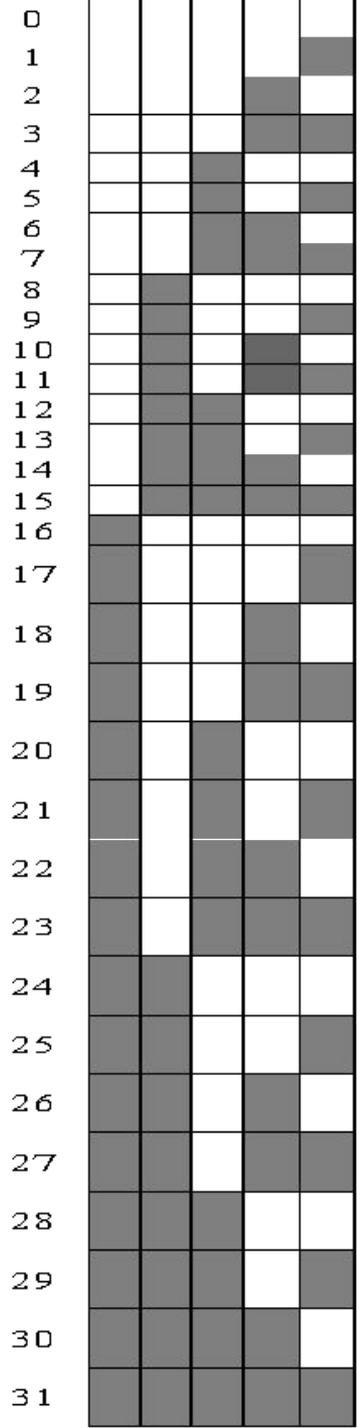




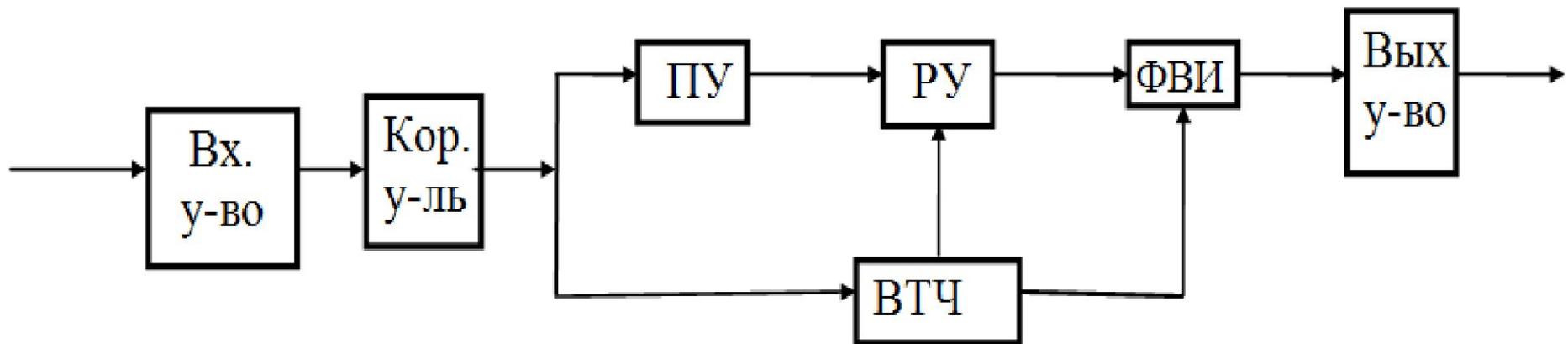
Защищенность от шумов квантования и ограничения различных сигналов

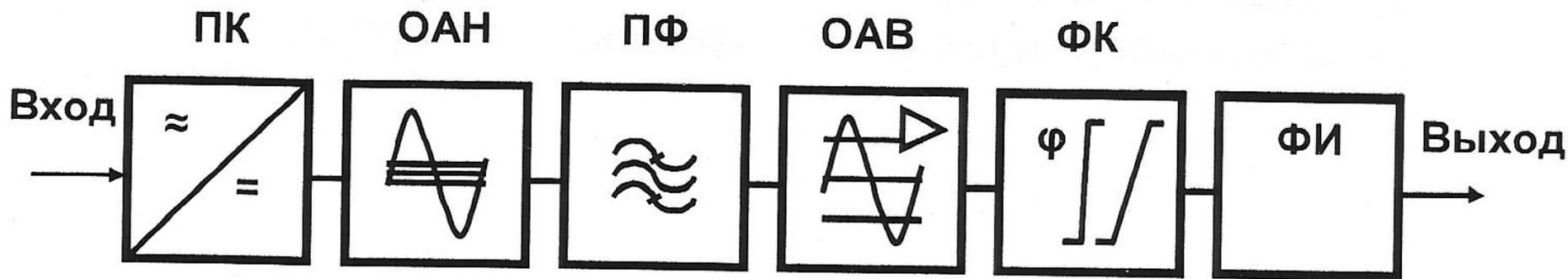


Защищенность от шумов квантования в устройствах А- и μ-типов.

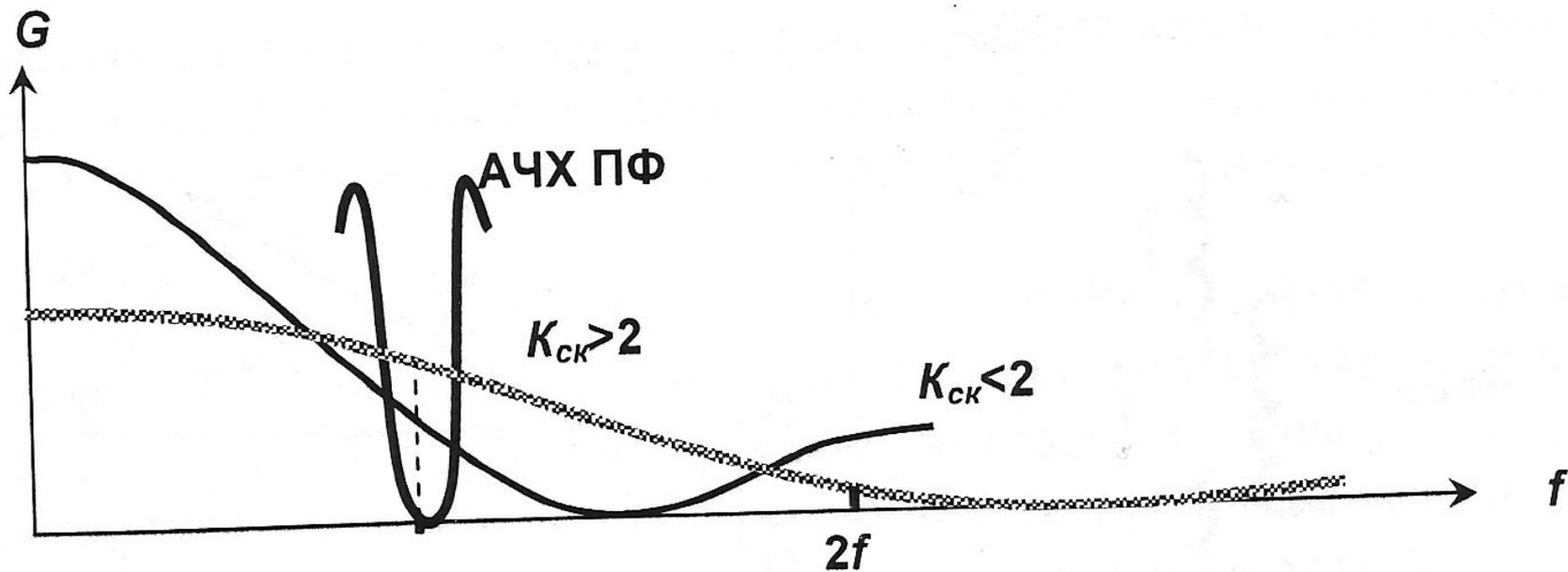


# Структурная схема регенератора

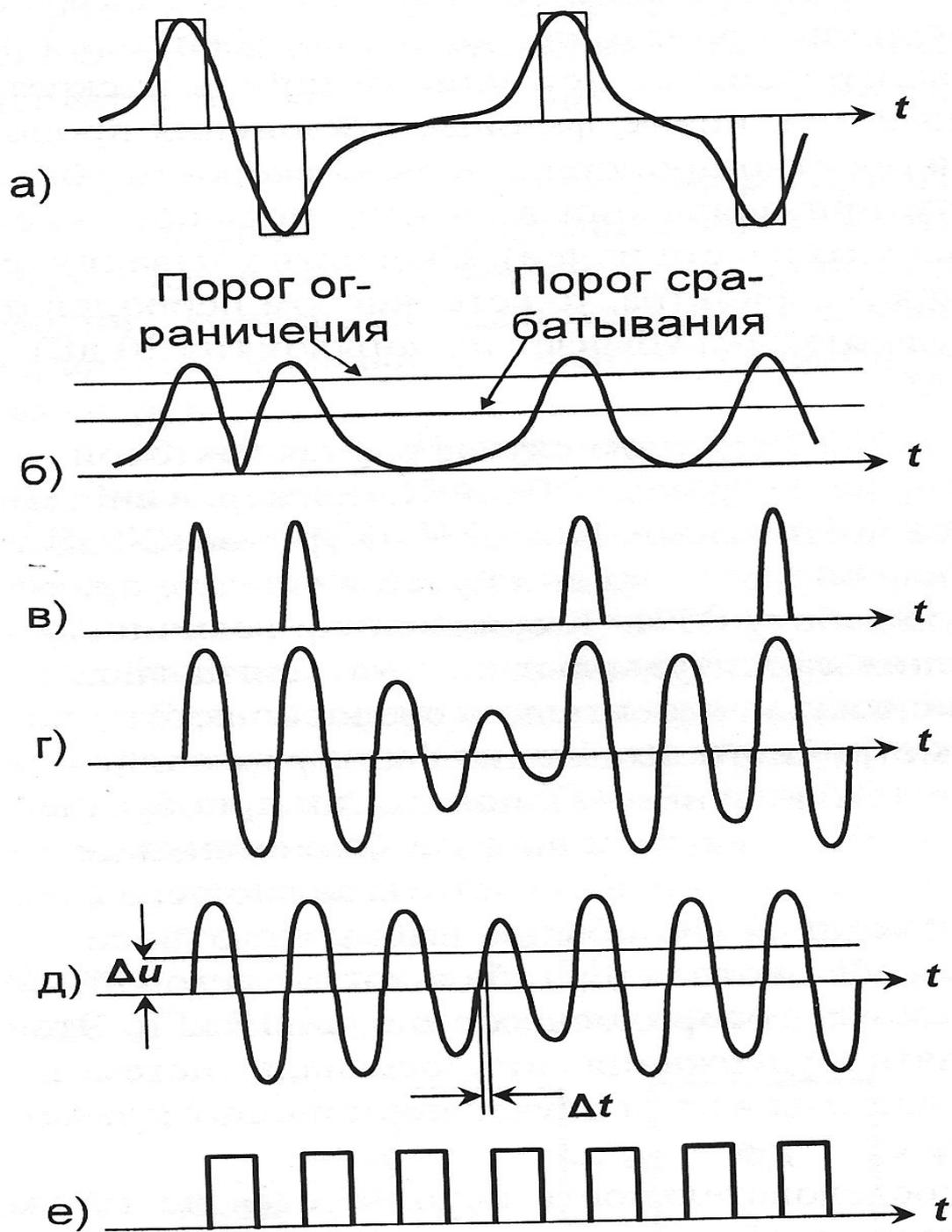




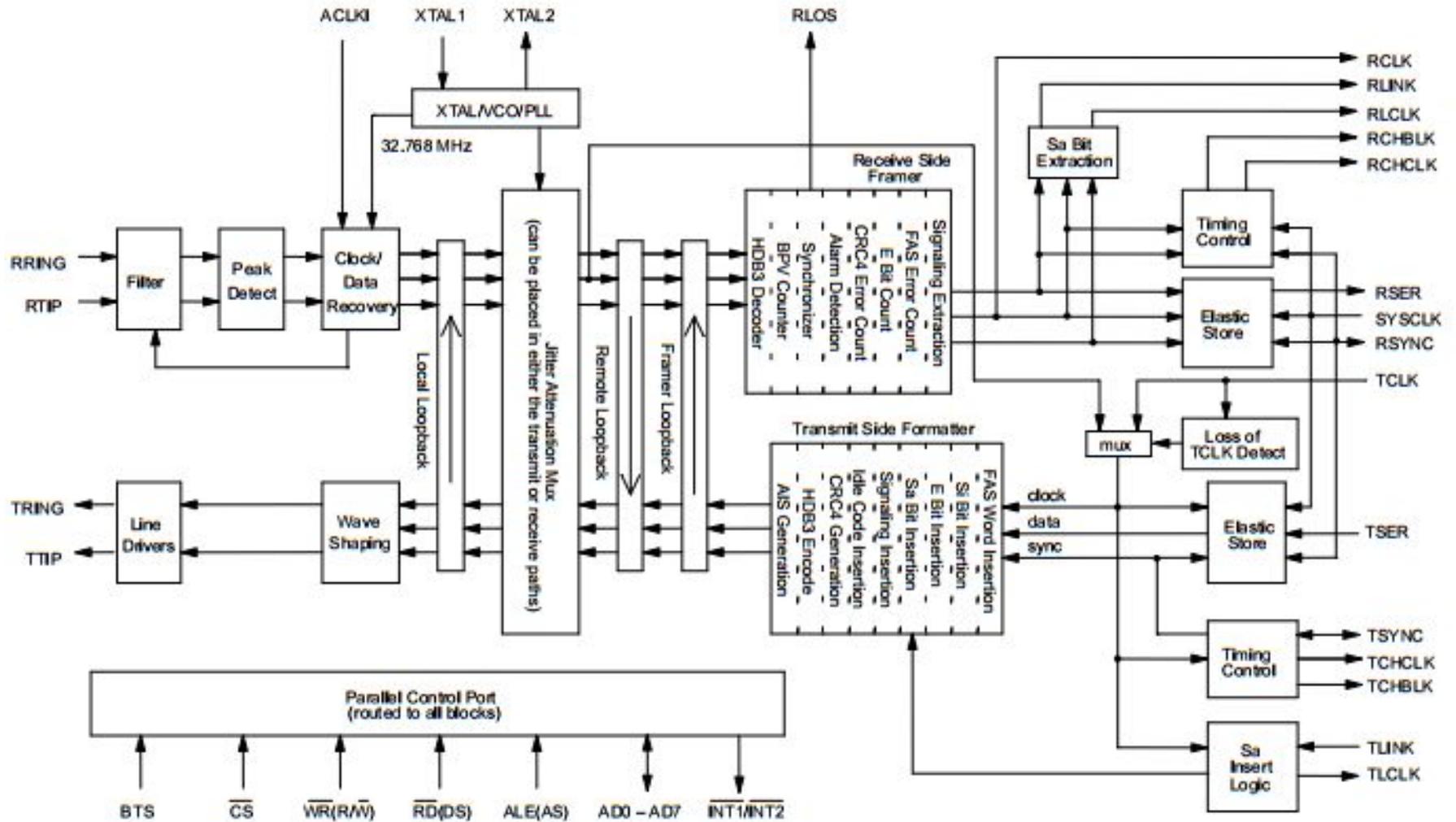
Структурная схема ВТЧ



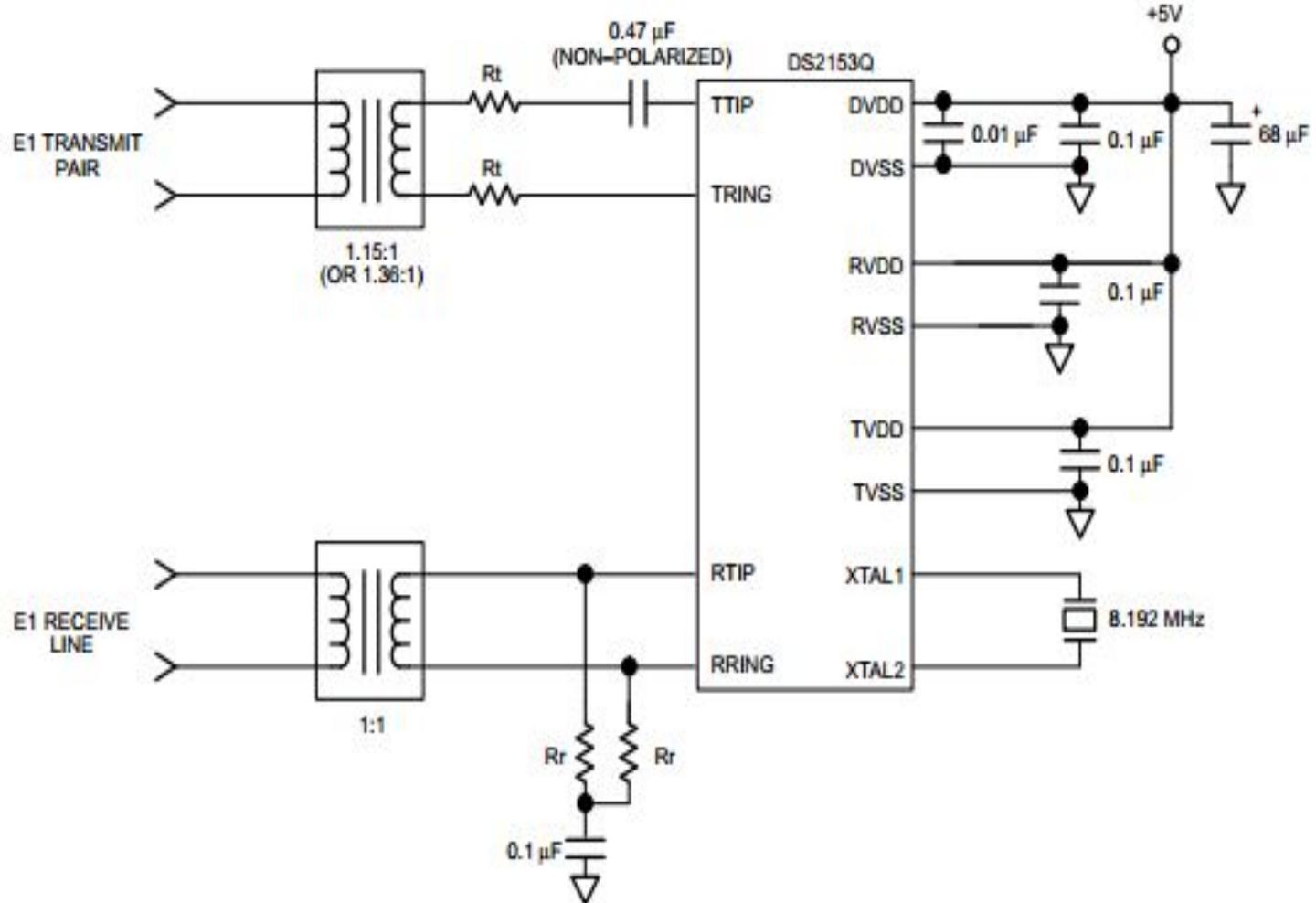
Огибающие спектров сигнала до ( $K_{СК} > 2$ ) и после ( $K_{СК} < 2$ ) ОАН



