

ТРАНСПОРТНЫЕ ПРОВОДНЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Автор Иванов В.И.
v.i.ivanov@mail.ru
К.Т. 89272602311

Литература

■ Цифровые и аналоговые системы передачи: Учебник для вузов / В.И. Иванов, В.Н. Гордиенко, Г.Н. Попов и др.; Под ред. В.И. Иванова. – М.: Радио и связь. – 1995. Второе издание: М.: Горячая линия – Телеком. 2003.

■ Волоконно-оптические системы передачи. Учебное пособие /Иванов В.И., Адамович Л.В. Самара: СРТТЦ, 2010, - 138 с.: ил. (2 семестр)

■ СПЕКТРАЛЬНОЕ УПЛОТНЕНИЕ ВОЛС.

Учебное пособие /Иванов В.И Самара: ПГУТИ, 2010, - с.: ил. (2 семестр)

■ Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: О-75 Учебник для вузов /В.В. Крухмалев, В.Н. Гордиенко, А.Д. Моченов, В.И. Иванов и др.: Под ред. В.Н. Гордиенко и В.В. Крухмалева: - М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 510 с.: ил. Второе изд. 2008. – 424 с.: ил.

■ Крухмалев, В. В. Цифровые системы передачи [Текст] : учебное пособие для вузов / В. В. Крухмалев, В. Н. Гордиенко, А. Д. Моченов ; ред. А. Д. Моченов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Горячая линия-Телеком, 2014. - 372 с.; 30экз. НТБ ПГУТИ.

■ Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей [Электронный ресурс] : учебник для вузов / Н. Н. Васин [и др.]. ; ПГУТИ, Каф. СС. - Электрон. текстовые дан. (1 файл: 2,60 Мб). - Самара : ИНУЛ ПГУТИ, 2017. - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. издания 2017 г. - Режим доступа: http://elib.psuti.ru/Vasin_Osnovy_postroeniya_infokommunikacionnyh_sistem_i_setej_uchebnik_2017.pdf, свободный. - Б. ц

Необходимые знания

Свет и его
распространение

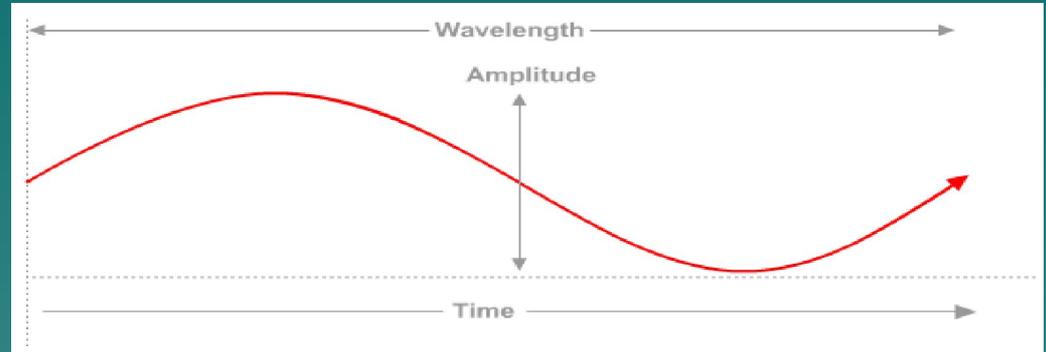


Что такое свет?

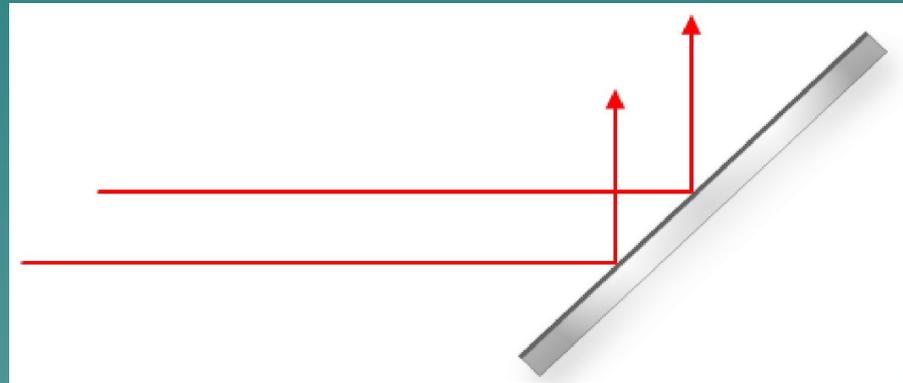
Свет – форма электромагнитного излучения

Формы представления света:

□ Как электромагнитная волна



□ В виде диаграммы лучевой направленности (как поток фотонов)



Основные характеристики:

- длина волны (цвет)
- скорость распространения
- мощность

Длина волны и Частота

- Длина волны (лямбда, λ): обычно измеряется в нанометрах, 10^{-9}м (нм)
- Пример: Одна из стандартных длин волн ITU - 1560.61 нм
- Частота (ν) измеряется в Герцах (Гц): количество волн за период времени (секунда)
- Обычно измеряется в ТераГерцах (ТГц)
- $1 \text{ ТГц} = 10^{12} \text{ Гц}$

Длина волны \times Частоту = Скорость света $\Rightarrow \lambda \times \nu = C$

$$C = 3 \times 10^8 \text{ м/с}$$

Оптический спектр

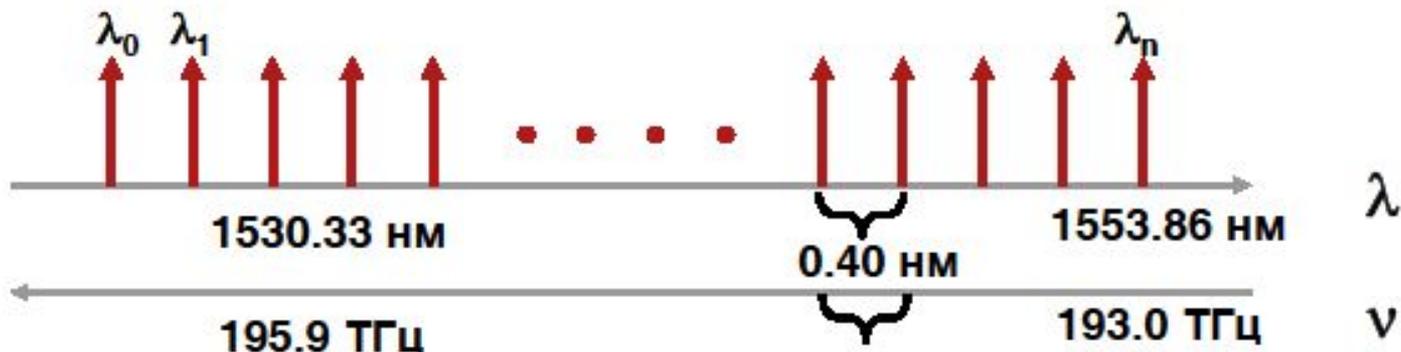
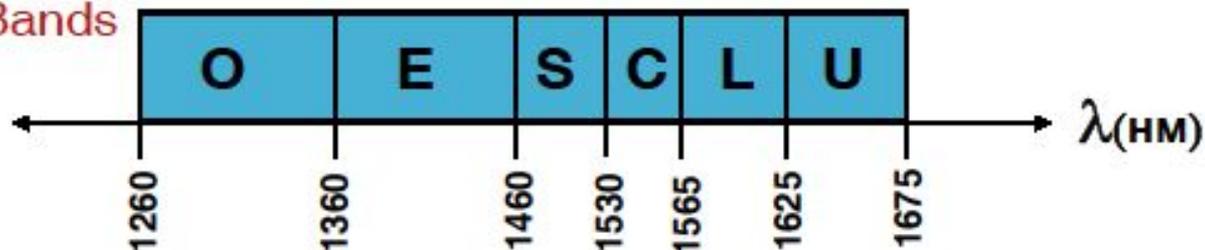


- Световой диапазон
 - Ультрафиолет (UV)
 - Видимый свет
 - Инфракрасное излучение (IR)
- Коммуникационные сигналы
 - 850 nm Multimode
 - 1310 nm Singlemode
 - 1550 nm DWDM & CWDM
- Специальные длины волн
 - 980, 1480, 1625 nm (Лазеры накачки)

Частотный план ITU

- Международный Союз Электросвязи (ITU) определил частотный план и диапазоны для длин волн используемых телекоммуникационными системами; диапазоны **C** и **L** обычно используются DWDM системами

- ITU Bands

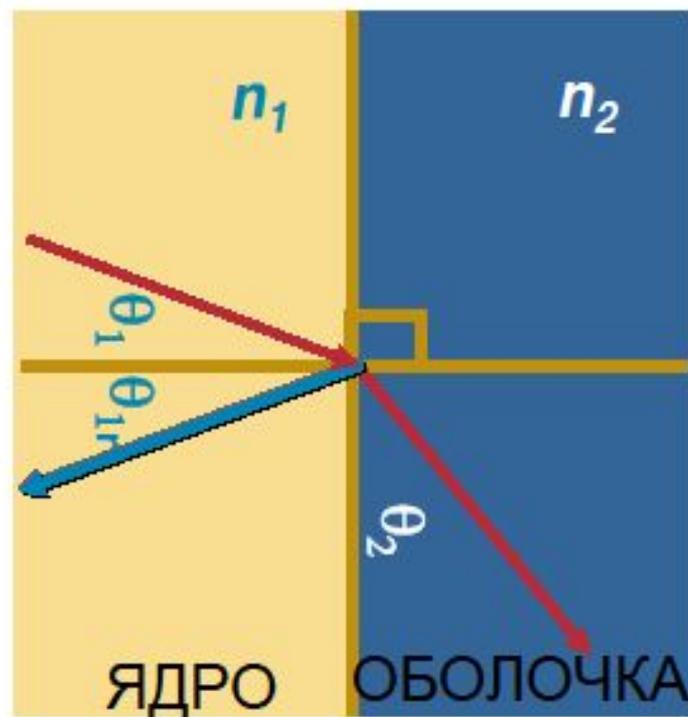
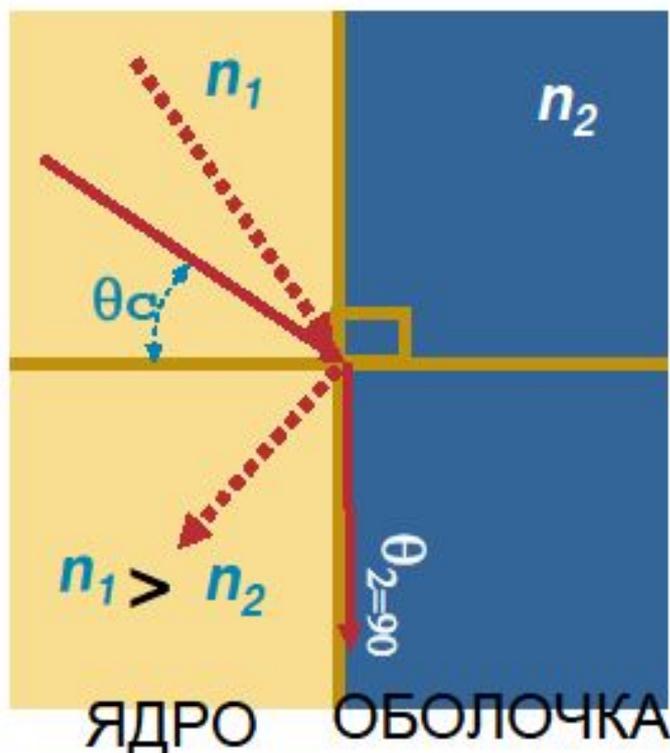