# DS2153Q

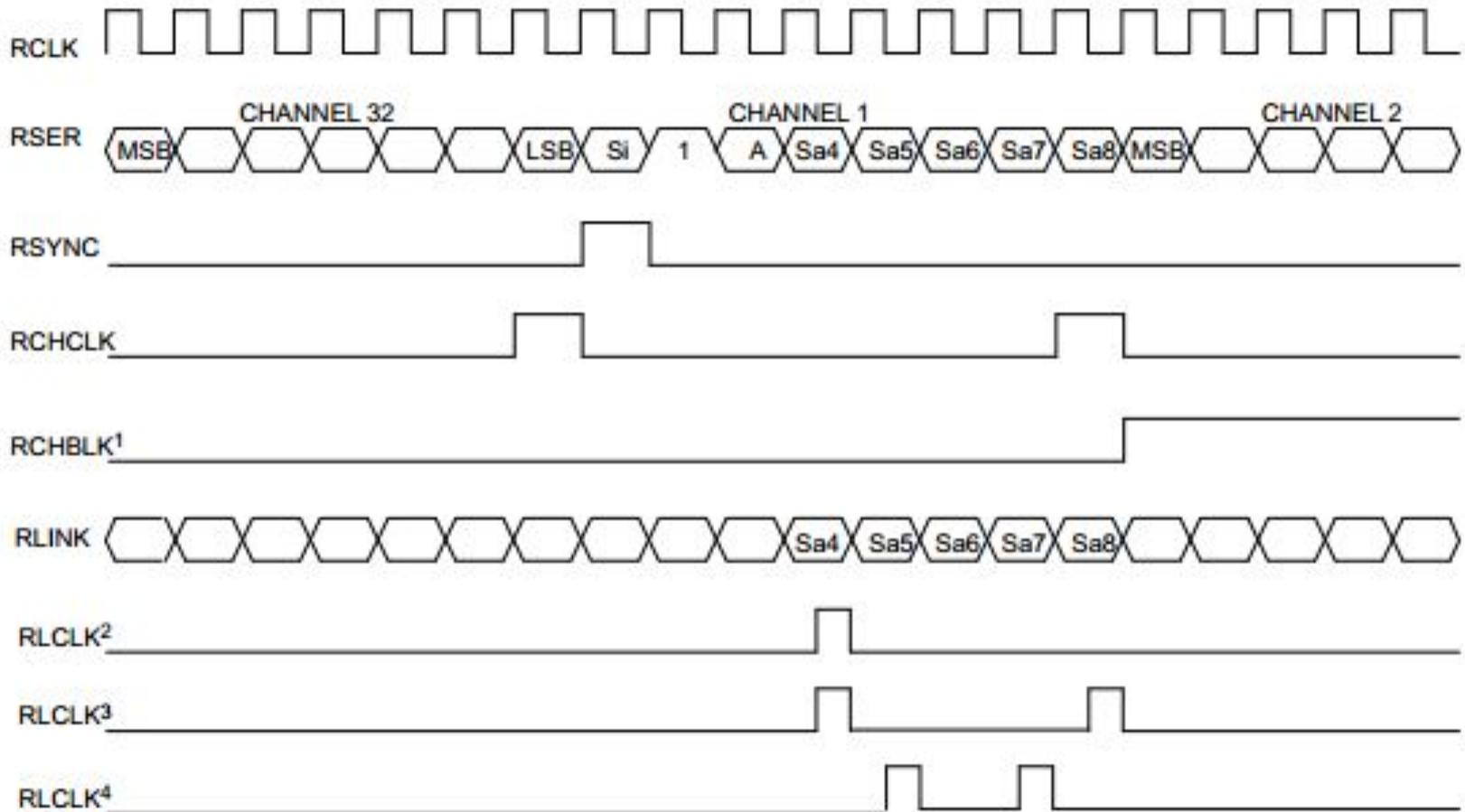


# Схема включения



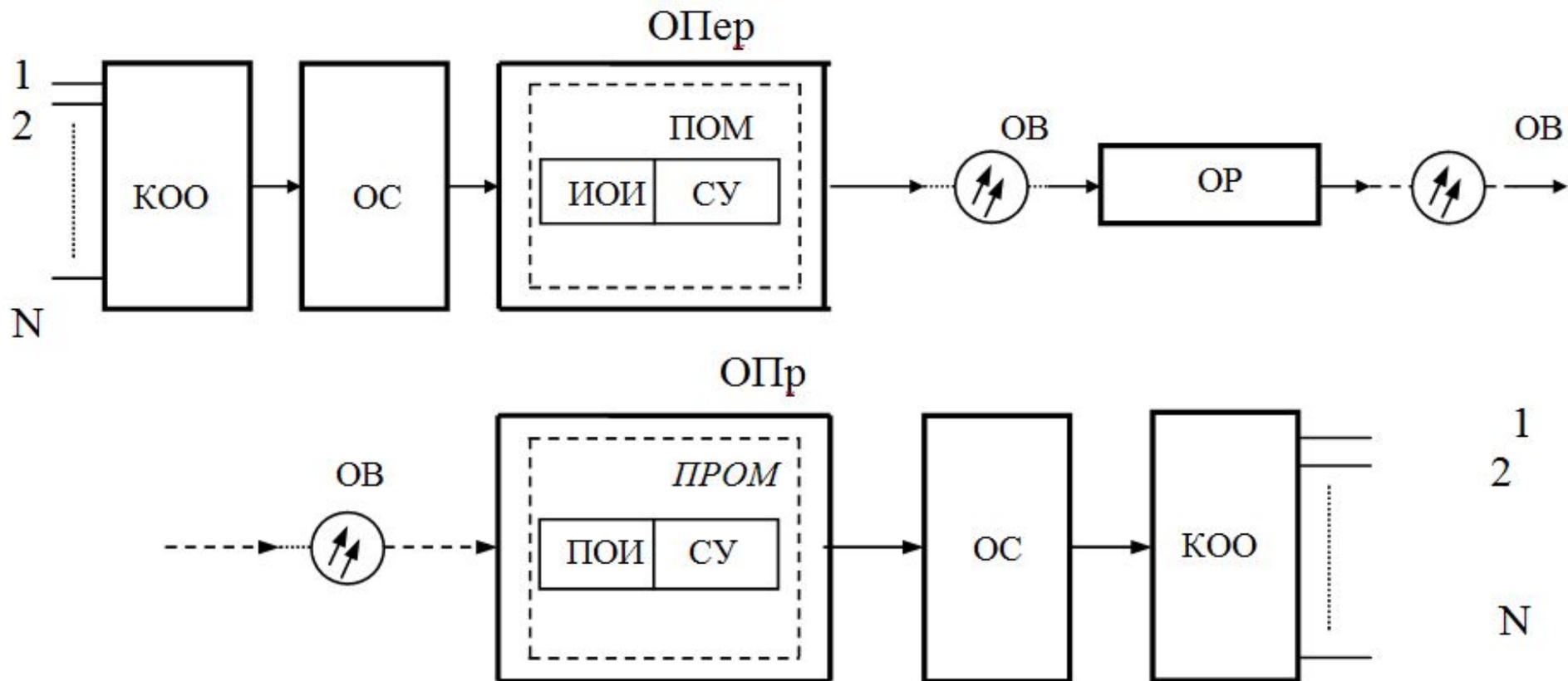
# Временные диаграммы

RECEIVE SIDE BOUNDARY TIMING (WITH ELASTIC STORES DISABLED) Figure 13-2



# Волоконно – оптические системы передачи

# Обобщенная структурная схема волоконно-оптической системы передачи

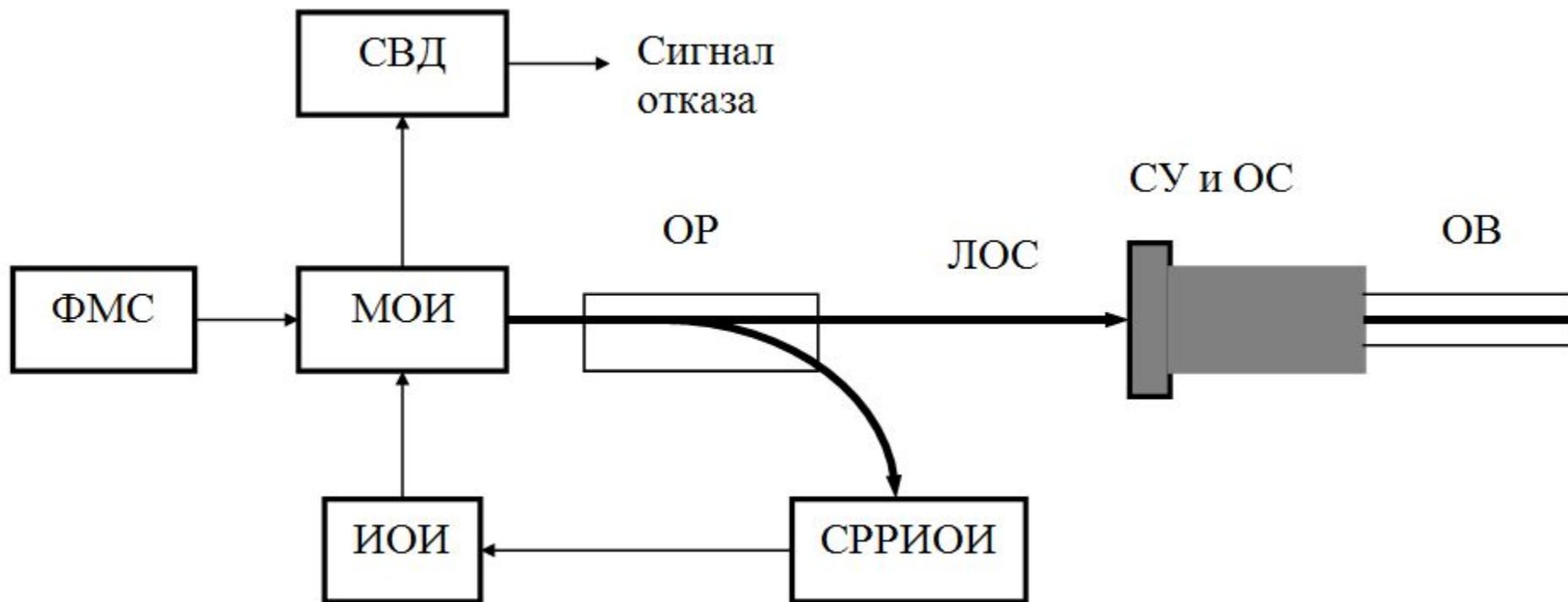


- Возможность получения ОВ с параметрами, обеспечивающими расстояние между ретрансляторами не менее 100...150 км.
- Производство оптических кабелей (ОК) с малыми габаритными размерами и массой при **высокой информационной пропускной способности.**
- Отсутствие в конструкции ОК цветных металлов (медь, свинец, алюминий), постоянное и непрерывное снижение стоимости производства ОК и совершенствование технологии их производства.
- Высокая защищенность от внешних электромагнитных воздействий и переходных помех.

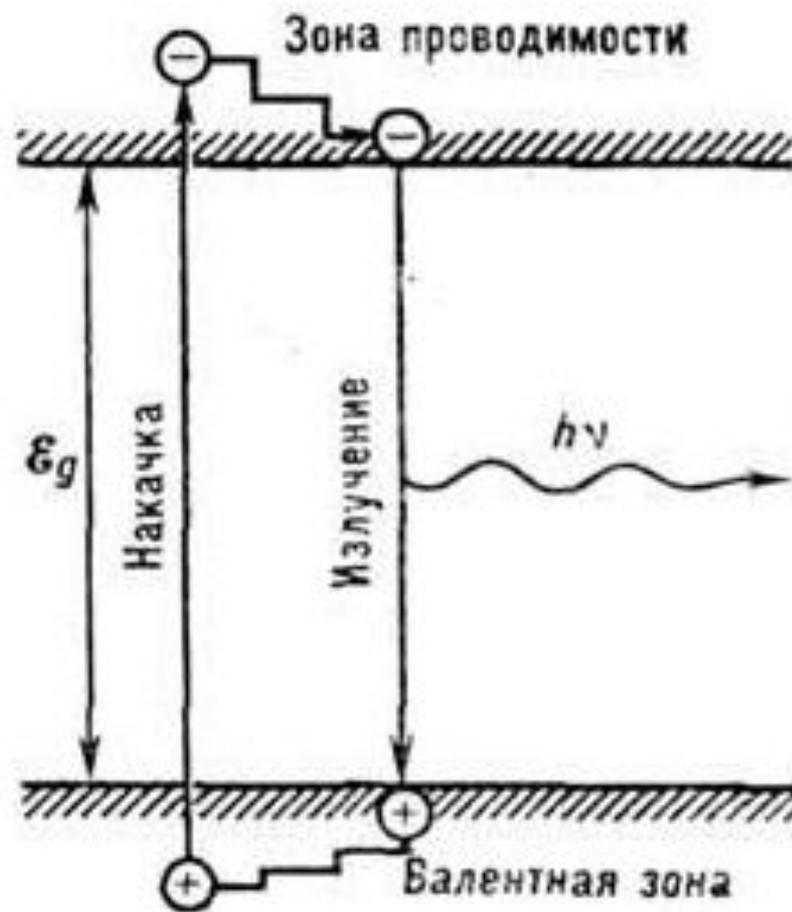
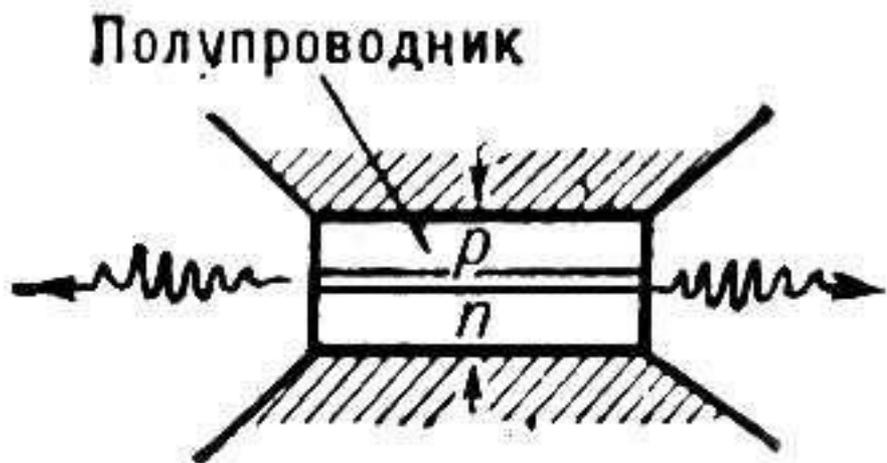
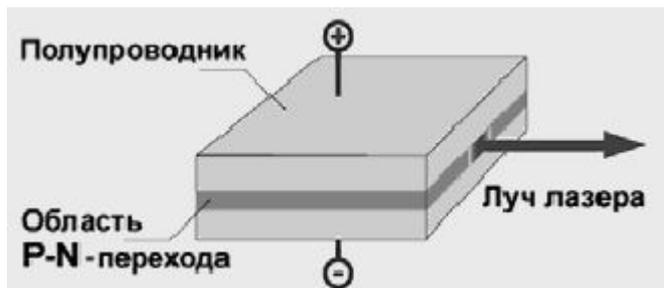
- Высокая скрытность связи (утечка информации): ответвление сигнала возможно только при непосредственном подсоединении к отдельному волокну.
- Гибкость в реализации требуемой полосы пропускания: ОВ различных типов позволяют заменить электрические кабели в цифровых системах передачи всех уровней иерархии.
- Возможность постоянного совершенствования ВОСП по мере появления новых источников оптического излучения, оптических волокон, фотоприемников и усилителей оптического излучения с улучшенными характеристиками или при повышении требованиям к их характеристикам при полном сохранении совместимости с другими системами передачи.

- Соответствующим образом спроектированные ВОЛС относительно невосприимчивы к неблагоприятным температурным условиям и влажности и могут быть использованы для подводных кабелей.
- Надежная техника безопасности (безвредность во взрывоопасных средах, отсутствие искрения и короткого замыкания), возможность обеспечения полной электрической изоляции и др.

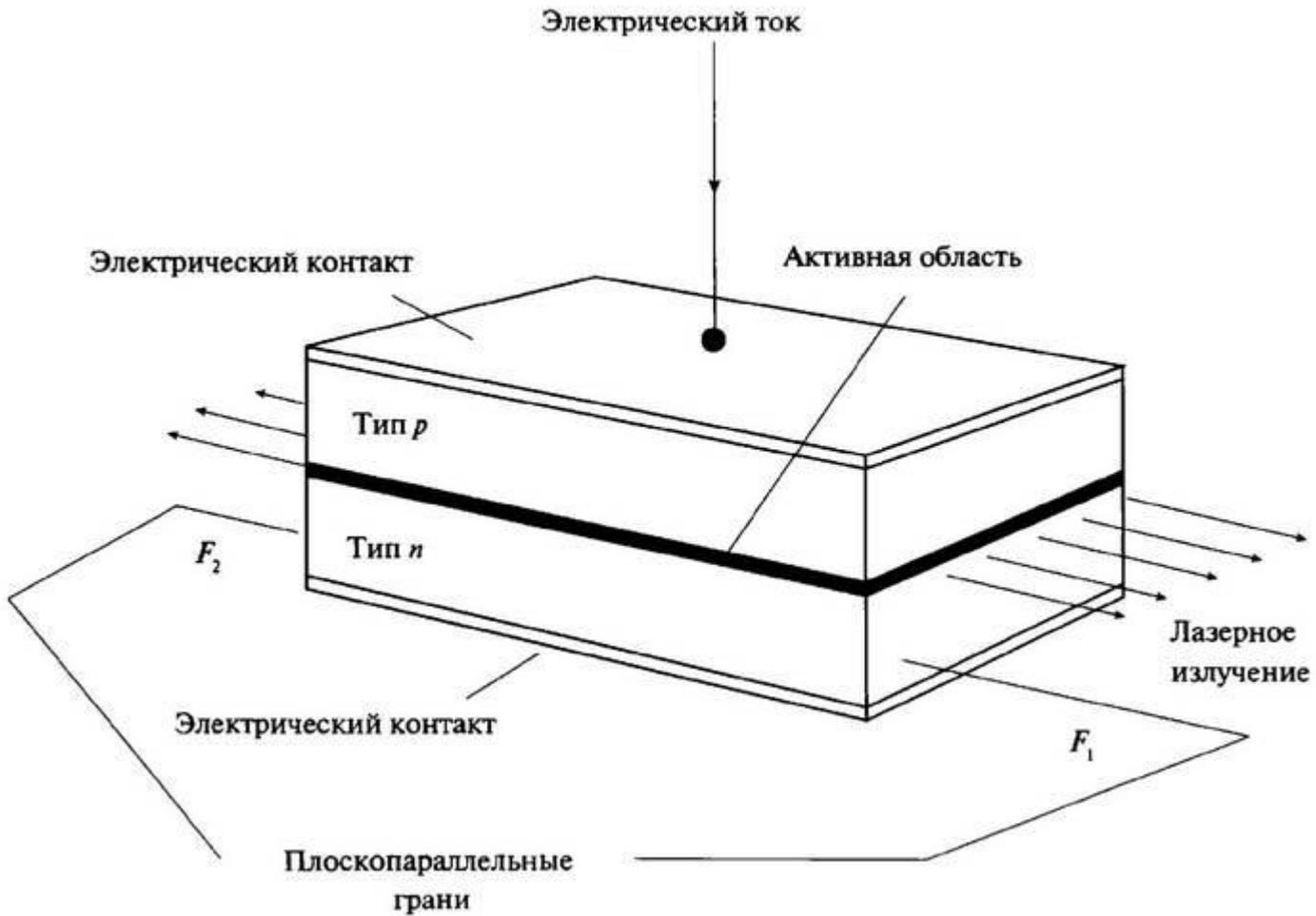
# Обобщенная структурная схема оптического передатчика



# ПКГ

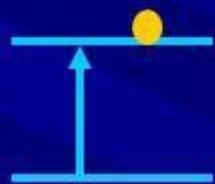
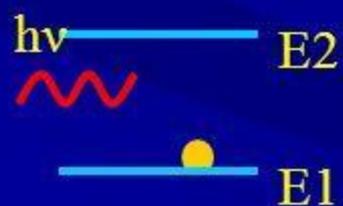


# Лазер

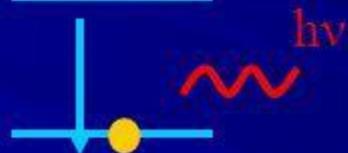
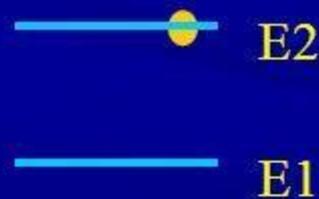


# Полупроводниковые лазеры

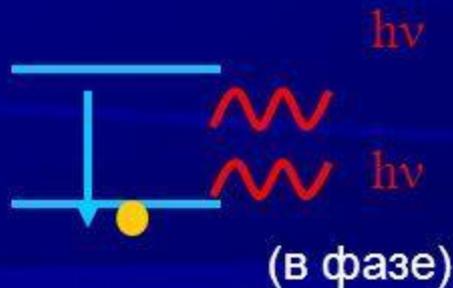
## Принцип работы лазера



**Поглощение**

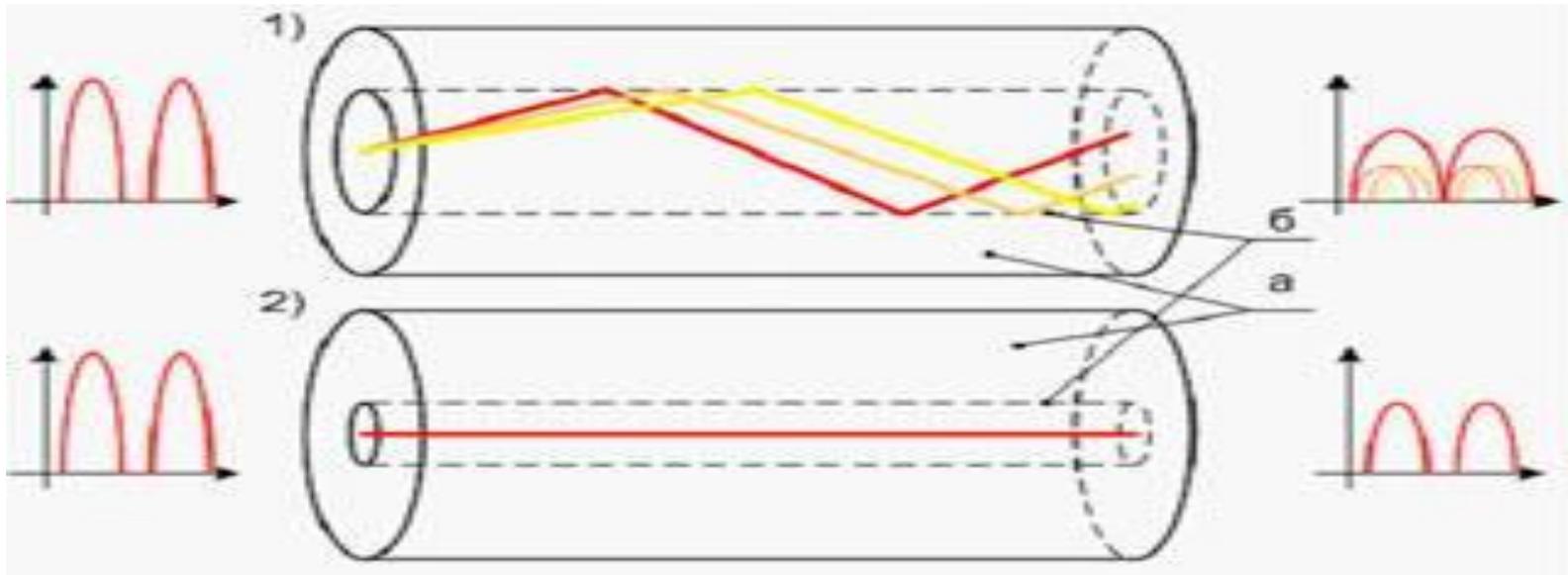
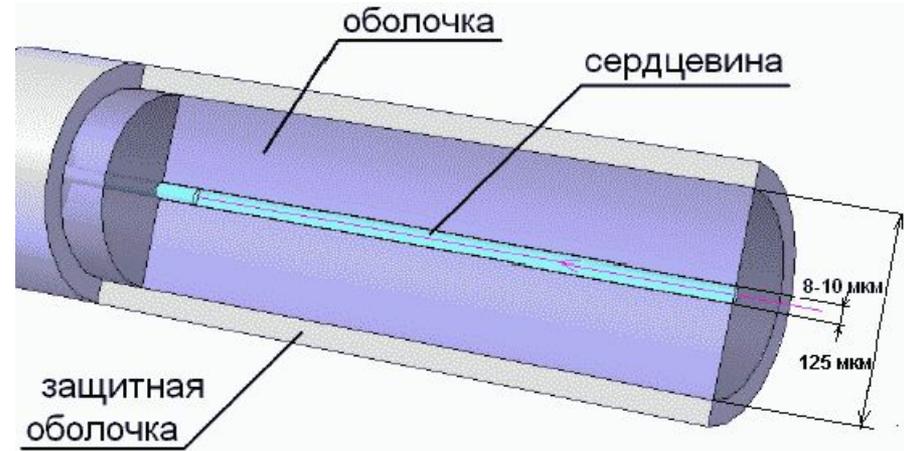
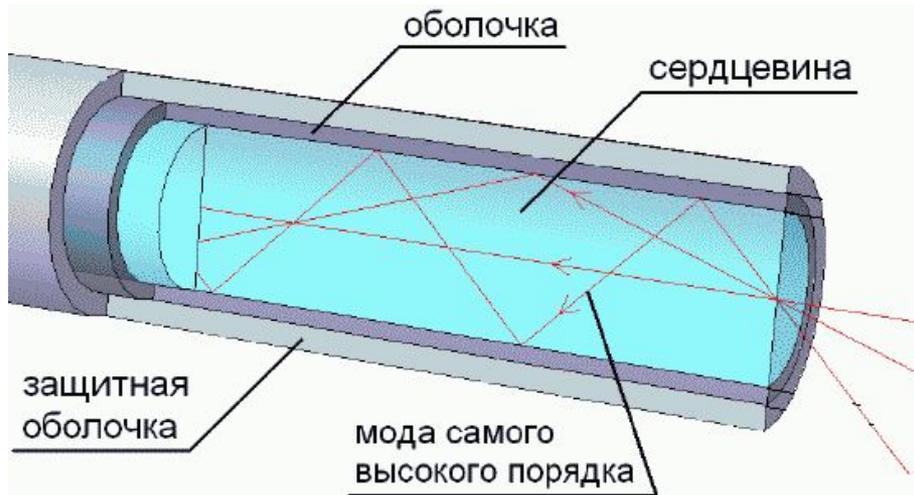


**Спонтанное излучение**

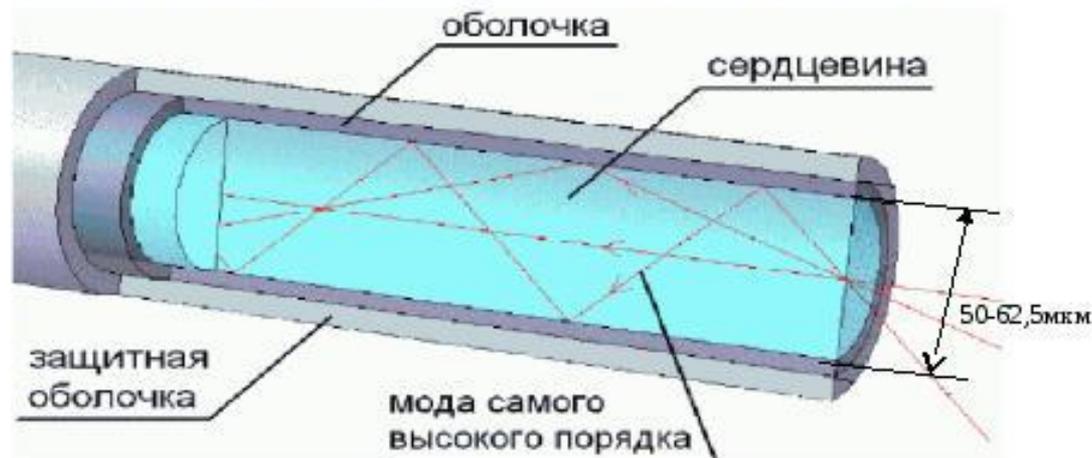


**Стимулированное излучение**

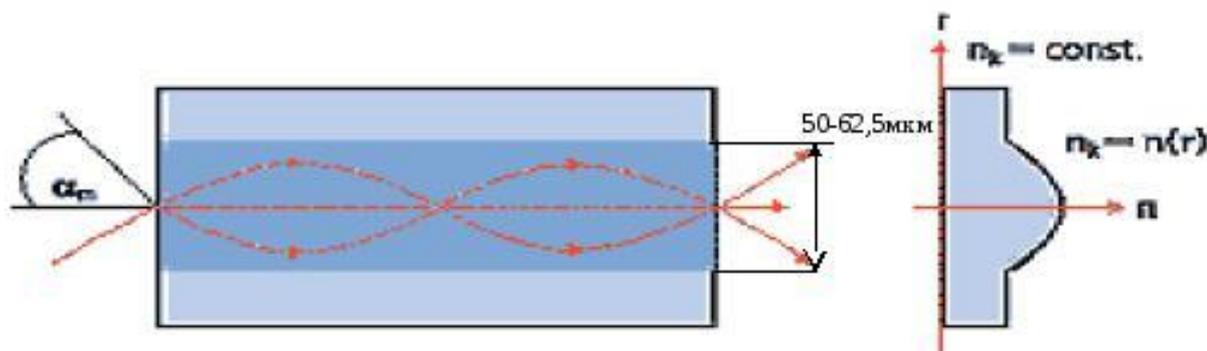
# Оптическое волокно



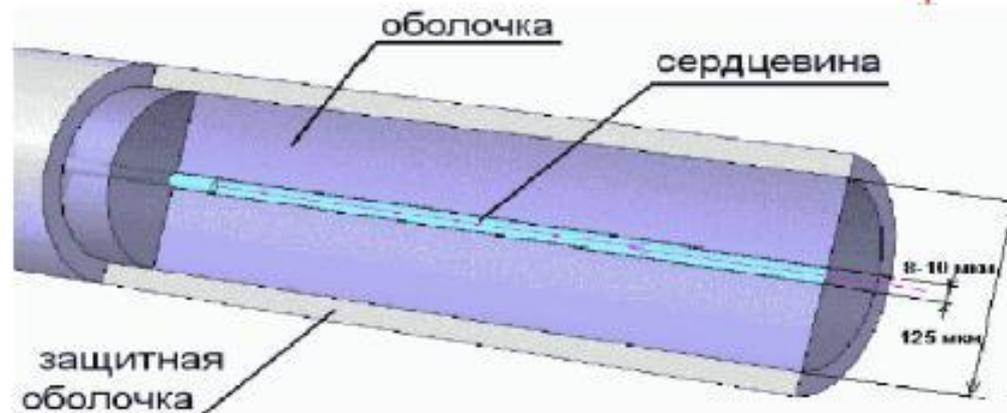
# ТИПЫ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН



Многомодовое ступенчатое оптическое волокно



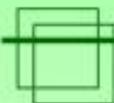
Многомодовое оптическое волокно с градиентным показателем преломления