Шаг между каналами = 50 ГГц

Немного из школьного курса физики

Свет **отражается/преломления** на поверхности

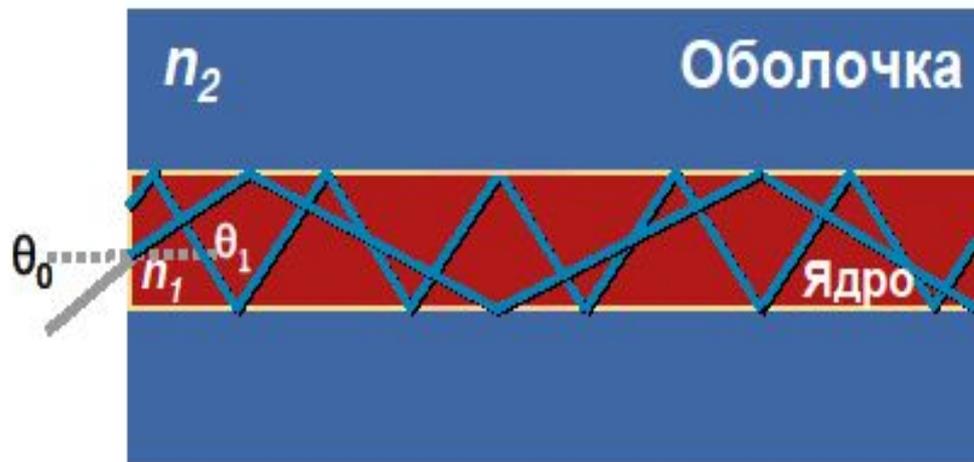
- θ_1 = Угол падения
- θ_{1r} = Угол отражения
- θ_2 = Угол преломления



θ_c —Это критический угол

Если угол падения больше чем критический угол, весь свет будет отражаться (а не преломляться); Это называется полным внутренним отражением

Распространение длин волн в оптическом кабеле



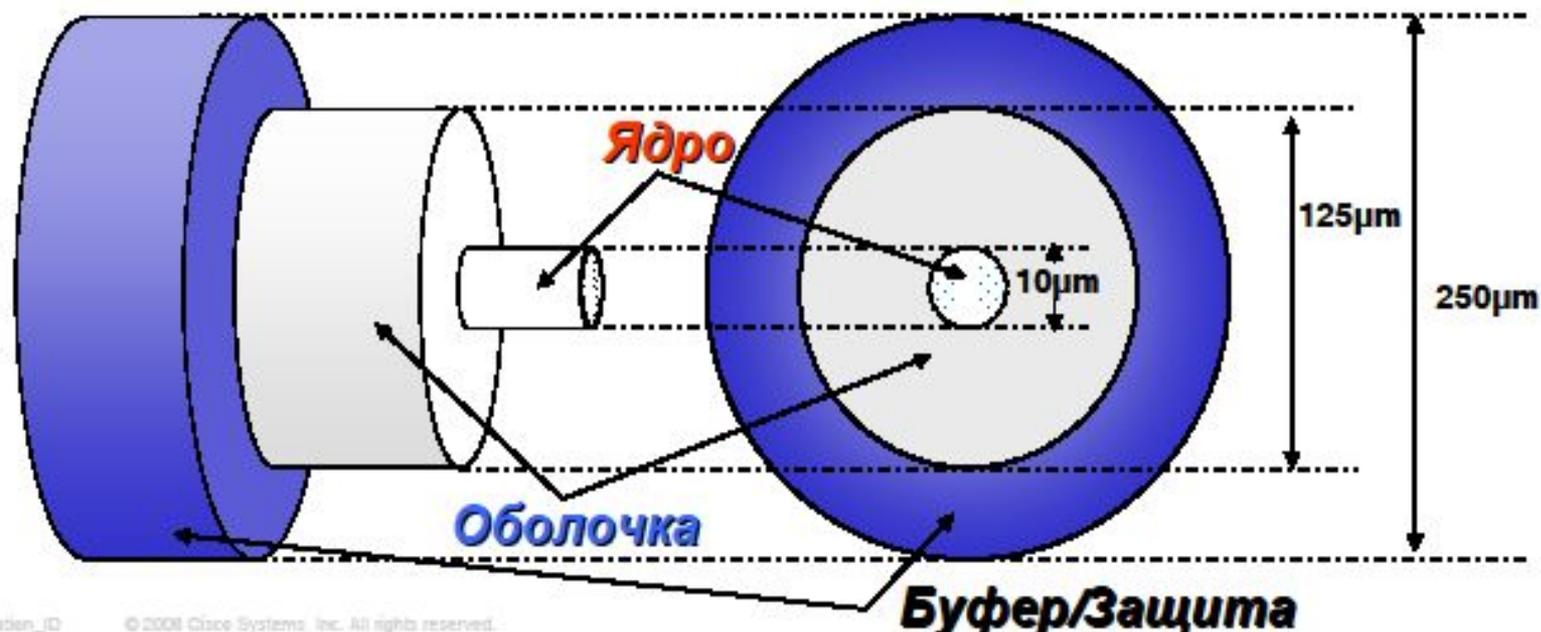
- Свет распространяется благодаря эффекту **полного внутреннего отражения** в месте соприкосновения ядра и оболочки
- Полное внутреннее отражение происходит без потерь
- Каждый возможный луч света – mode. В одномодовом волокне геометрия волокна позволяет свету распространяться единственным способом (модой)

Структура одномодового волокна

- И ядро и оболочка сделаны главным образом из кварца (SiO_2)
- Также в ядре (и/или оболочке) присутствуют добавки (допанты), чтобы коэффициент преломления ядра был немного выше, чем коэффициент преломления оболочки (требование для полного внутреннего отражения)
- Коэффициент преломления (n)

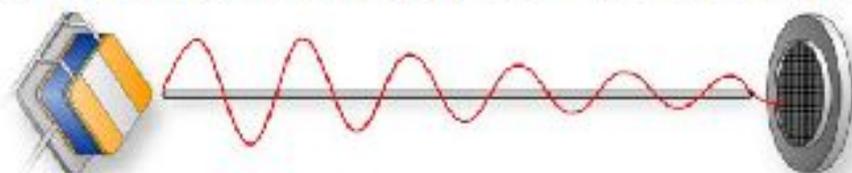
$n = c/v$, $n \sim 1.46$ (SiO_2), $n_{(\text{ядре})} > n_{(\text{оболочки})}$, различие $< 1\%$

Задержка распространения в волокне: $5 \mu\text{sec}/\text{km}$



Затухание в волокне

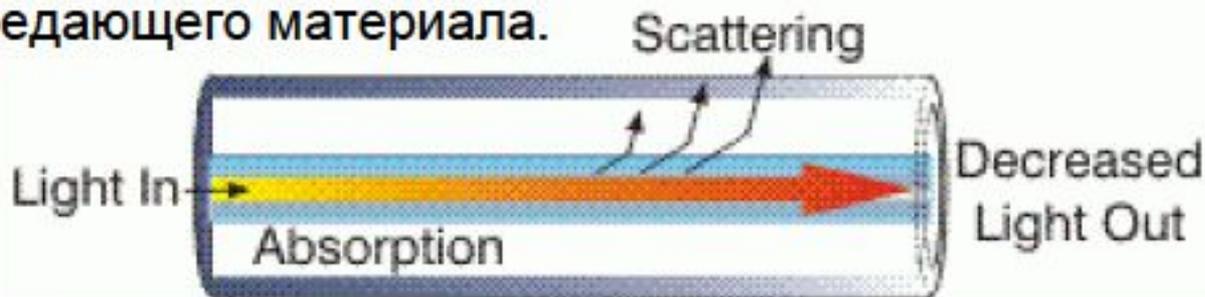
- Уменьшение мощности сигнала по мере распространения его по волокну