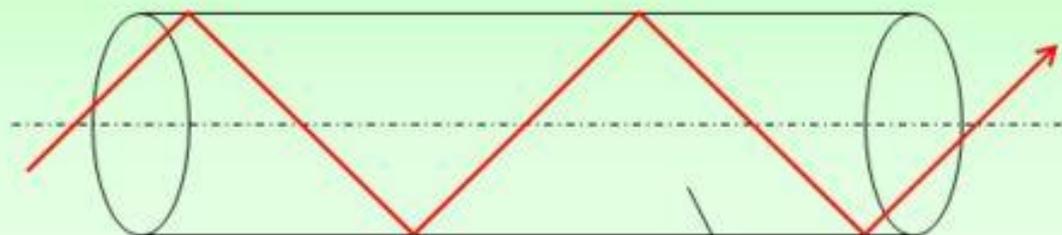
Одномодовое оптическое волокно



# Ход лучей в многомод. волокне

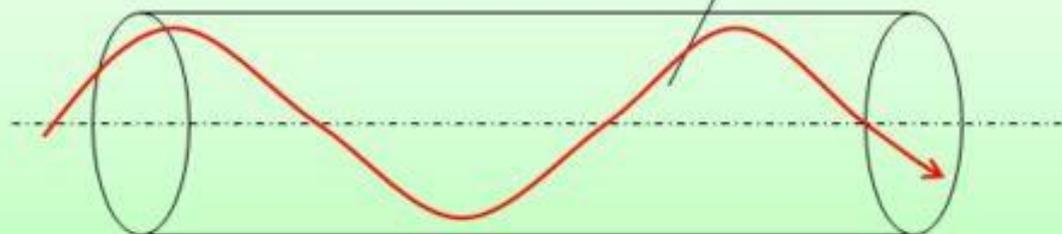


ступенчатое  
оптоволокно

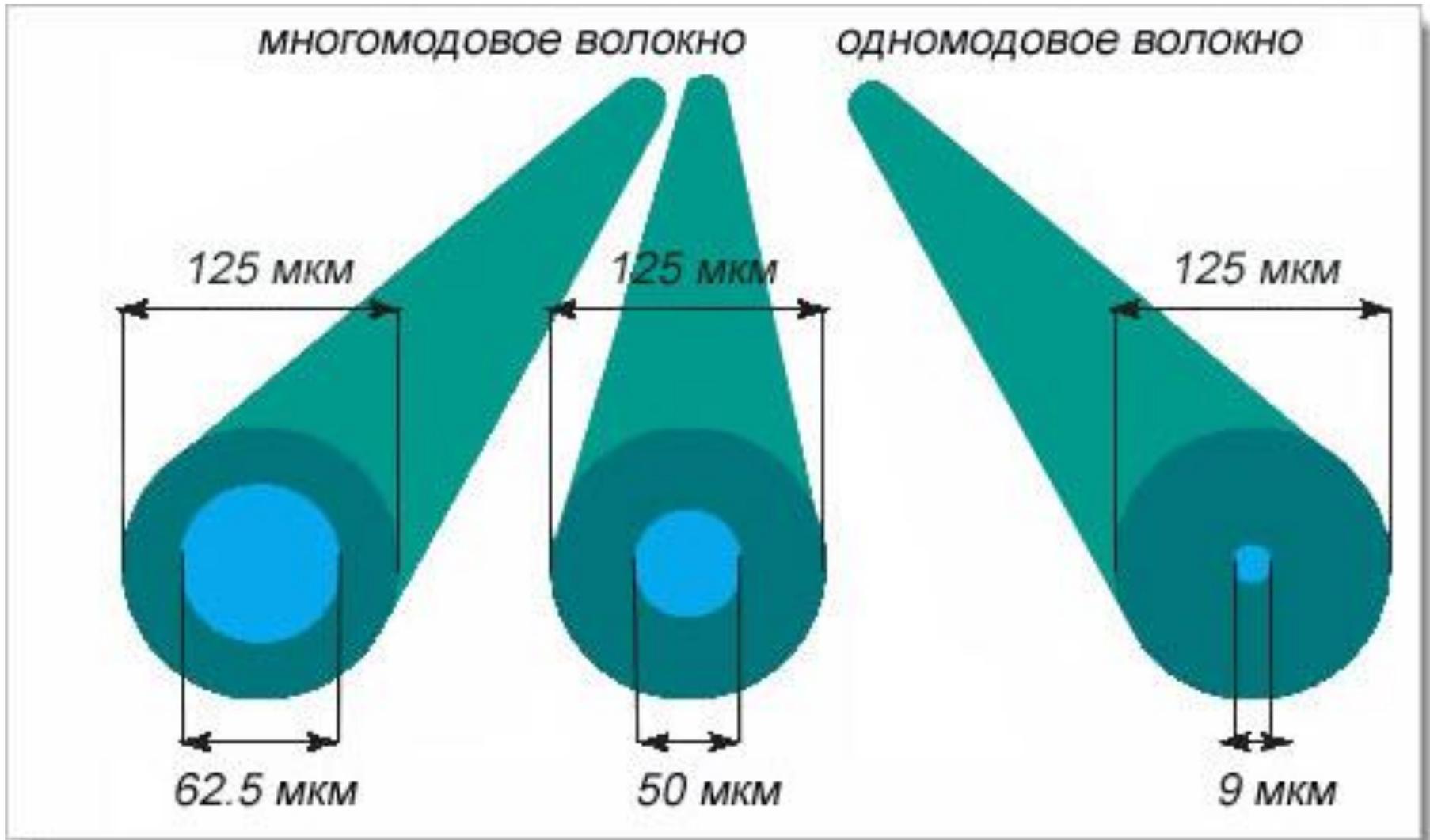


Сердцевина

градиентное  
оптоволокно



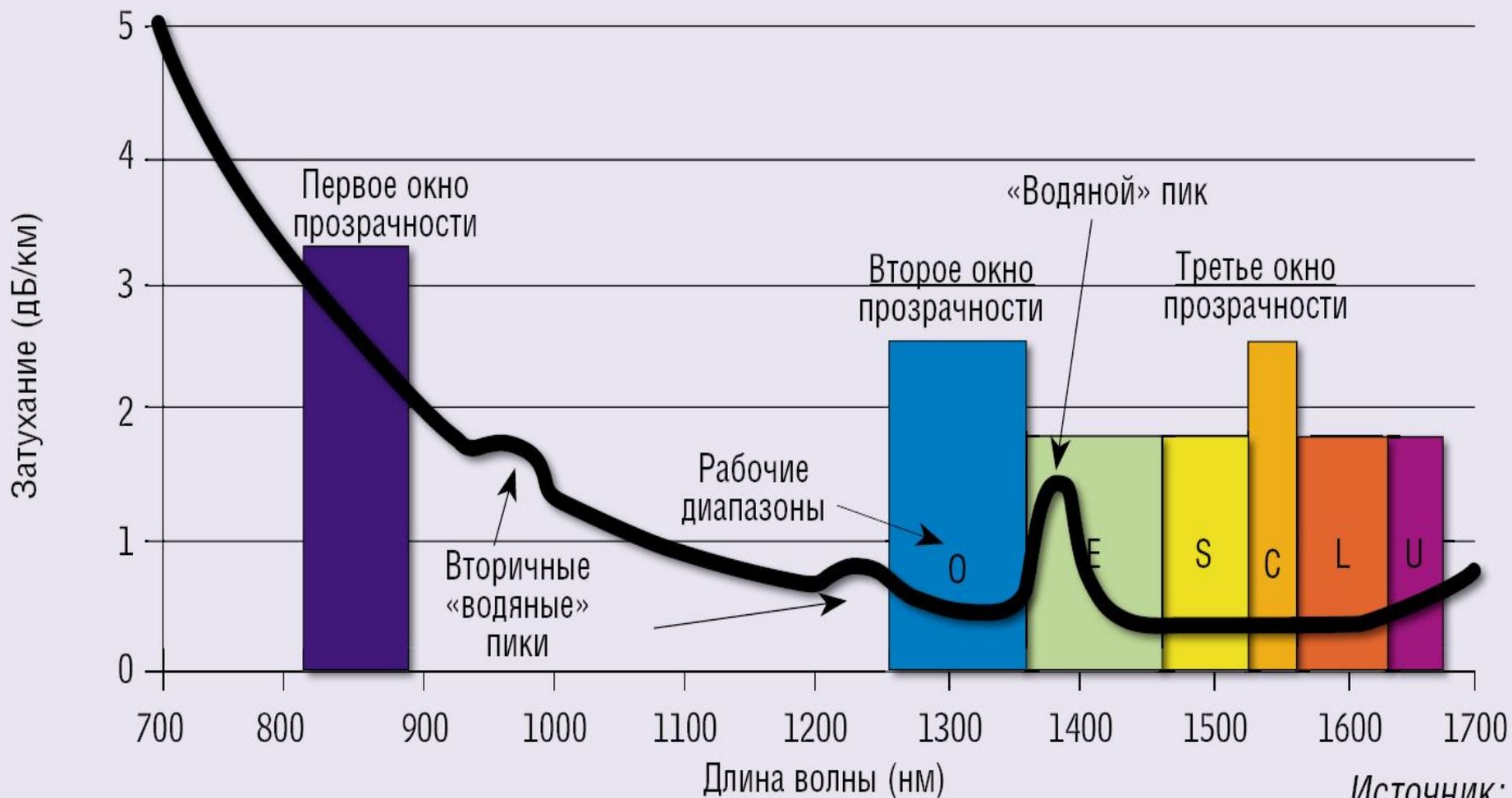
# Конструкции волокон



# Окна прозрачности



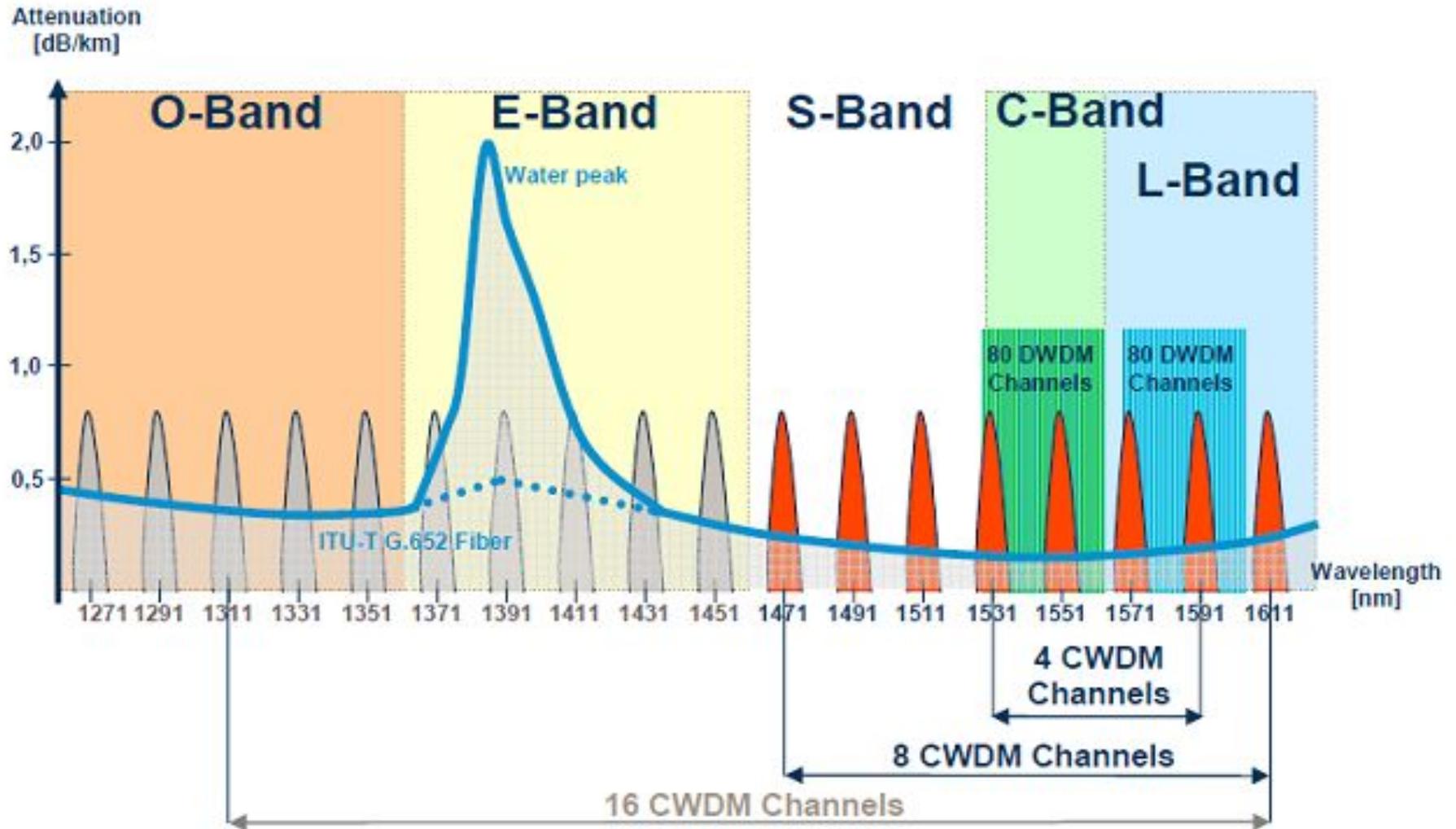
# Окна прозрачности



# Диапазоны

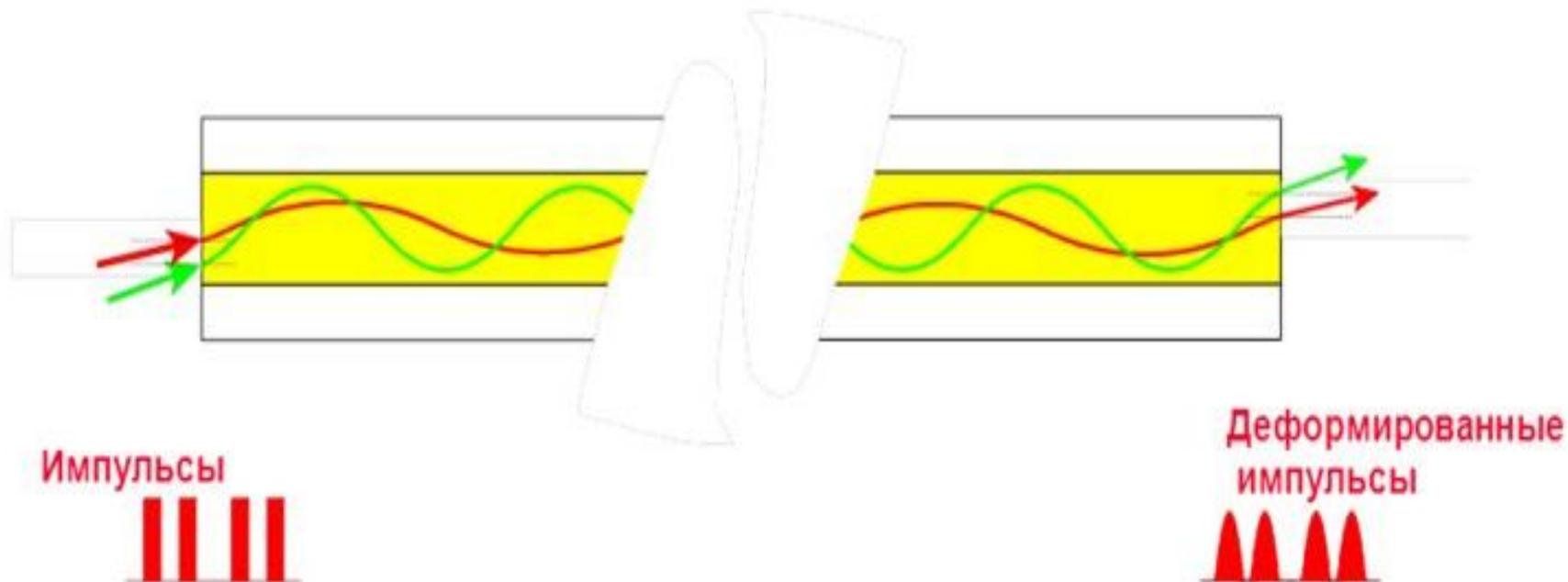
<b>О-диапазон</b>	<b>1260 – 1360 нм</b>	<b>Основной (Original)</b>
<b>Е-диапазон</b>	1360 – 1460 нм	Расширенный (Extended)
<b>S-диапазон</b>	1460 – 1530 нм	Коротковолновый (Short wavelength)
<b>C-диапазон</b>	1530 – 1565 нм	Стандартный (Conventional)
<b>L-диапазон</b>	1565 – 1625 нм	Длинноволновый (Long wavelength)
<b>U-диапазон</b>	1625 – 1675 нм	Сверхдлинный (Ultra-long wavelength)

# Спектральное уплотнение (WDM)



# Модовая дисперсия в многомодовом волокне

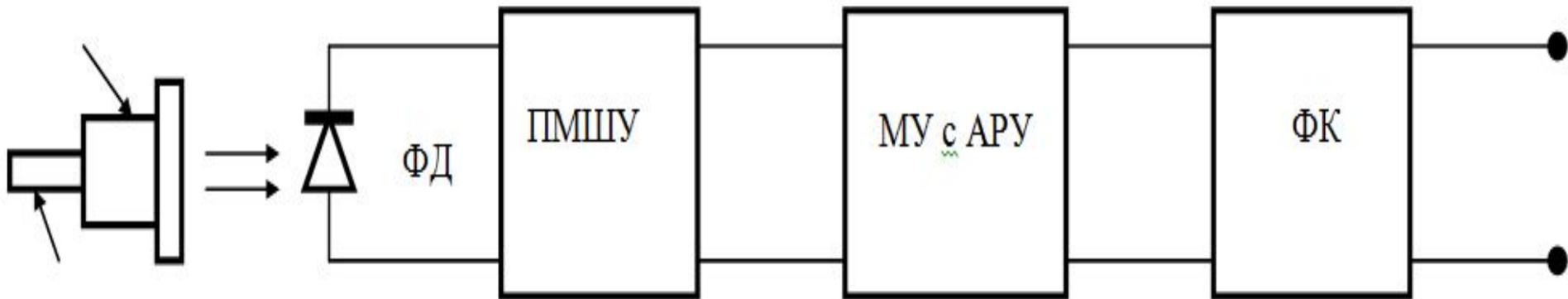
## Градиентный индекс



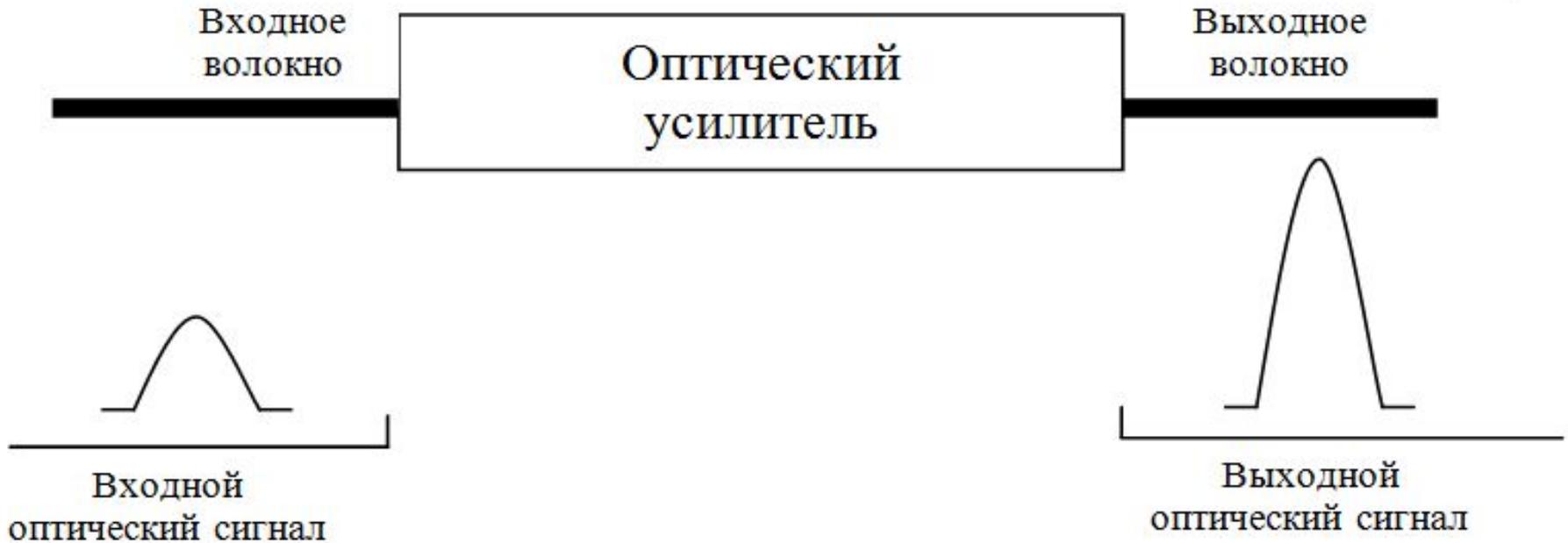
Форма импульса  
на передающей  
стороне

Форма импульса  
на приемной  
стороне

# Приемник оптического сигнала



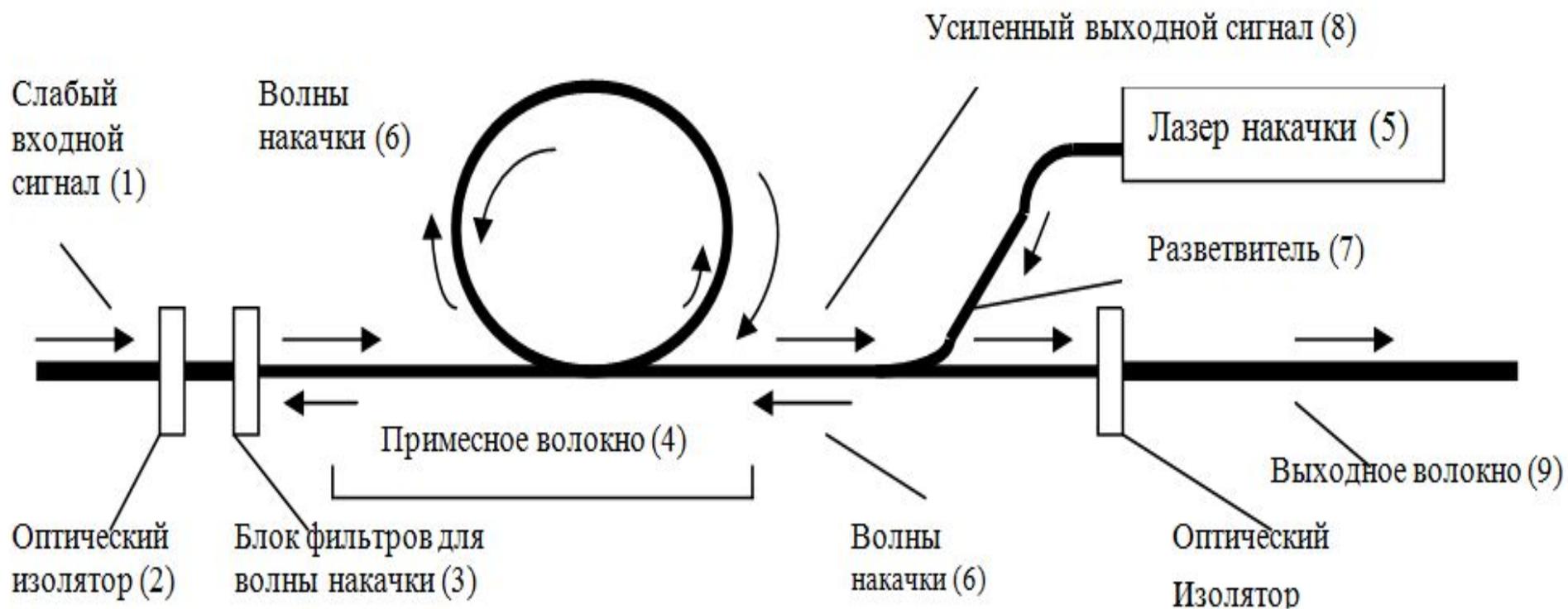
# Оптический усилитель



# Оптические усилители

- Усилители Фабри-Перо
- Усилители на волокне, использующие бриллюэновское расстояние
- Усилители на волокне, использующие рамановское расстояние
- Полупроводниковые лазерные усилители (ППЛУ)
- Усилители на примесном волокне

# Оптический усилитель на примесном волокне



# Основы построения радиосистем

Номер диапазона	Диапазон длин волн		Диапазон частот	
	Наименование	Границы	Наименование	Границы
4	Мириаметровые или сверхдлинные волны (СДВ)	100...1000 км	Очень низкие частоты (ОНЧ)	3...30 кГц
5	Километровые или длинные волны (ДВ)	1...10 км	Низкие частоты (НЧ)	30...300 кГц
6	Гектометровые или средние волны (СВ)	100...1000 м	Средние частоты (СЧ)	300...3000 кГц
7	Декаметровые или короткие волны (КВ)	10...100 м	Высокие частоты (ВЧ)	3...30 МГц
8	Метровые или ультракороткие волны (УКВ)	1...10 м	Очень высокие частоты (ОВЧ)	30...300 МГц
9	Дециметровые волны (ДМВ)	10...100 см	Ультравысокие частоты (УВЧ)	300...3000 МГц
10	Сантиметровые волны	1...10 см	Сверхвысокие частоты (СВЧ)	3...30 ГГц
11	Миллиметровые волны	1...10 мм	Крайне высокие частоты (КВЧ)	30...300 ГГц
12	Децимиллиметровые волны	0,1...1 мм	Гипервысокие частоты (ГВЧ)	300...3000 ГГц

# Наименование диапазонов и полосы частот спутниковой связи

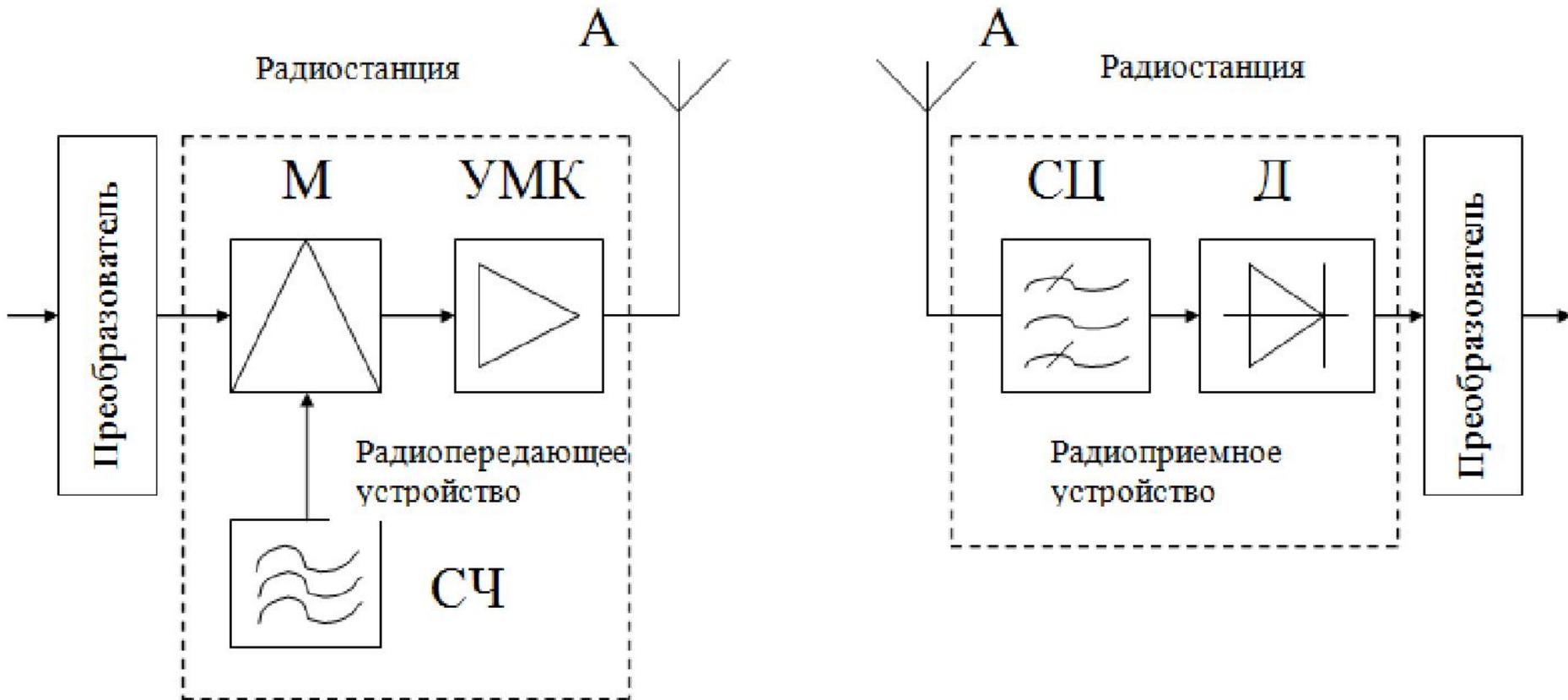
- L – диапазон 1452-1550 МГц и 1610-1710 МГц
- S – диапазон 1930 – 2700 МГц
- C – диапазон 3400 -5250 МГц и 5725 – 7075 МГц
- X – диапазон 7250 – 8400 МГц
- Ku – диапазон 10,70 - 12,75 ГГц и 12,75 - 14,80 ГГц
- Ka – диапазон 15,40 - 26,50 ГГц и 27,00 - 30,20 ГГц
- K – диапазон 84,0 - 86,0 ГГц

# Обобщенная структурная схема многоканальной радиосистемы передачи

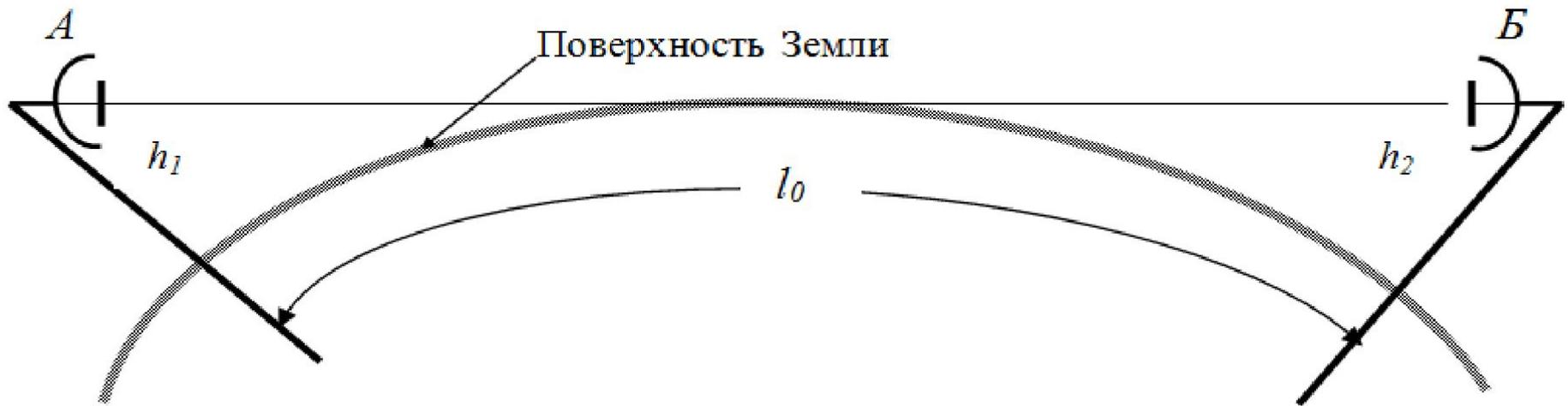


- КГО – каналообразующее и групповое оборудование
- СЛ – проводные соединительные линии
- ООСпер – оконечное оборудование ствола
- РСТ – радиоствол

# Структурная схема радиолинии

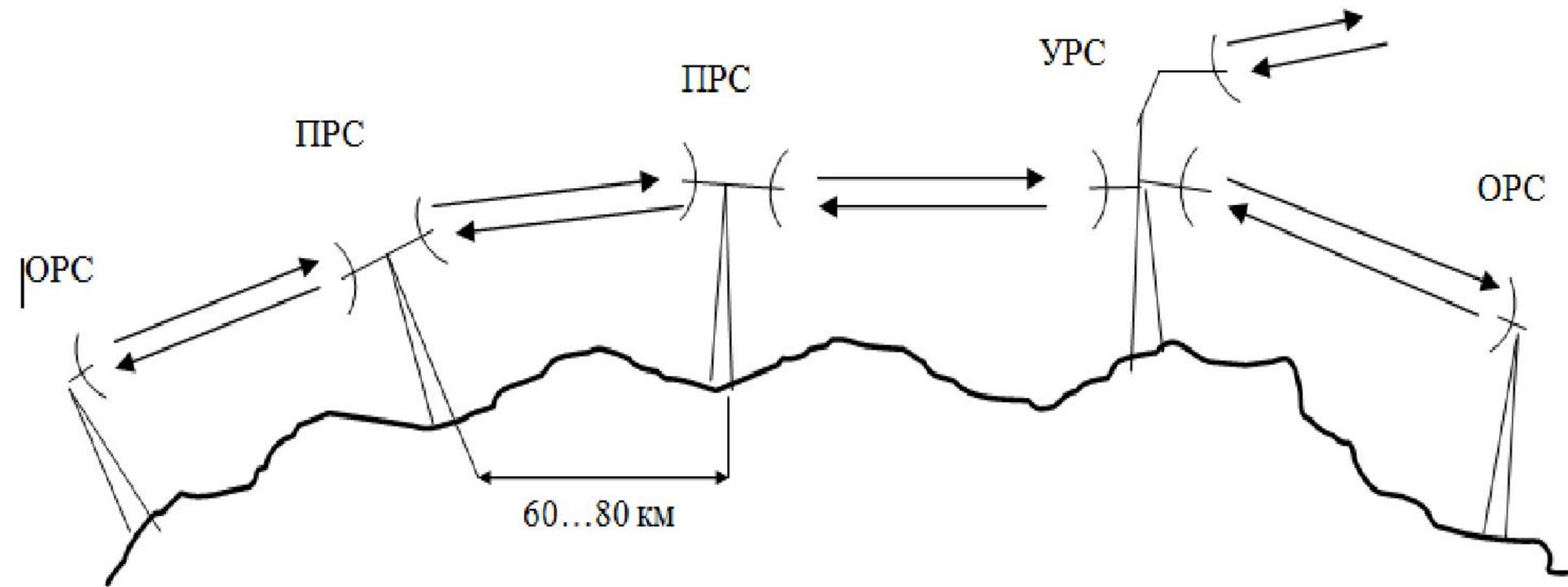


# Радиовидимость

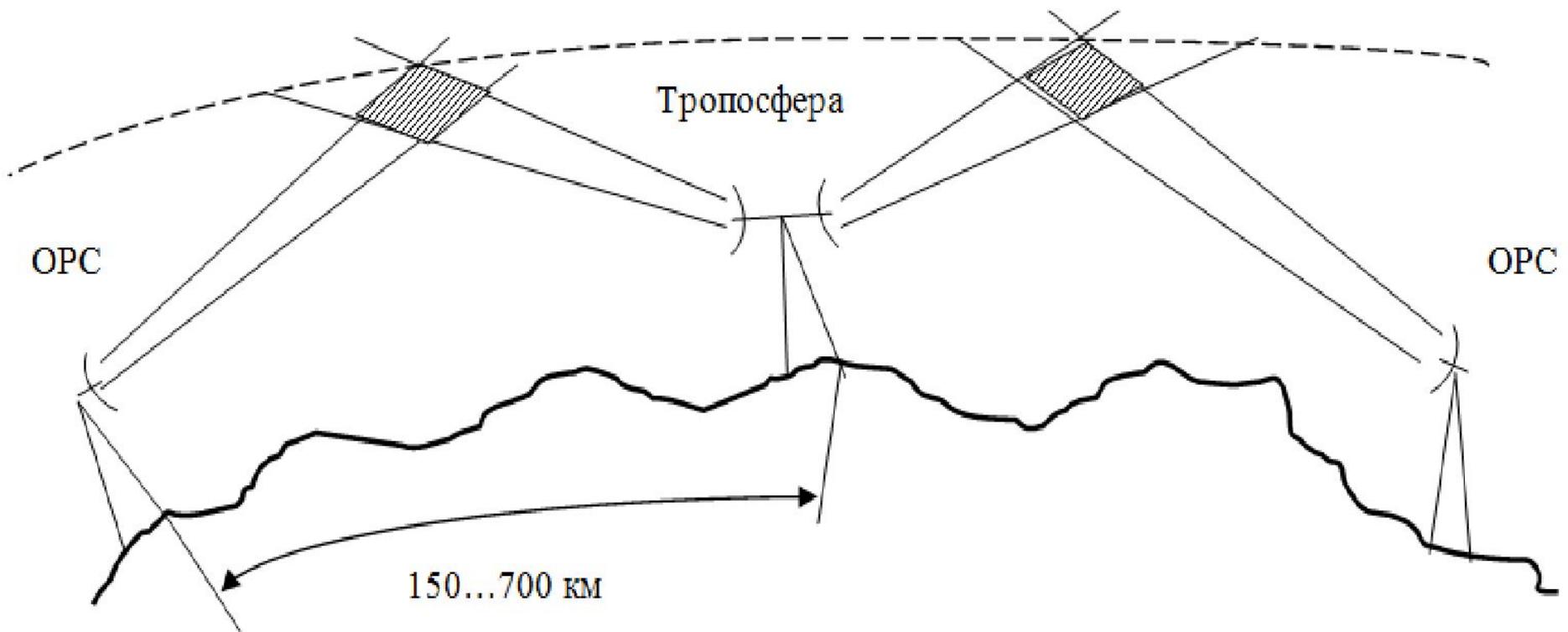


$$l_0 = 4,12 \left( \sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} \right),$$