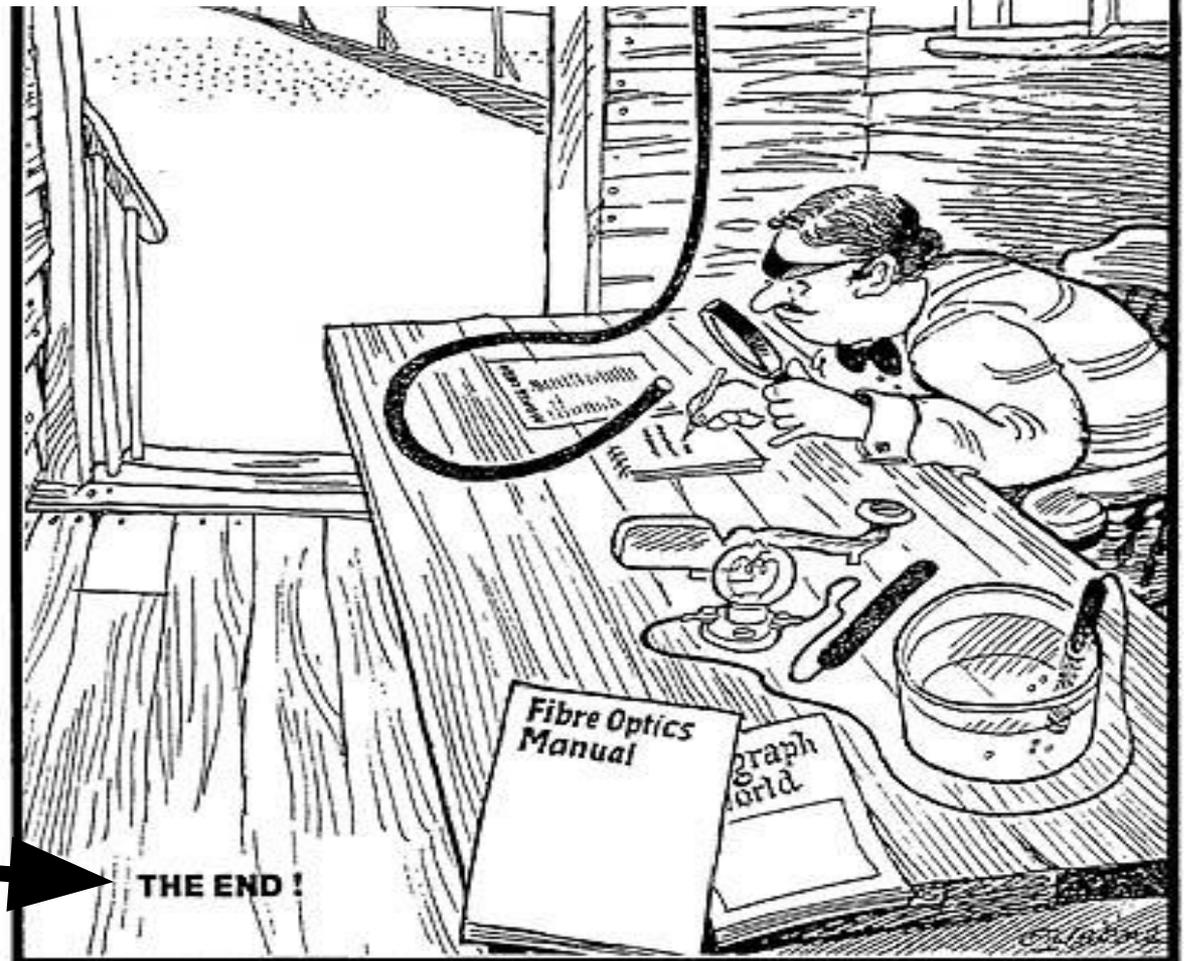
- 2 главных компоненты:

Поглощение: часть энергии сигнала уходит на нагрев волокна. В основном вызвано примесями в волокне (ионы OH).

Рассеяние: Изменение распространения света после столкновения с малыми частицами. Другими словами это распыление светового луча, вызванное неоднородностью передающего материала.



**Не при каких обстоятельствах
не смотреть в торец ОВ!
Это опасно для глаз!!!**



Это конец!



THE END!

- 1. Задачи многоканальной связи:**
 - Увеличение дальности связи;
 - Увеличение числа каналов, организованных по одной физической цепи (многоканальность связи);
 - Повышение качества передаваемой информации.
- 1. История развития многоканальной электросвязи.**
- 2. Место и роль ТПСС в сетях связи**
- 3. ОЦК, Основные характеристики.**
- 4. Структурная схема СП с ВРК с АИМ, теорема Котельникова, поясните ее физический смысл. Из каких соображений выбирается частота дискретизации сигналов в СП с ВРК? Что понимается под дискретизацией непрерывных сигналов по времени? Спектр АИМ-сигнала?**
- 5. Перечислите причины появления переходных помех между каналами СП с ВРК. Как влияют линейные искажения группового АИМ-сигнала на уровень переходных помех между каналами в СП с ВРК? Назовите виды линейных искажений? Назовите причины возникновения нелинейных искажений в групповом тракте СП с ВРК. Какое влияние оказывают нелинейные искажения на передачу группового сигнала?**

Сокращенные обозначения

ТПСС – транспортные проводные системы связи;

ВОСП – волоконно оптические системы передачи;

ВОЛС - волоконно оптические линии связи;

ЦСП – цифровые системы передачи;

МСП – многоканальные системы передачи;

ОСП – оптические системы передачи

СС – система связи;

ОК – оптический кабель;

Задачи многоканальной связи:

1. Увеличение дальности связи;
2. Увеличение числа каналов, организованных по одной физической цепи (многоканальность связи);
3. Повышение качества передаваемой информации.

трансляций. К 1927 г. на междугородных телефонных линиях связи их действовало свыше пятидесяти. Использование трансляций позволило организовать магистрали связи весьма большой протяженности (Москва – Тбилиси, Москва – Магнитогорск и др.)

Телефонные трансляции двустороннего действия обеспечили увеличение дальности связи до 2500–3000 км по медным цепям, до 500–600 км – по стальным и до 1000 км – по кабельным пупинизированным цепям [4].

История развития многоканальной электросвязи

Три этапа:

Первый этап Началом развития телефонной связи считается 1876 г., когда американский инж. А. Белл предложил применять для передачи речи на расстояние электромагнитный прибор, названный телефоном. В 1878 г. была разработана схема телефонного аппарата с угольным микрофоном.

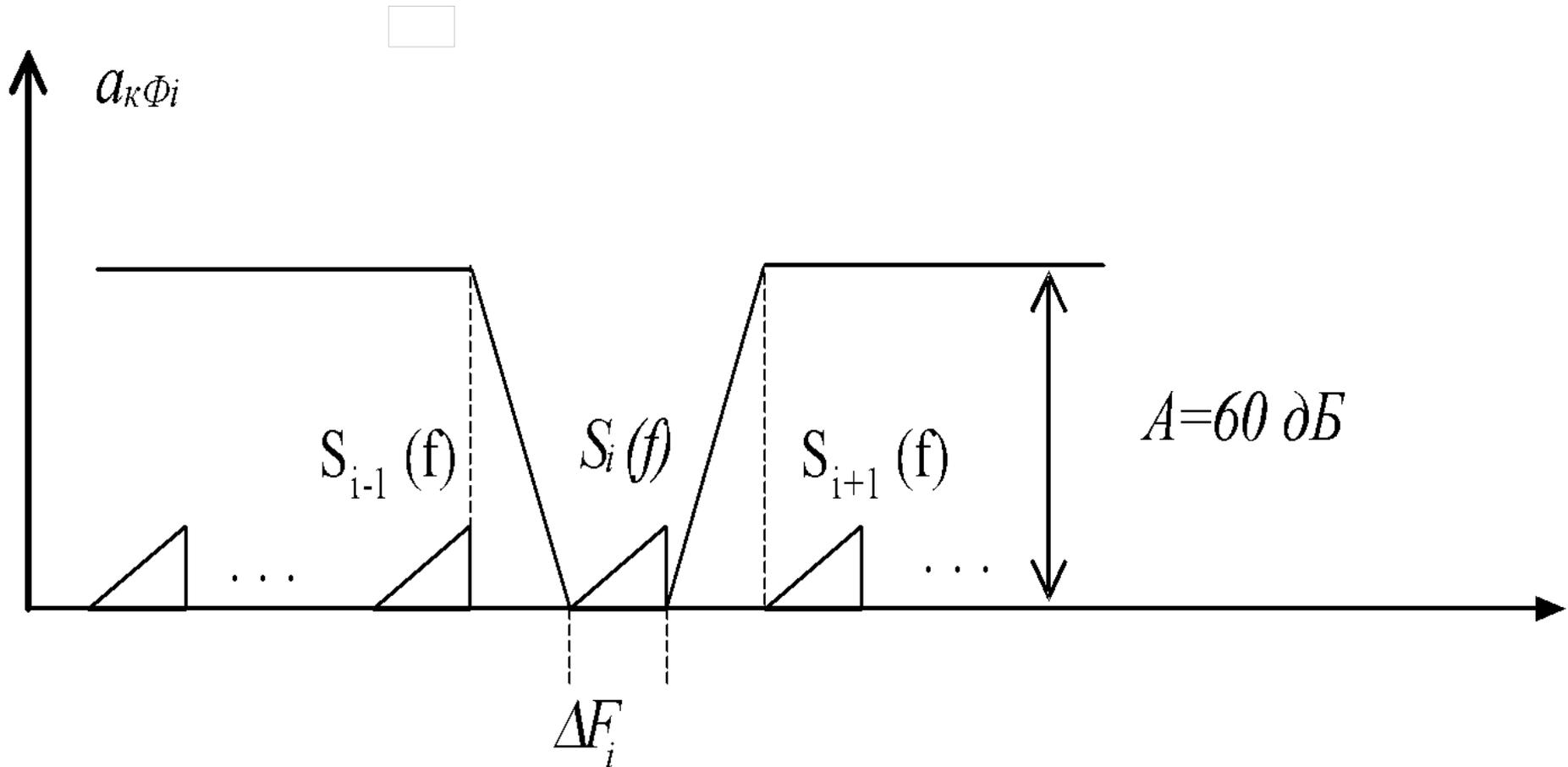
Второй этап развития многоканальной связи начинается с создания отечественным учёным В. И. Коваленковым ламповых телефонных дуплексных усилителей в 1915 г.

-1922 г. был установлен в Бологое (Петроград -Москвой).