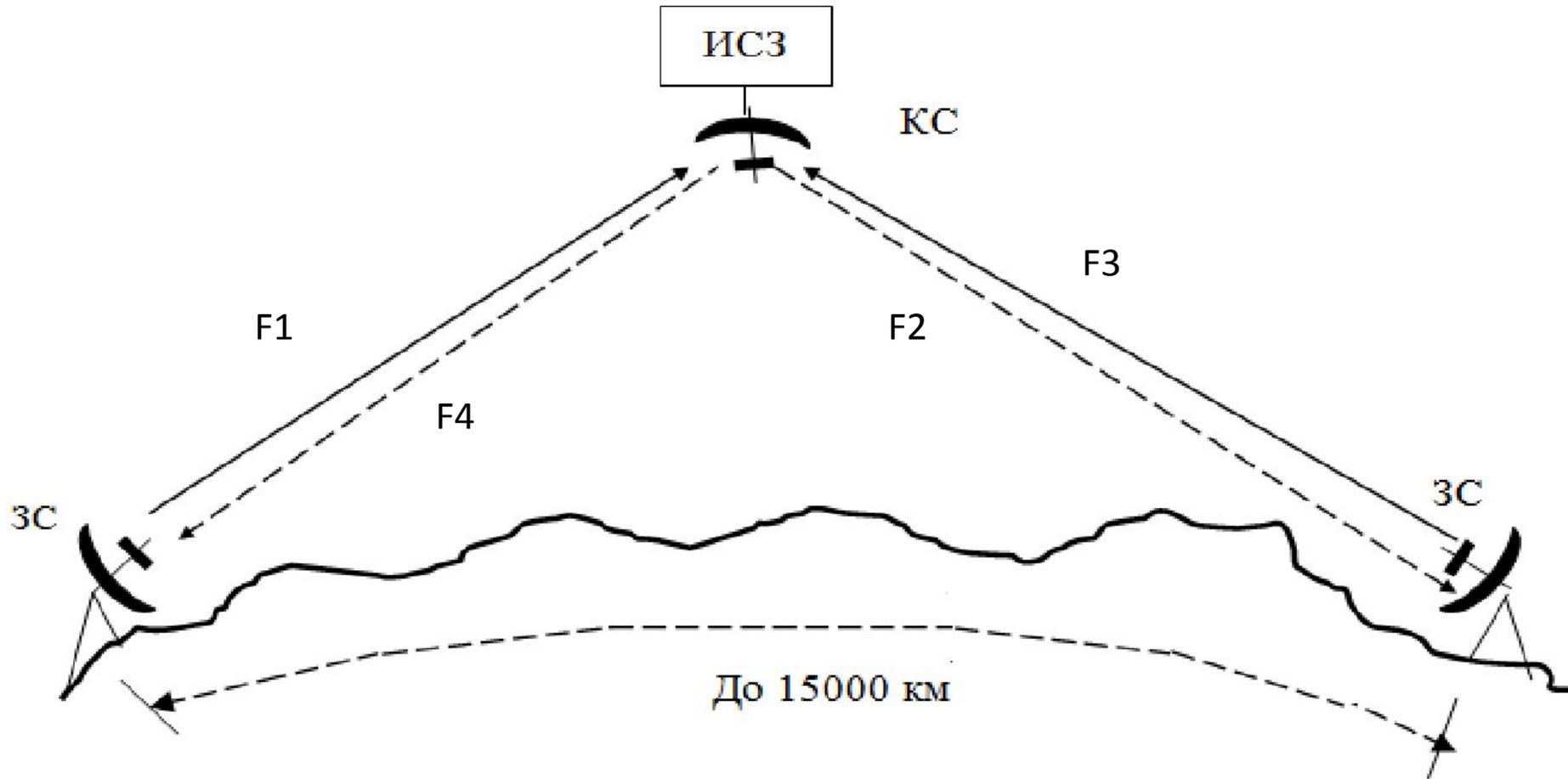
# Радиорелейная линия передачи прямой видимости



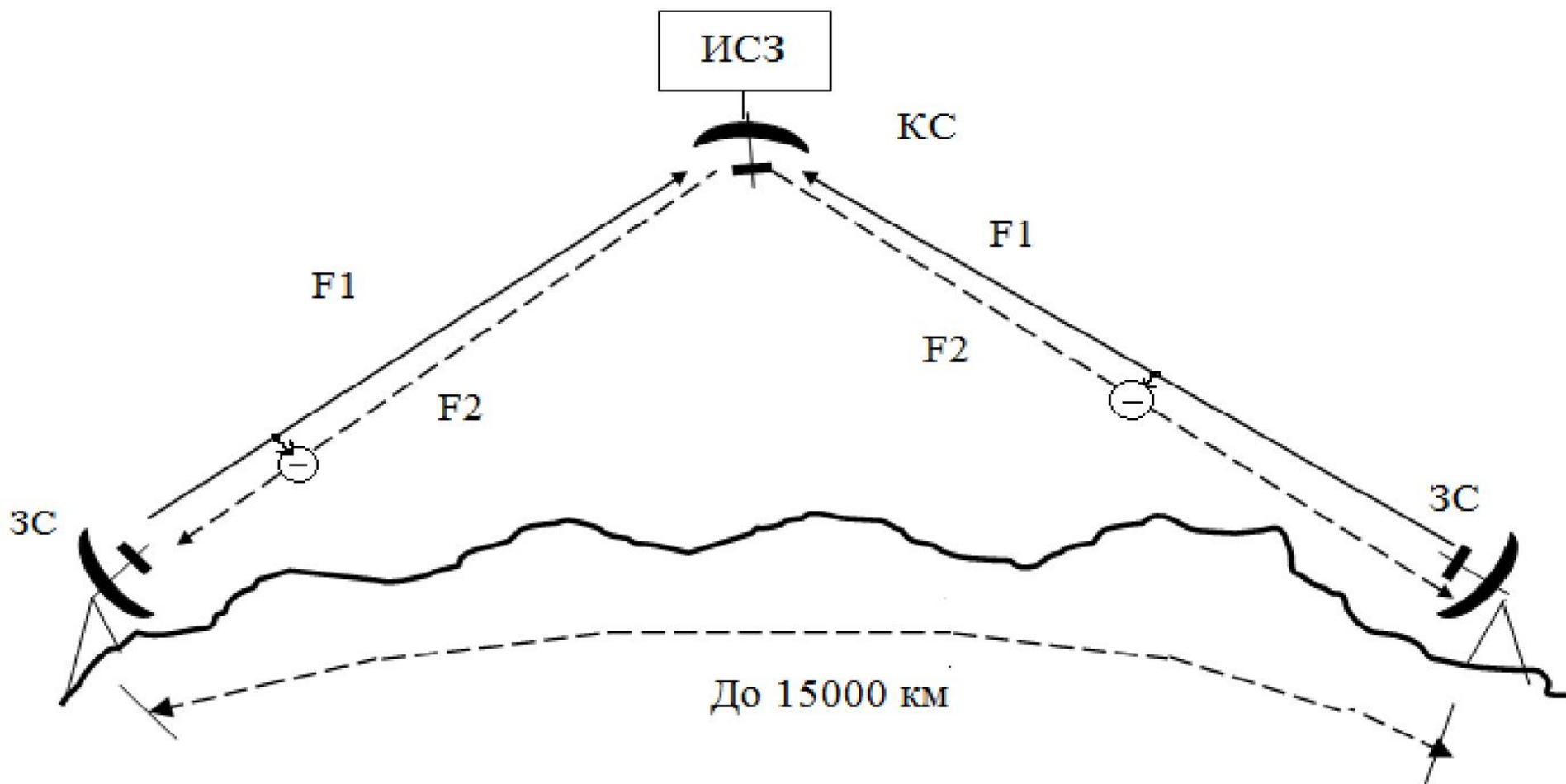
# Тропосферная радиорелейная линия



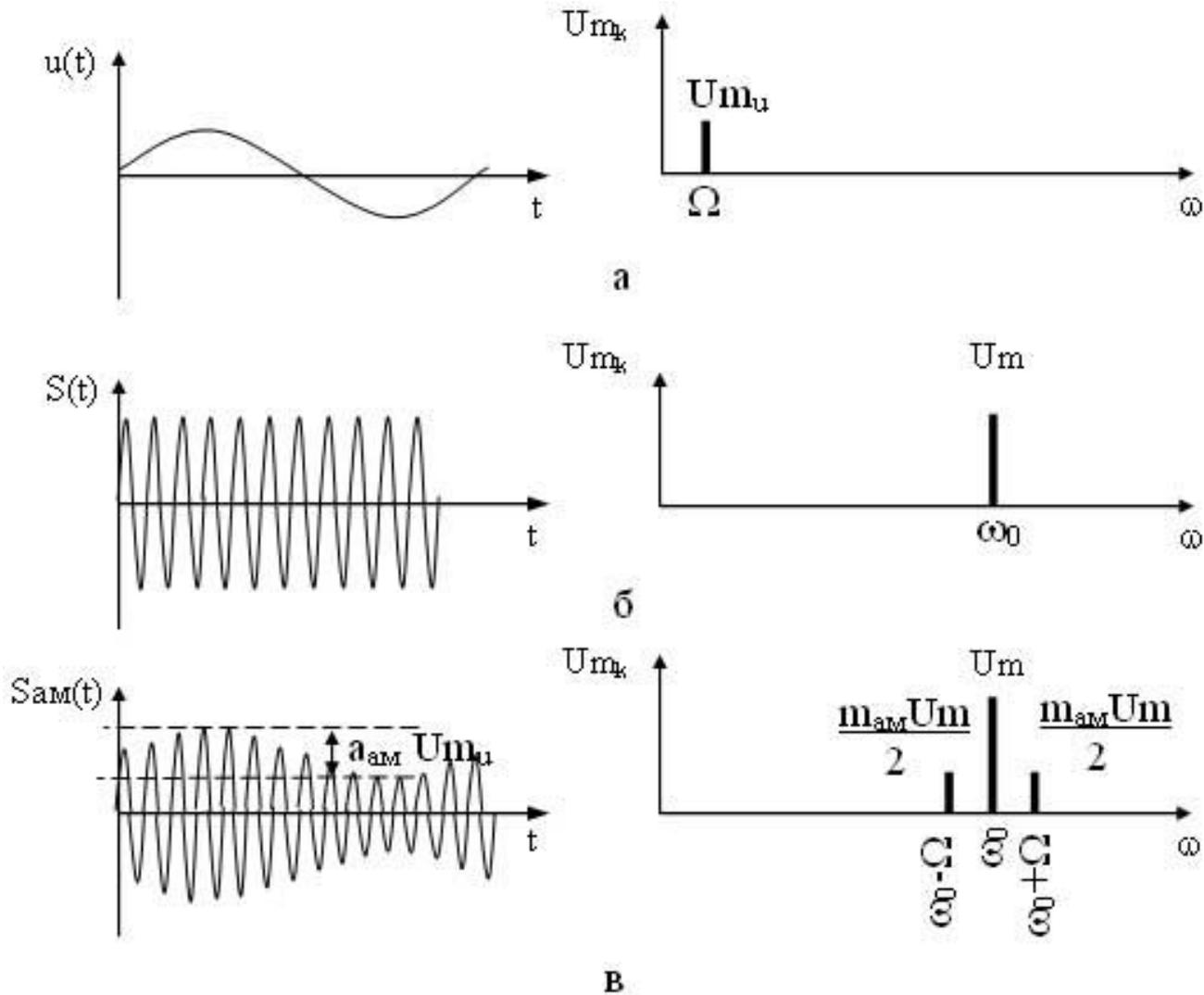
# Спутниковая линия передачи



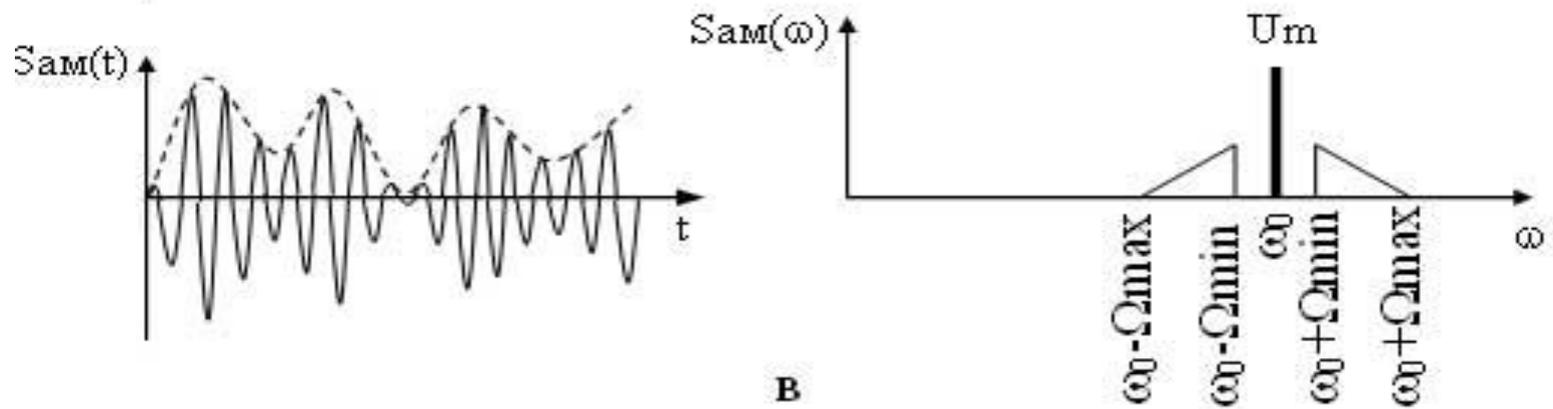
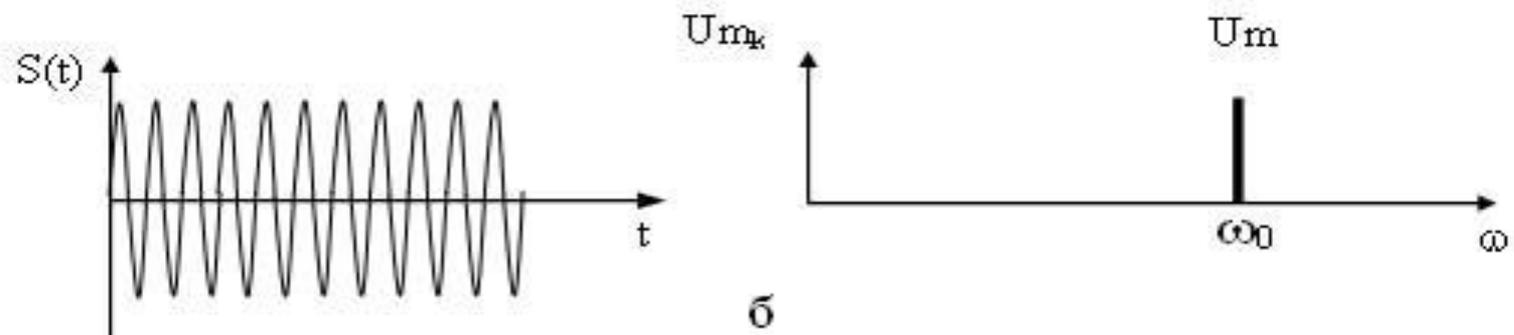
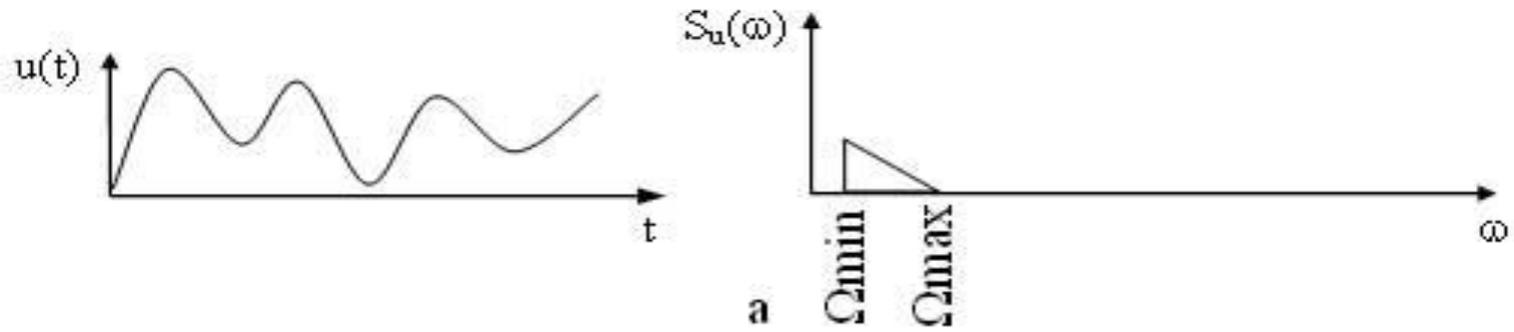
# Carrier – In – Carrier



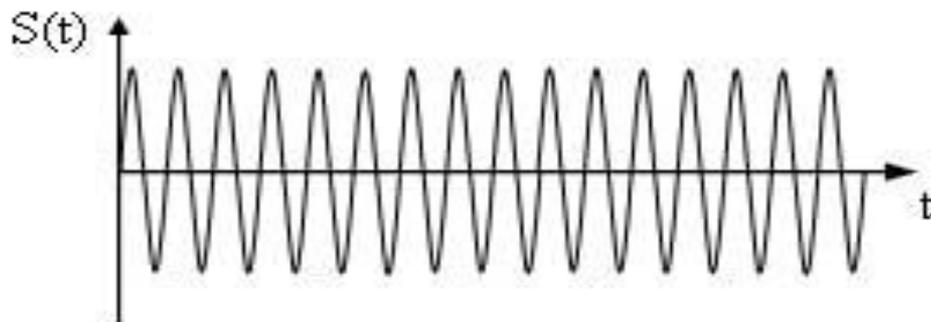
# АМПЛИТУДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ



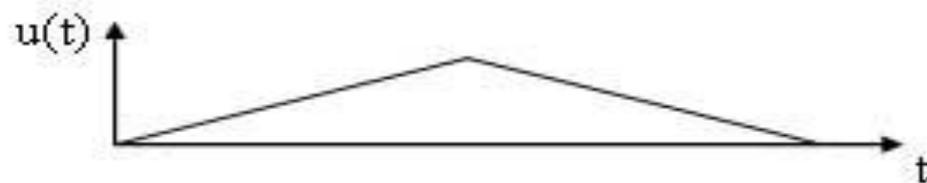
# AM



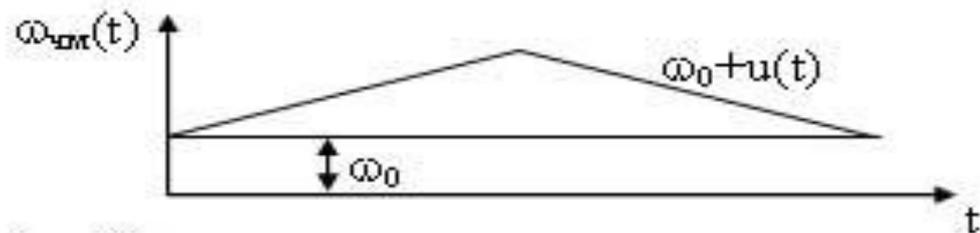
# Частотная модуляция



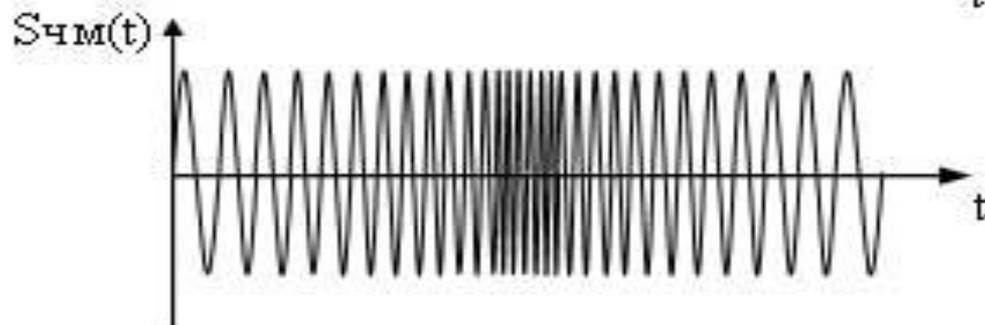
а)



б)



в)



г)

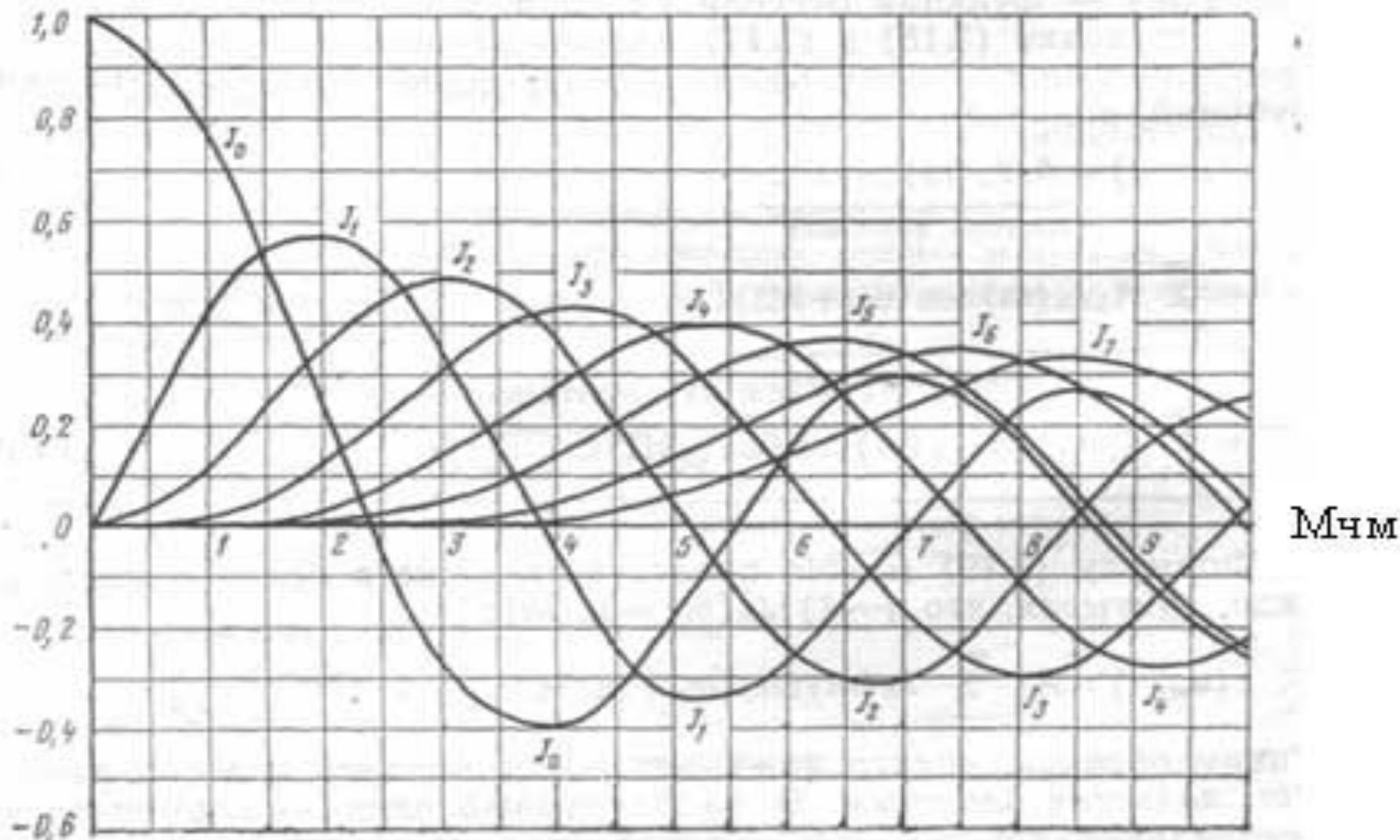
# ЧМ сигнал

$$u_{\text{ЧМ}}(t) = U_{\text{H}} J_0(m) \cos \omega_0 t + \sum_{n=1}^{\infty} U_{\text{H}} J_n(m) \cos(\omega_0 + n\Omega)t + \\ + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n U_{\text{H}} J_n(m) \cos(\omega_0 - n\Omega)t.$$

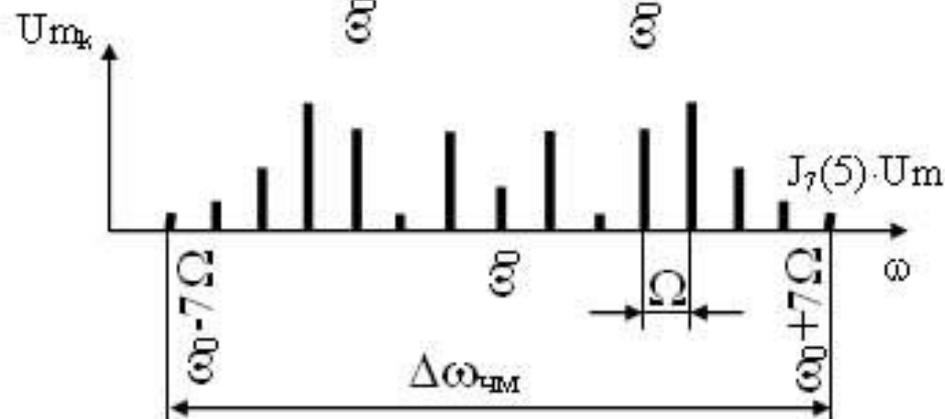
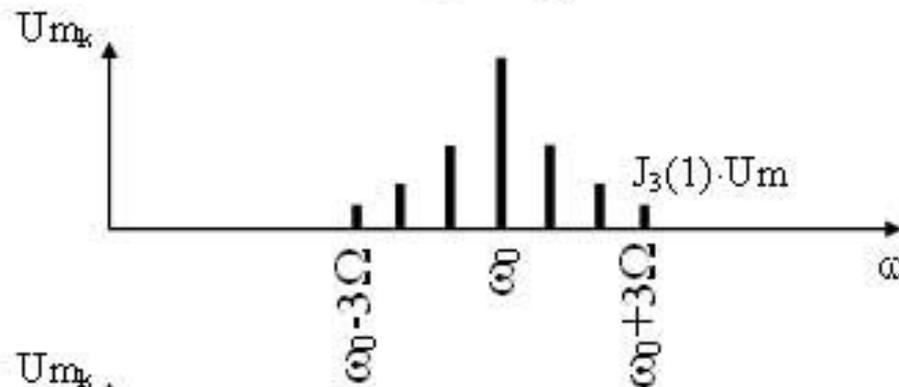
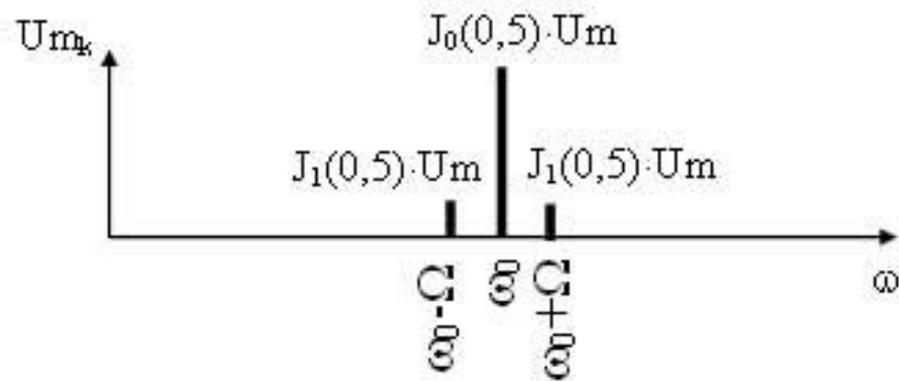
$$J_{\alpha}(x) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! \Gamma(m + \alpha + 1)} \left(\frac{x}{2}\right)^{2m + \alpha}$$

# Функции Бесселя

$J_k(\text{Мчм})$

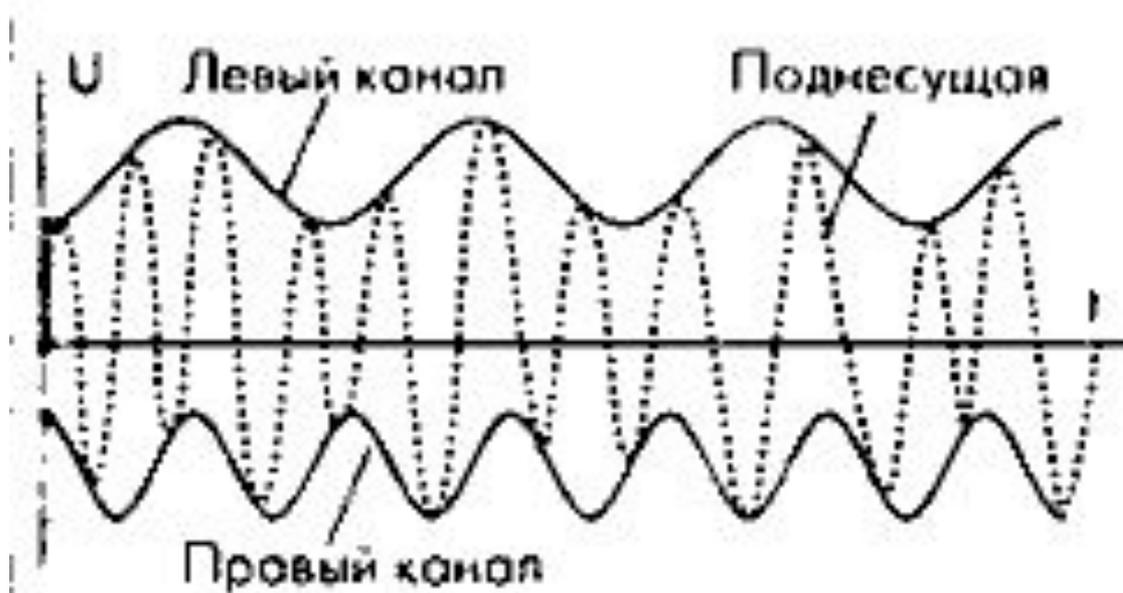


# Спектр ЧМ сигнала

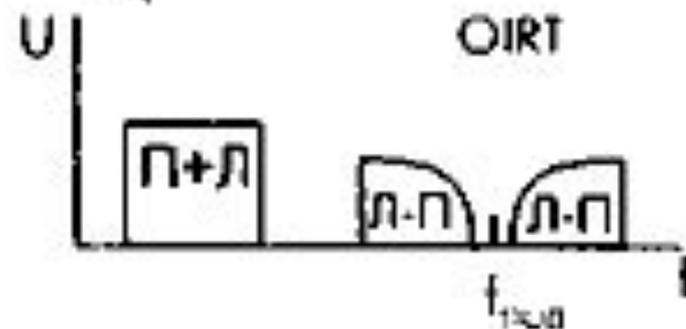


# Комплексный стереосигнал

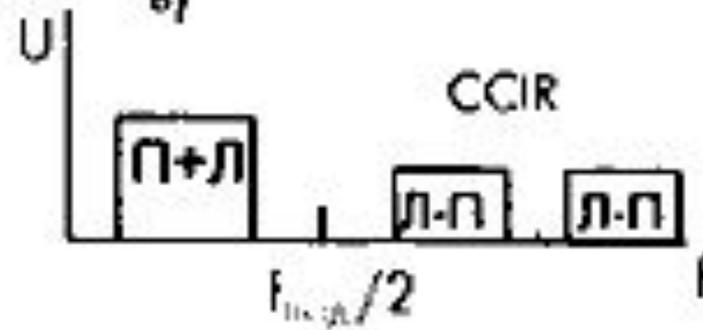
а)



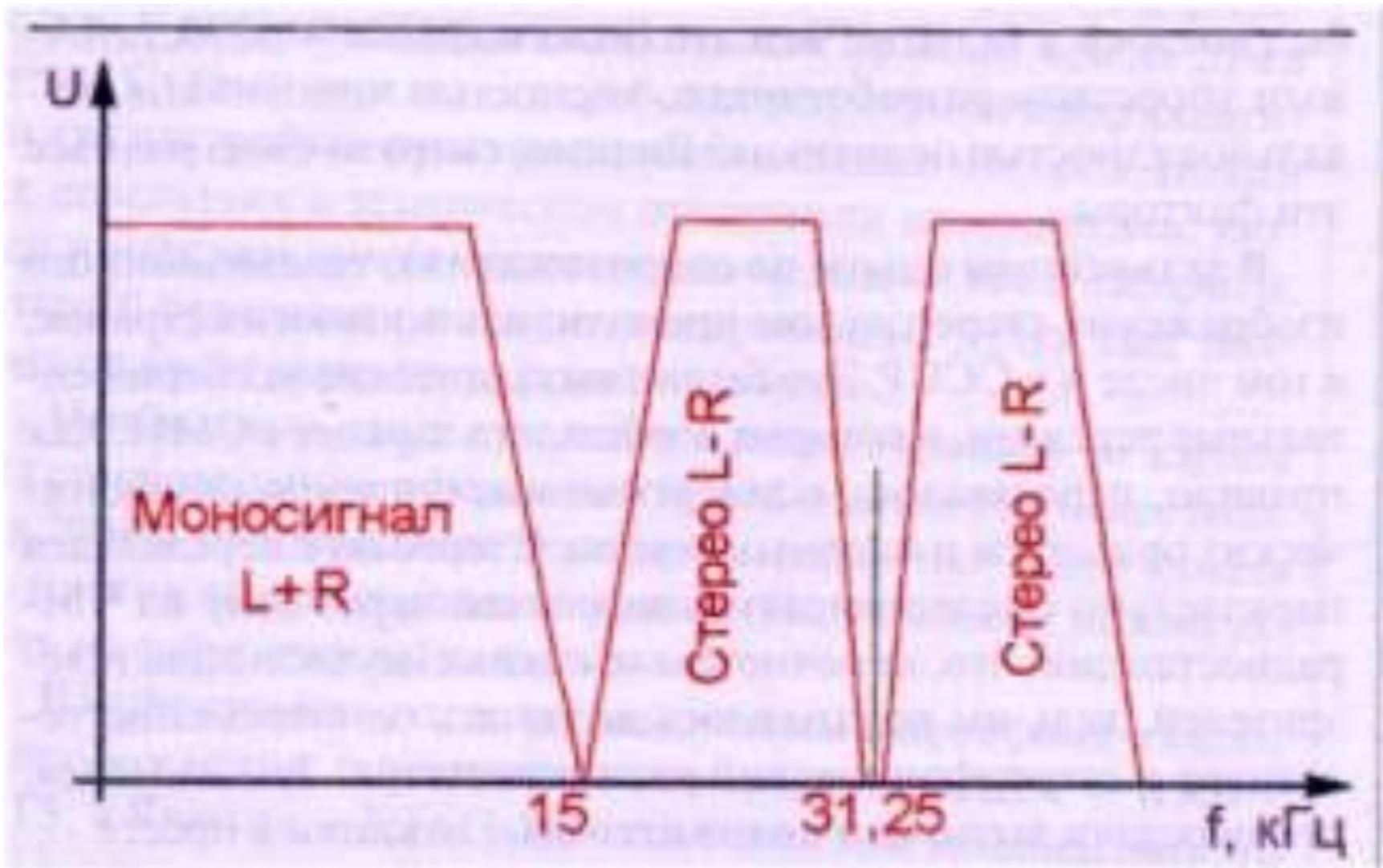
б)