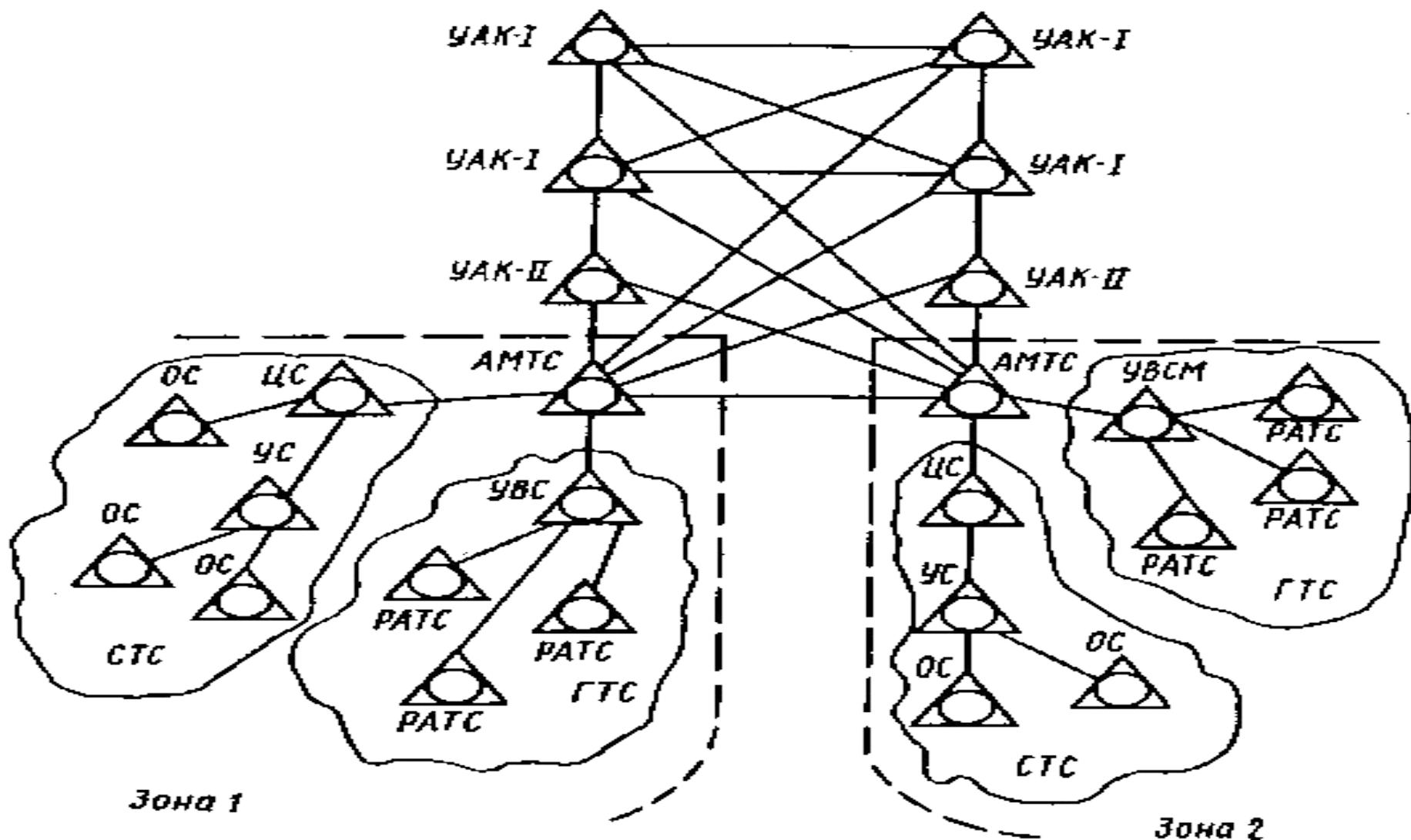
-1924 г. Петроград–Харьков. К 1927 г. на междугородных телефонных линиях связи их действовало свыше пятидесяти. Использование трансляций позволило организовать магистрали связи весьма большой протяженности (Москва – Тбилиси, Москва – Магнитогорск и др.)

Телефонные трансляции двустороннего действия обеспечили увеличение дальности связи до 2500–3000 км по медным цепям, до 500–600 км – по стальным и до 1000 км – по кабельным пупинизированным цепям.

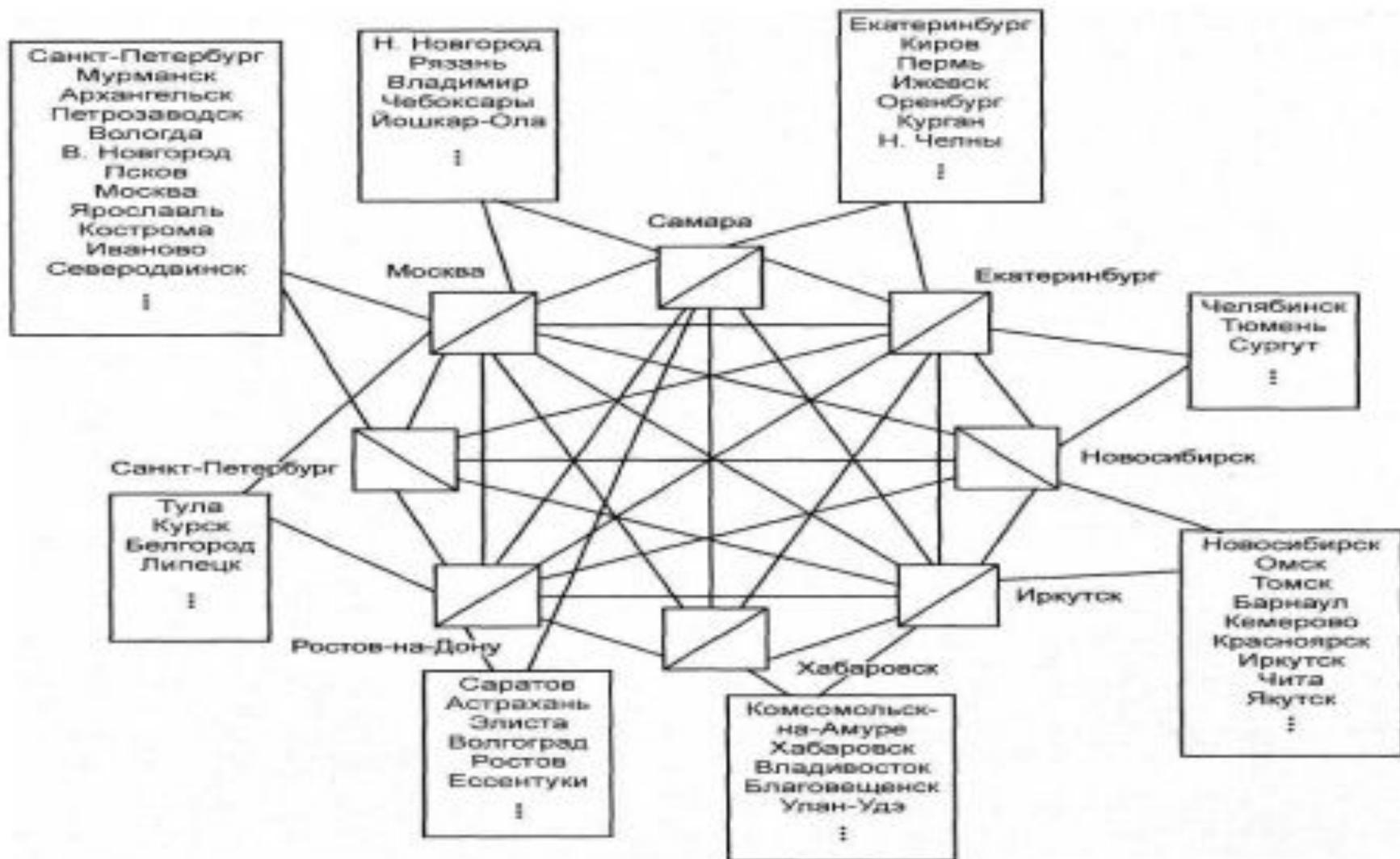
- **Третий этап** характеризуется решением проблемы многоканальности. В конце 20-х годов был реализован полосовой фильтр, позволяющий выделять одну боковую полосу частот. К 1930 г. появилась трехканальная аппаратура, а в 1940 г. была сдана в опытную эксплуатацию первая в СССР 12-канальная система передачи по воздушным линиям из цветных металлов.