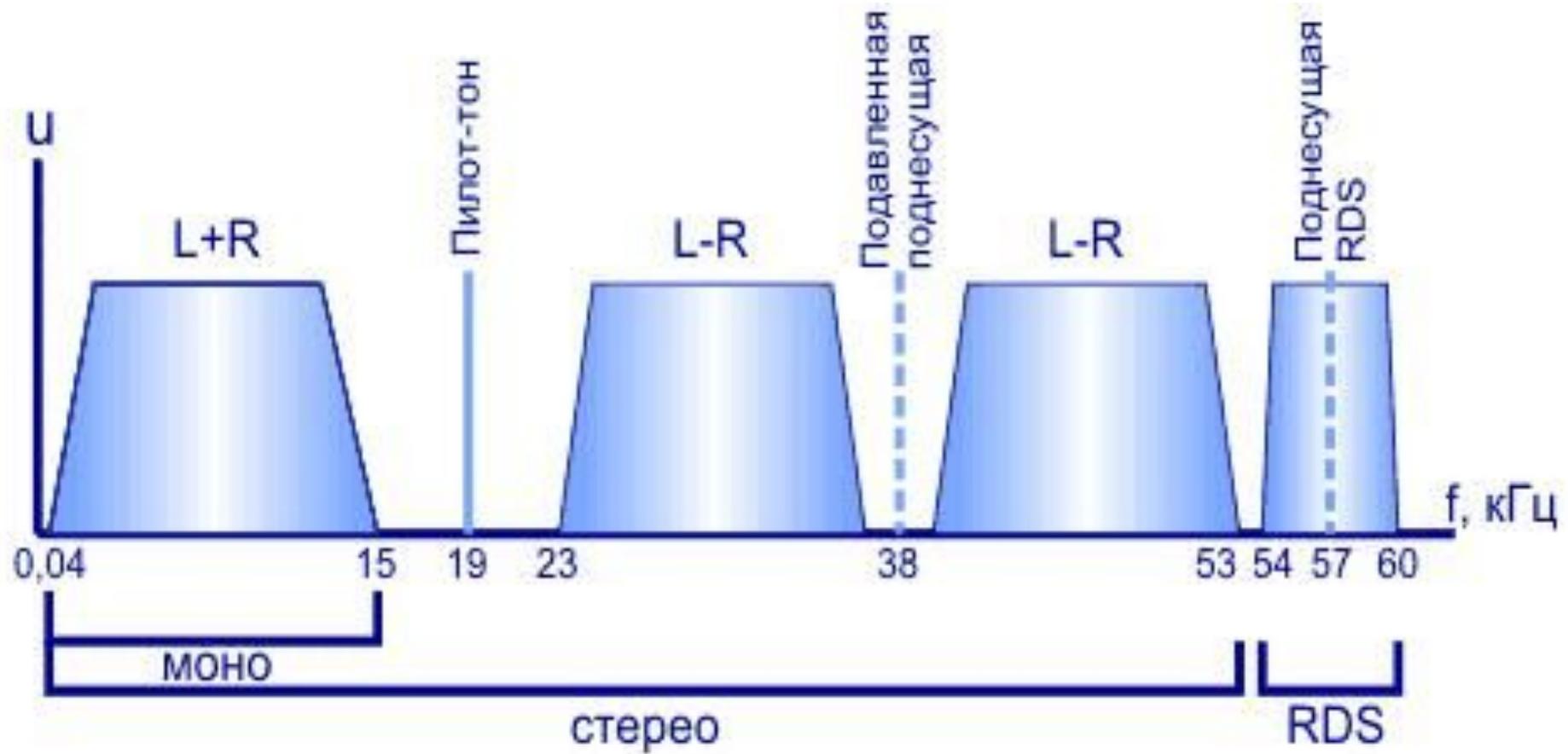
в)



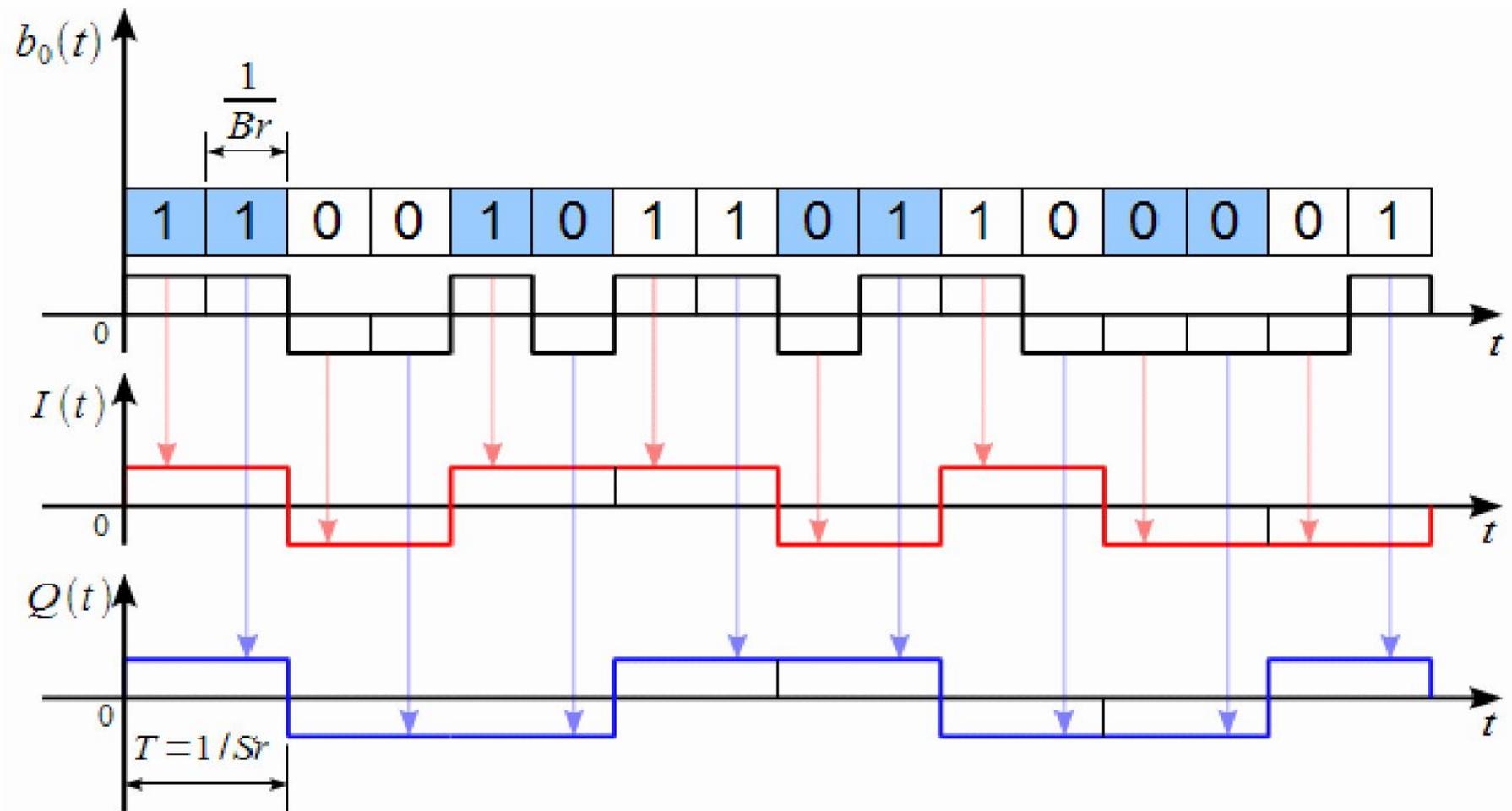
# УКВ - ЧМ



# FM

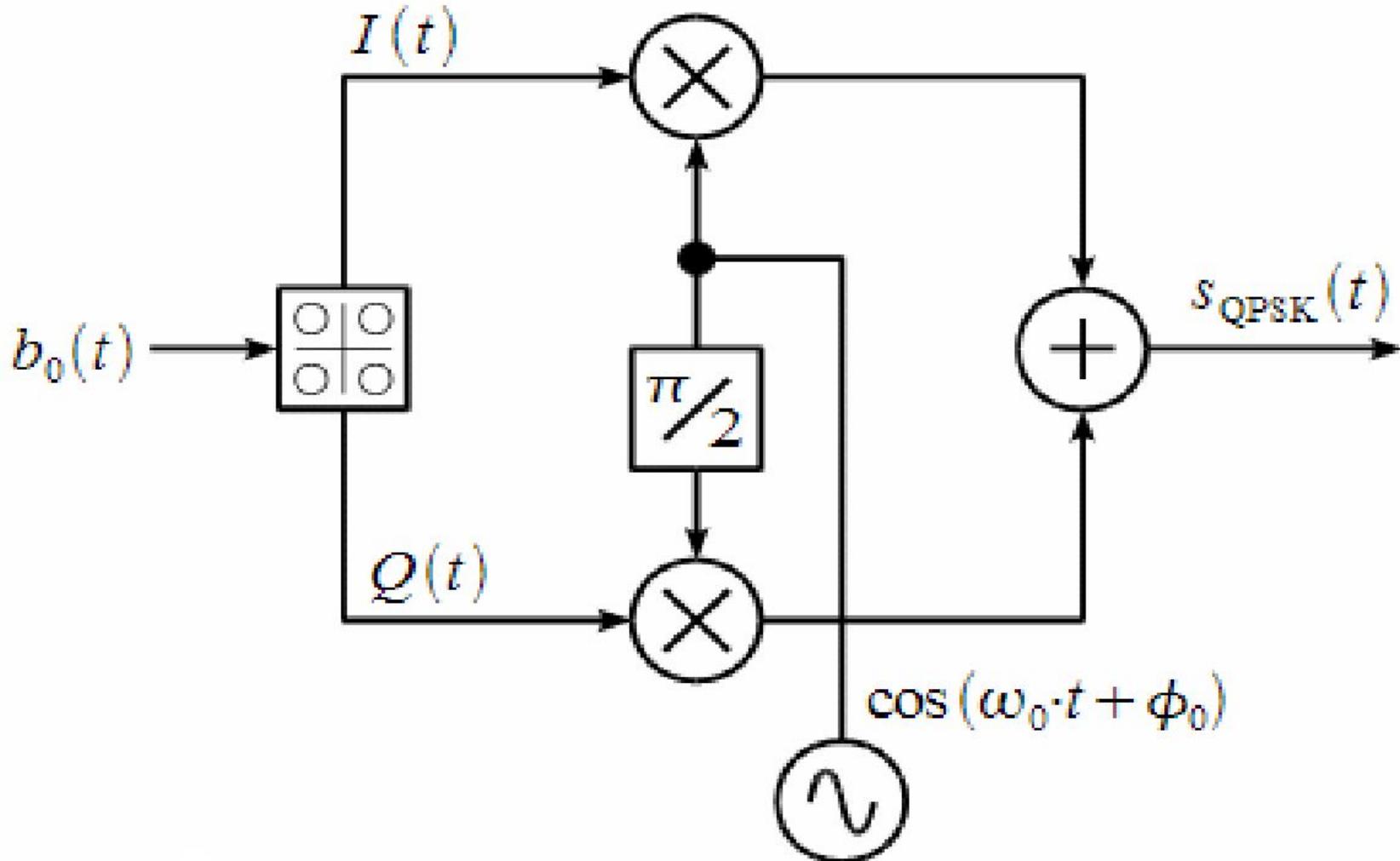


# QPSK



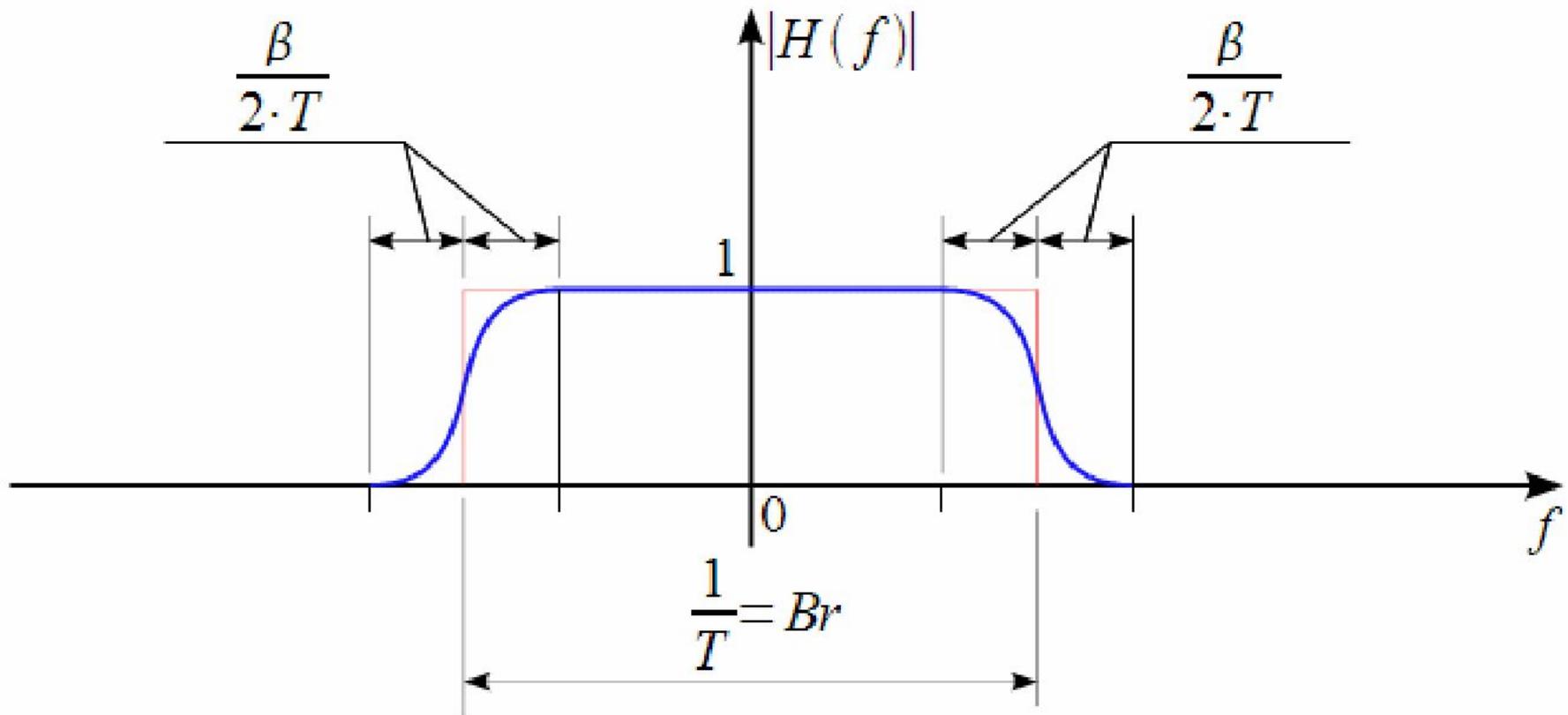
Синфазная и квадратурная составляющие QPSK сигнала

# Модулятор ФМ-4 (QPSK)



Структурная схема QPSK модулятора

# Фильтр Найквиста



· *Формирующий фильтр Найквиста при аппроксимации фронта АЧХ приподнятым косинусом*

# АЧХ фильтра Найквиста

$$|H(f)| = \begin{cases} 1, & \text{если } |f| < \frac{1-\beta}{2 \cdot T}. \\ \frac{1}{2} \left( 1 + \cos \left( \frac{\pi \cdot T}{\beta} \cdot \left[ |f| - \frac{1-\beta}{2 \cdot T} \right] \right) \right), & \text{если } \frac{1-\beta}{2 \cdot T} < |f| < \frac{1+\beta}{2 \cdot T}. \\ 0, & \text{если } |f| > \frac{1+\beta}{2 \cdot T}. \end{cases}$$