Место и роль ТПСС в сетях связи

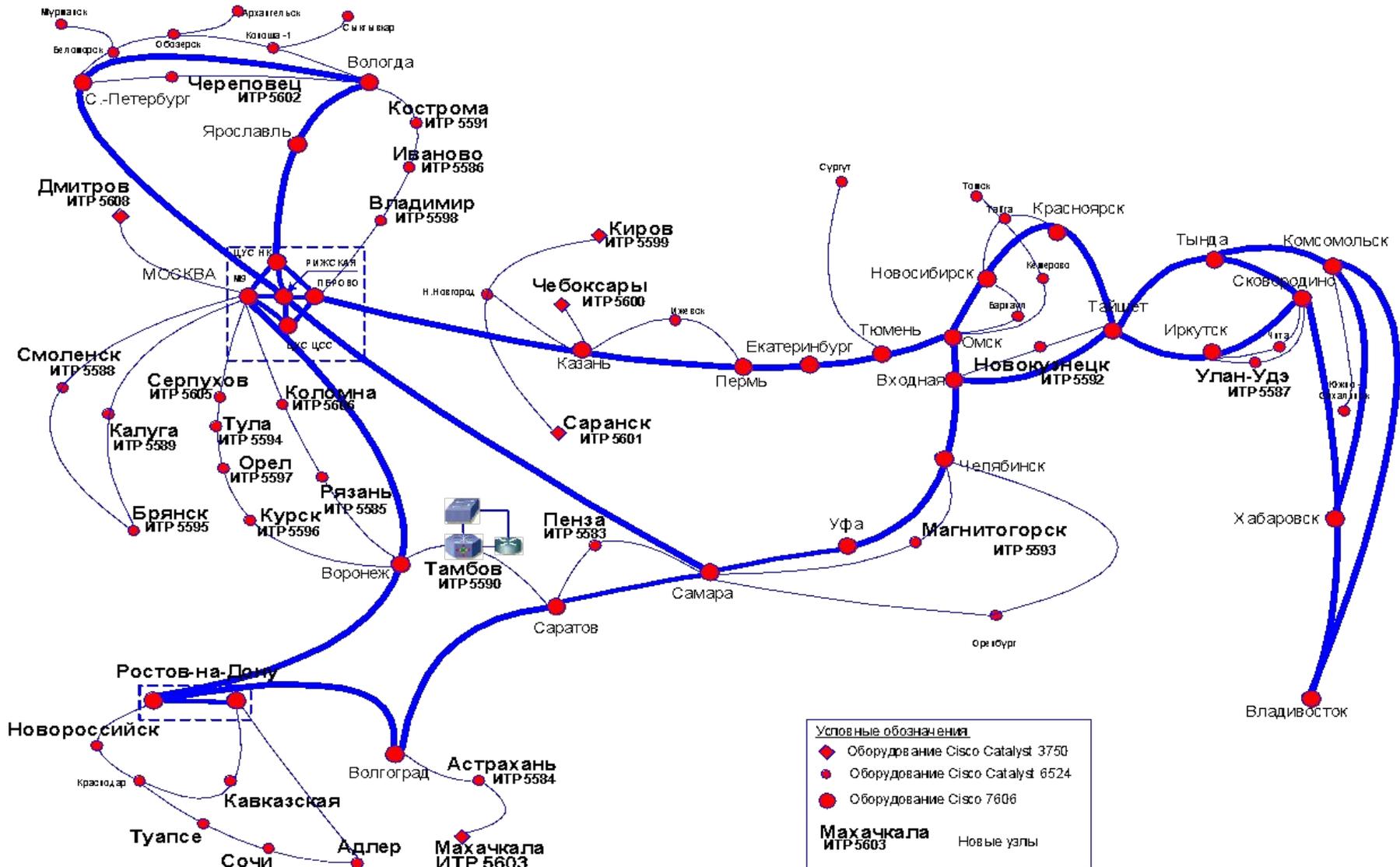


Место и роль ТПСС в сетях связи

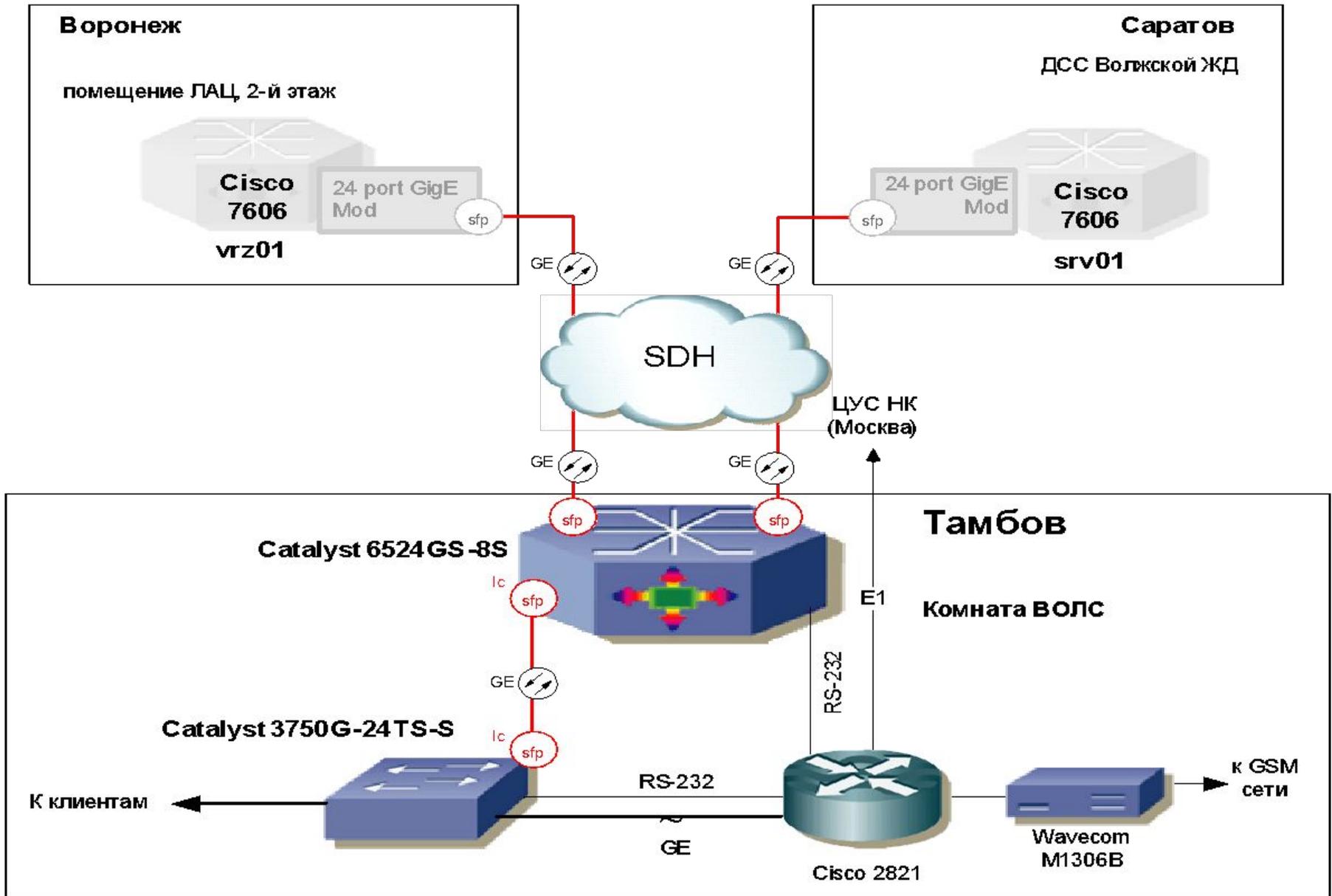


IP Сети ЗАО

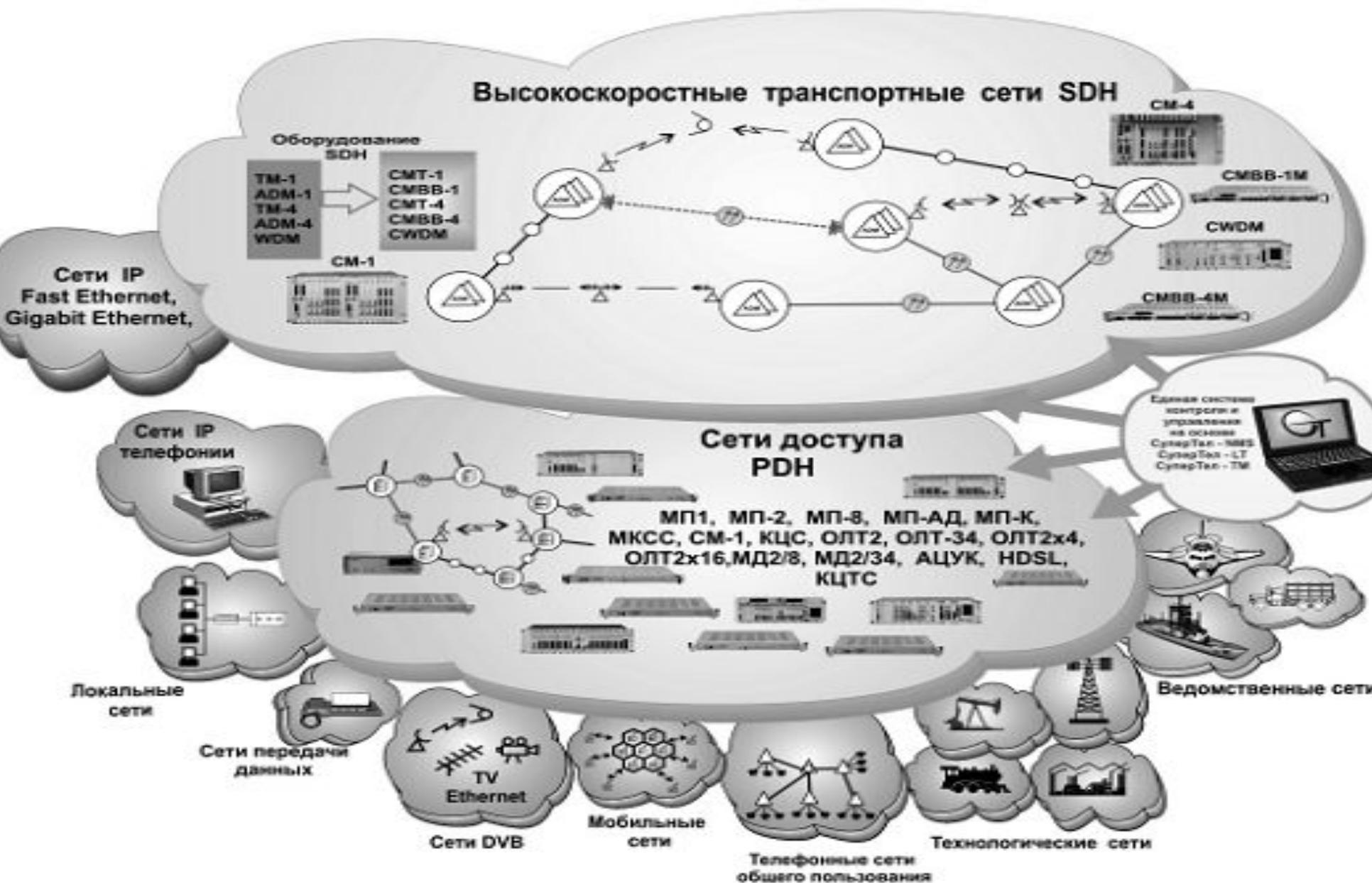
«Компания ТрансТелеКом»



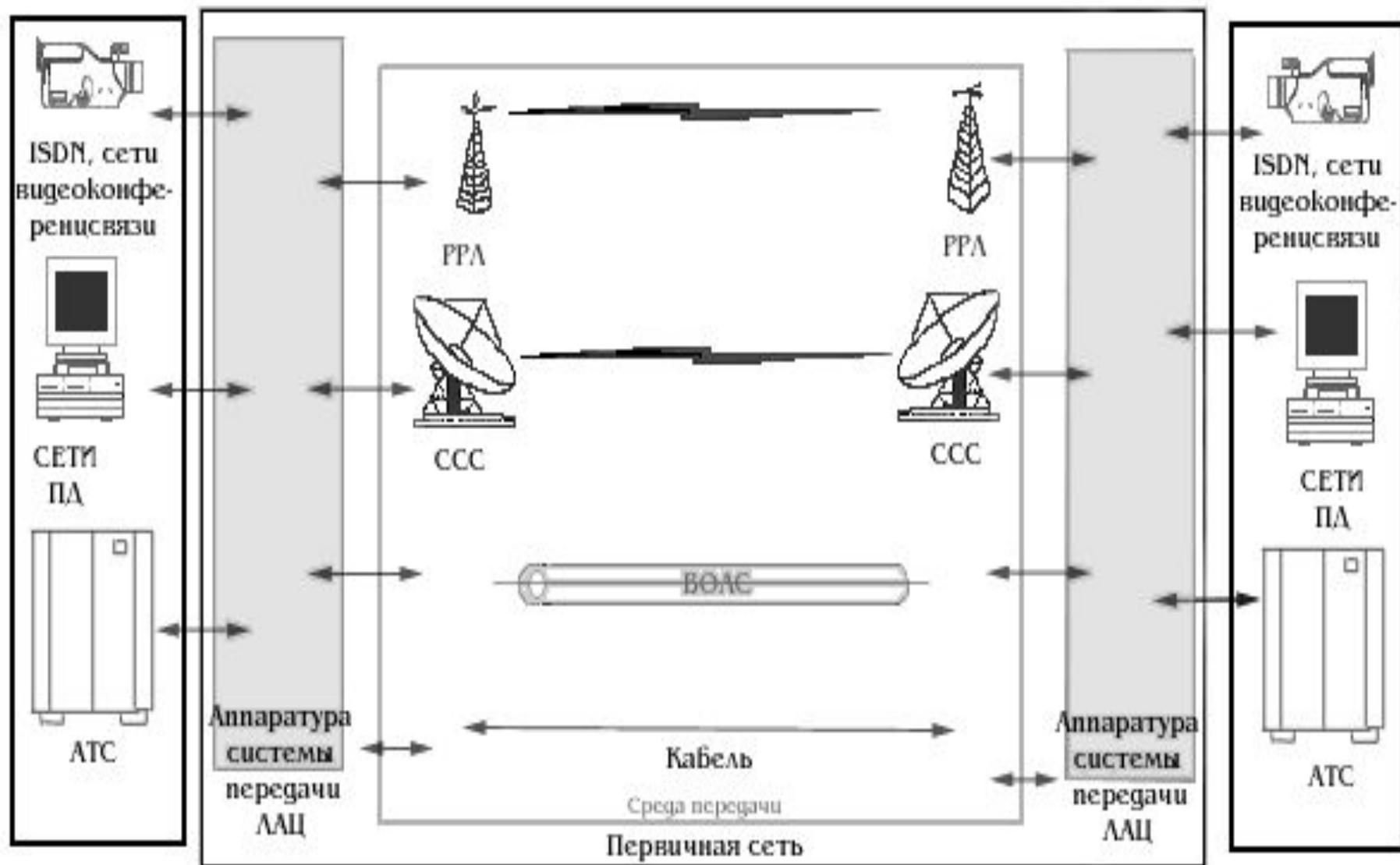
Структурная схема узла IP сети



Телекоммуникационная сеть компании «Супертель»



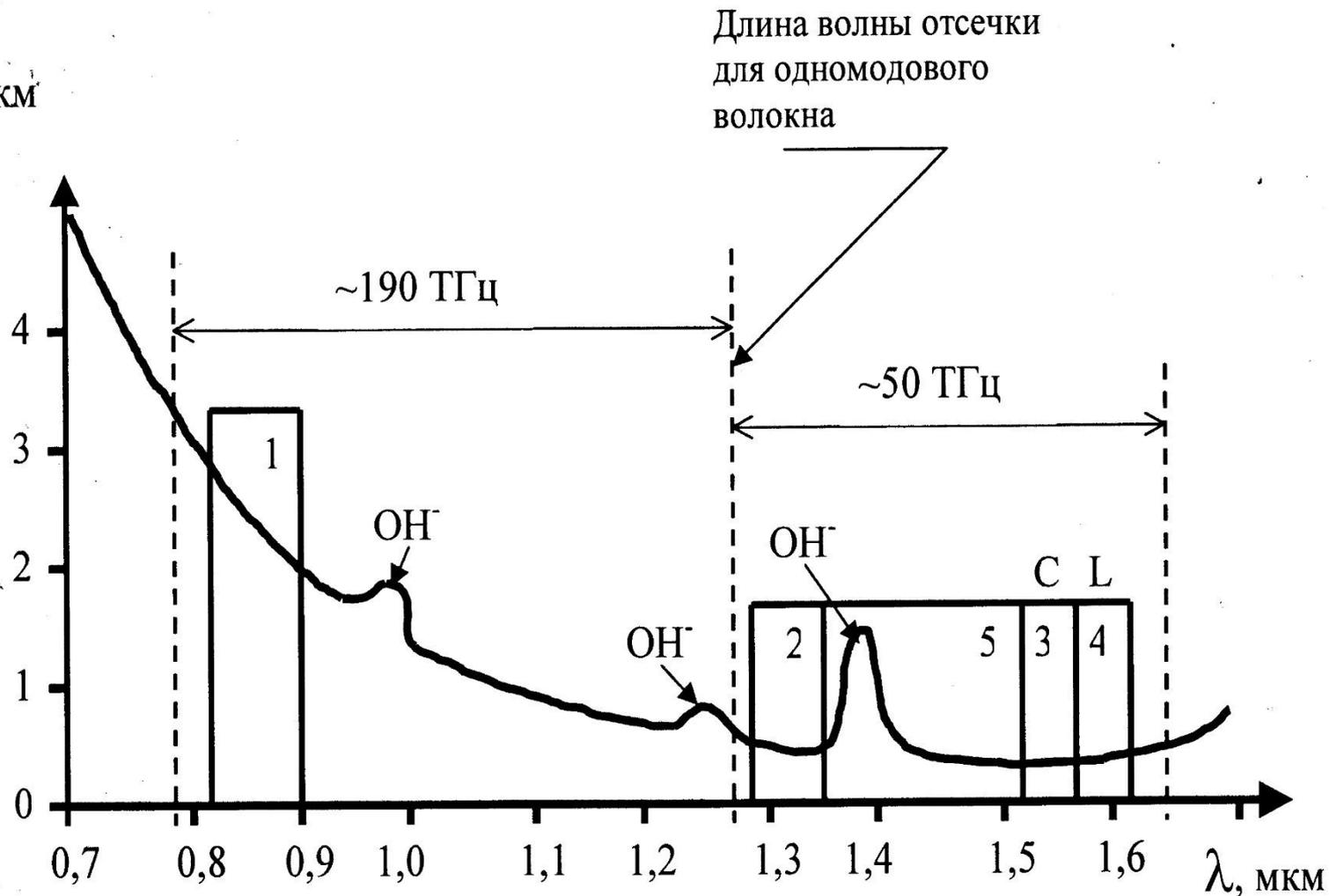
Структура первичной сети



- 
- Оптическое волокно. Достоинства, недостатки. Основные характеристики.

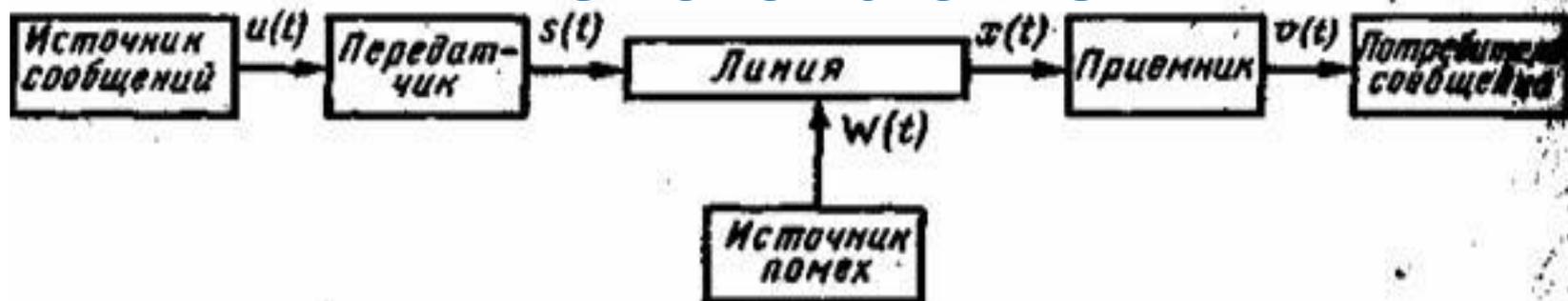
ОКНА ПРОЗРАЧНОСТИ ОВ

α , дБ/км



1. Принцип организации волоконно-оптической связи (ТПСС)
Структурная схема. Назначение КОО, ОС, ОЛТ.
2. Иерархия цифровых систем передачи PDH. SDH.
3. Структурная схема КОО для первичного цифрового потока (2048 кбт).
Назначение отдельных блоков. Временные диаграммы во всех точках тракта передачи и приема.
4. УЗЛЫ ТПСС :
 - ДС,
 - Амплитудно-импульсные МОДУЛЯТОРЫ и временные селекторы,
 - Преобразователь АИМ1 в АИМ2,
5. Аналого-цифровое преобразование. Необходимость квантования сигналов АИМ по уровню при формировании цифрового ИКМ-сигнала.
6. Что называют шумом квантования? Поясните физическую сущность шумов квантования и энергетический спектр шумов квантования. В чем заключается основной недостаток равномерного квантования?
7. Исходя из чего определяется число уровней квантования АИМ-сигнала? Почему в ТПСС с ИКМ используется неравномерное квантование и нелинейное кодирование телефонных сигналов?

Система связи



Поступающее от источника сообщение $u(t)$ в **передатчике** обрабатывается определенным образом, и формируется сигнал $s(t)$, удобный для передачи по линии связи.

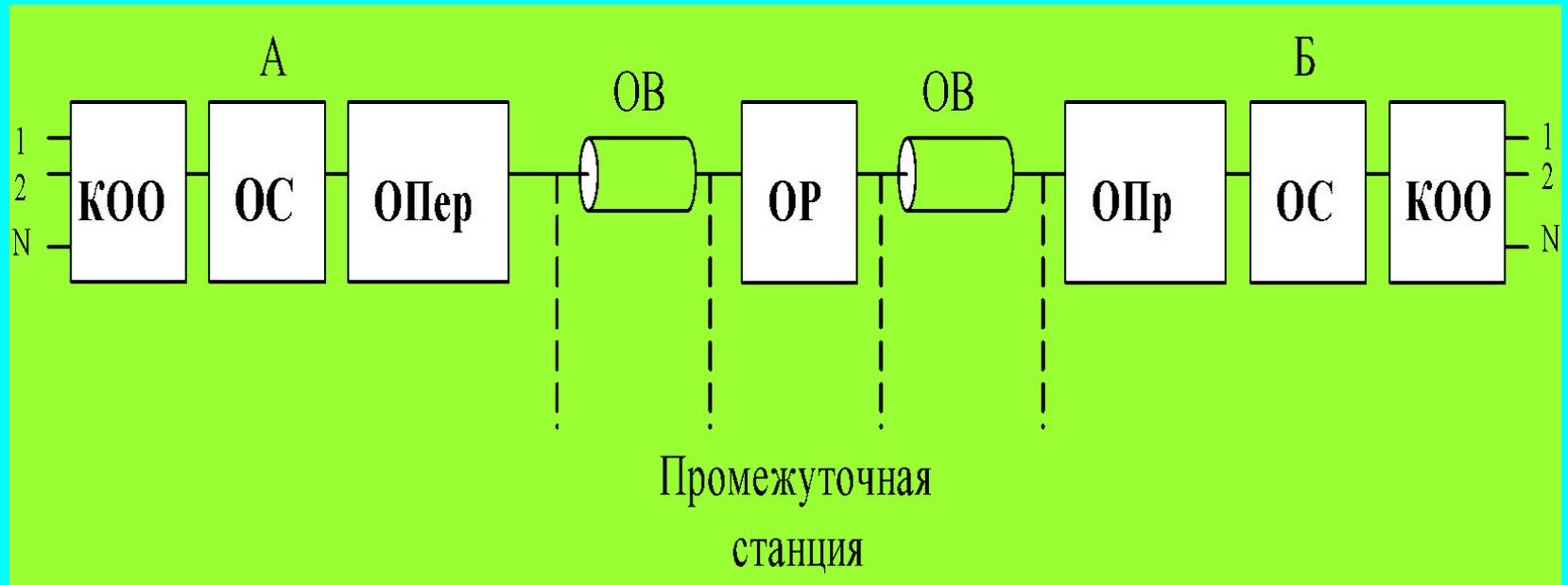
Линией связи называется среда, используемая для передачи сигналов от передатчика к приемнику. В системах электрической связи, в частности, это пара проводов, кабель

Приемник обрабатывает принятый сигнал $x(t)$, искаженный помехой, и восстанавливает по нему переданное сообщение $u(t)$. Обычно в приемнике выполняются операции, обратные тем, которые были осуществлены в передатчике.

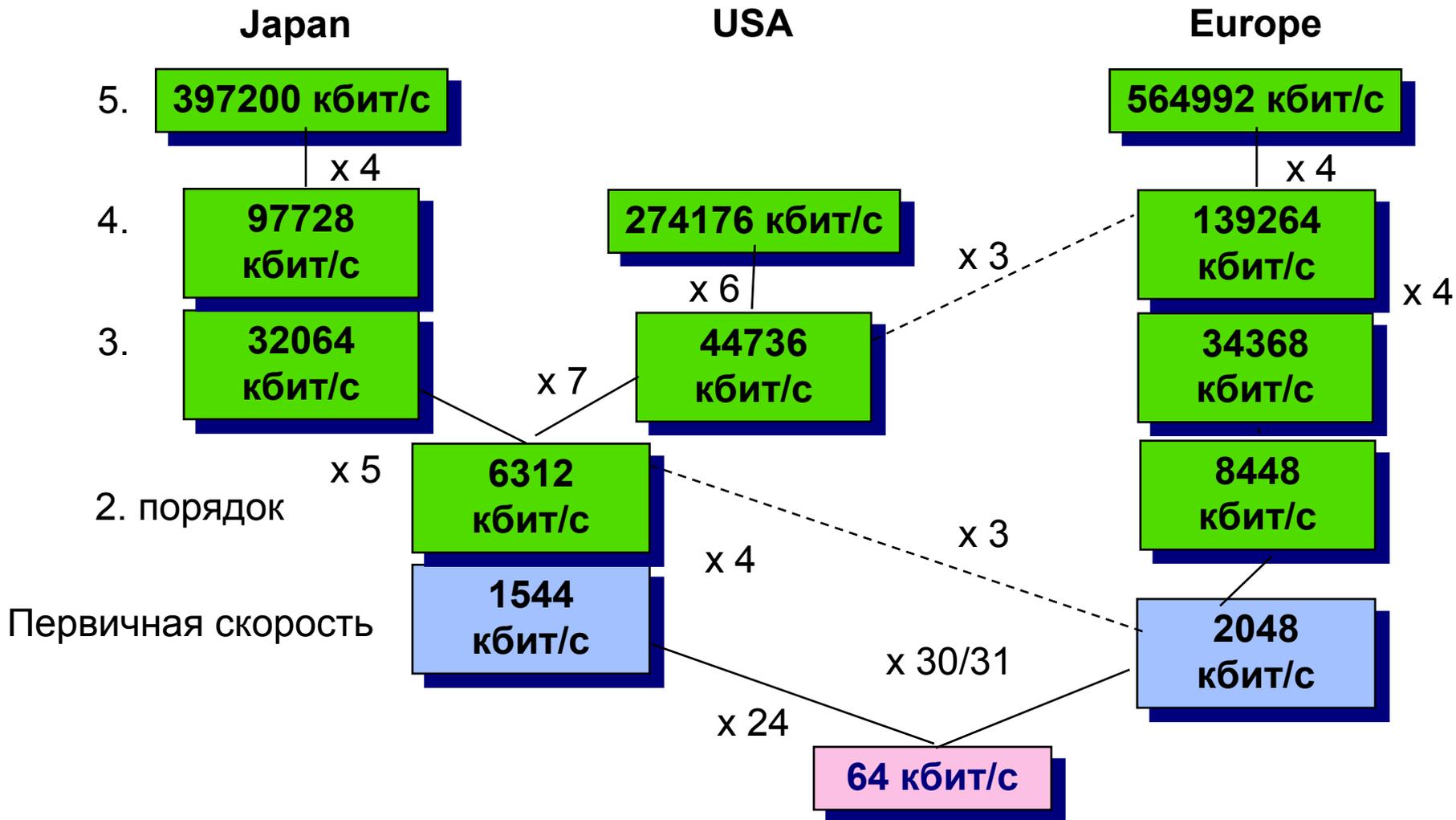
Каналом связи принято называть совокупность технических средств, служащих для передачи сообщения от источника к потребителю. Этими средствами являются **передатчик, линия связи и приемник**. Канал связи вместе с источником и потребителем образует **систему связи**.

Система связи называется **многоканальной**, если она обеспечивает взаимонезависимую передачу нескольких сообщений по одному общему каналу связи

Принцип организации транспортной проводной системы связи (ТПСС)



Мировые системы РДН



Мировые системы SDH

64кбит/с

2Мбит/с

34Мбит/с

140Мбит/с

STM-1 155 Мбит/с

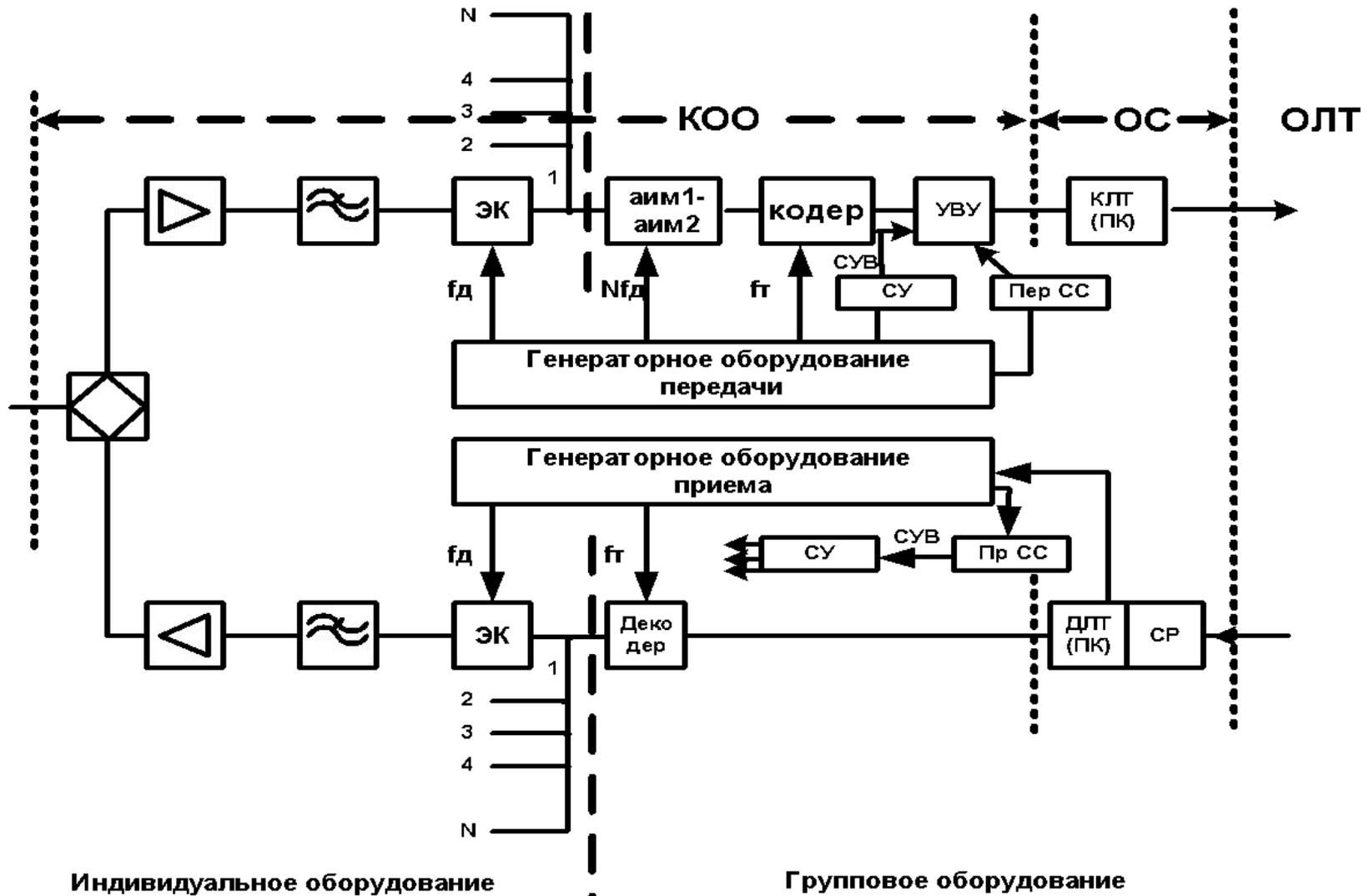
STM-4 622 Мбит/с

STM-16 2.5 Гбит/с

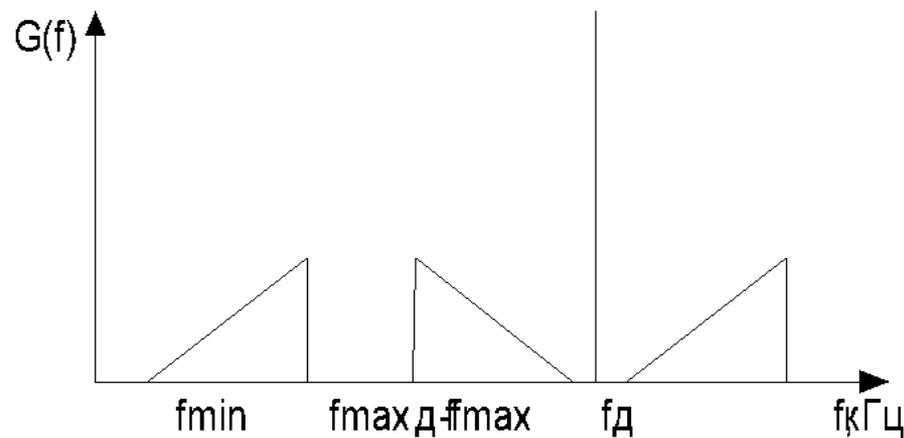
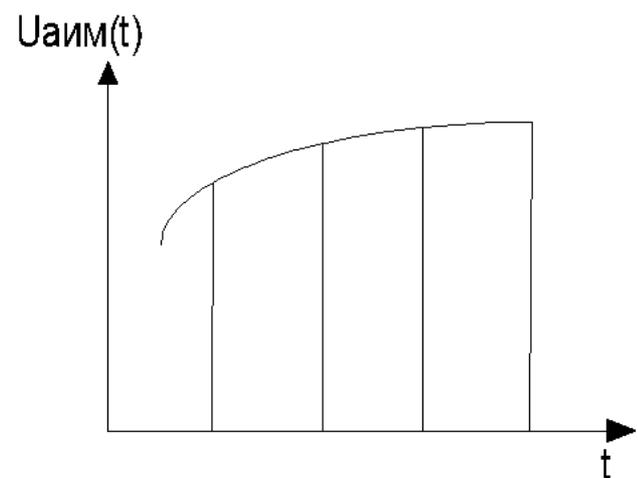
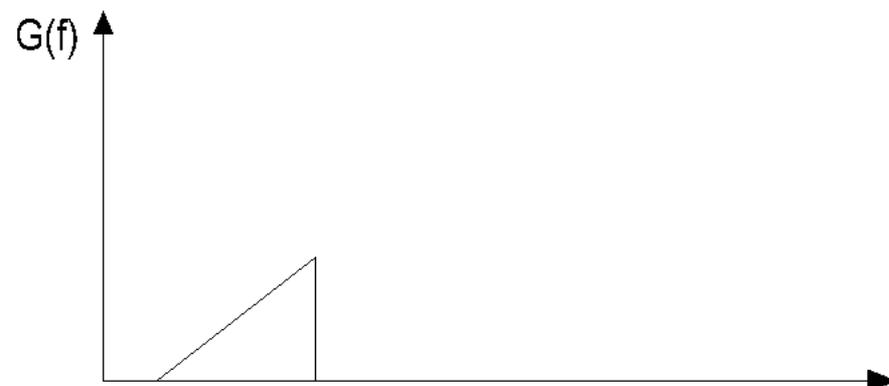
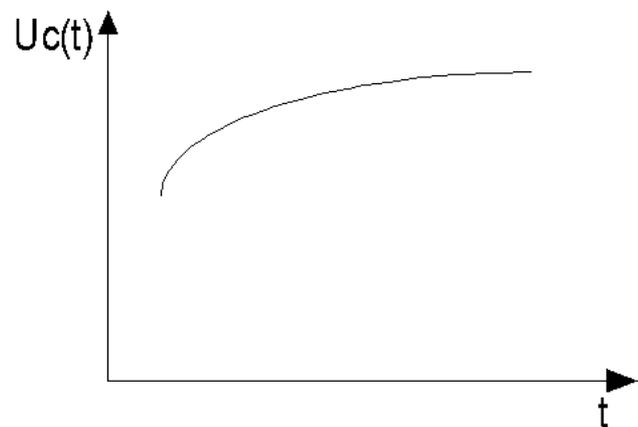
STM-64 10Гбит/с

STM-256 40 Гбит/с

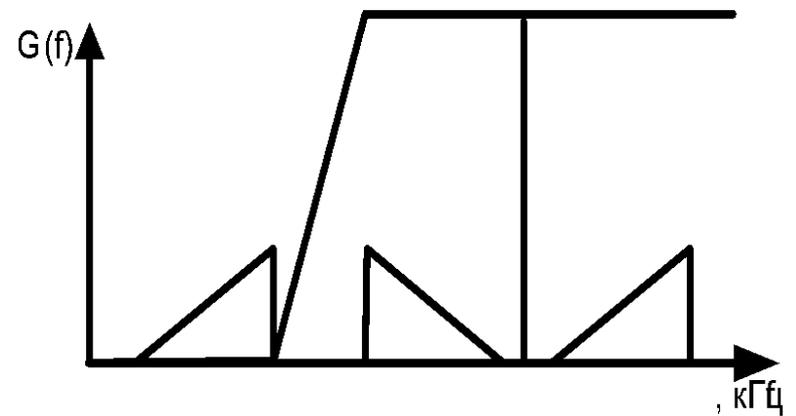
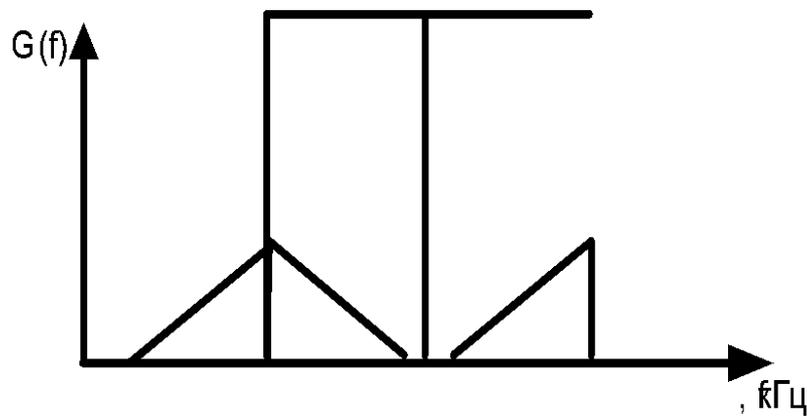
Структурная схема КОО для первичного цифрового потока (2048 кБТ)



Дискретизация по времени



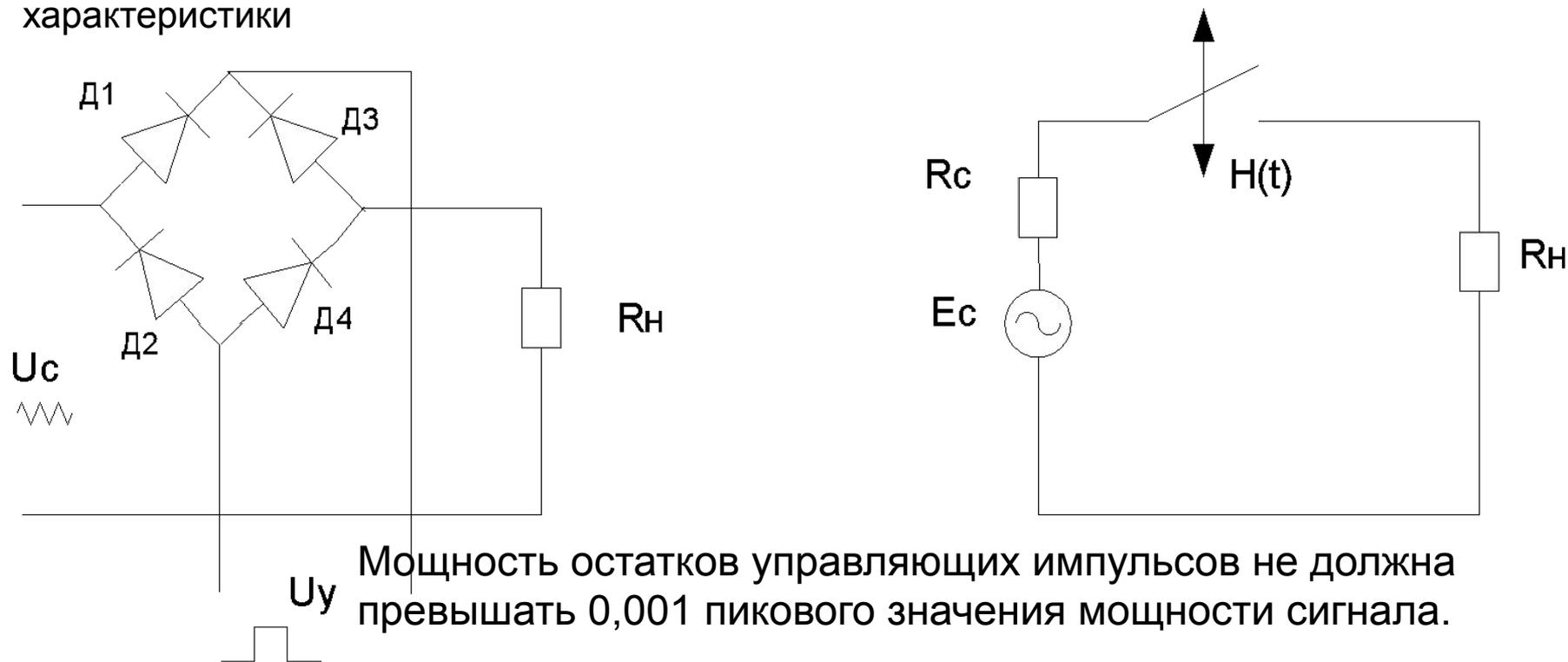
Дискретизация по времени



УЗЛЫ ТПСС

Амплитудно-импульсные модуляторы и временные селекторы

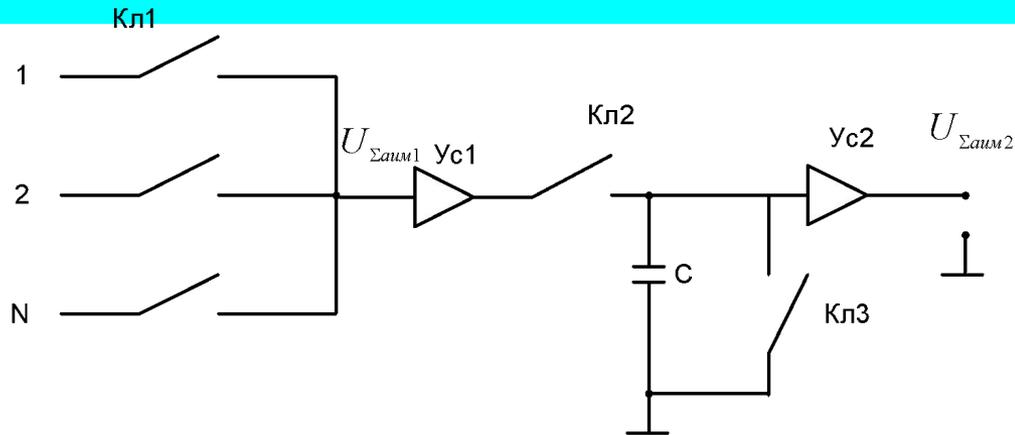
требования по быстродействию и линейности амплитудной характеристики



Мощность остатков управляющих импульсов не должна превышать 0,001 пикового значения мощности сигнала.

На практике используют интегральные сборки, в которых диоды выполнены на одном кристалле и обладают практически одинаковыми параметрами.

Преобразователь АИМ1 в АИМ2



В состав схемы входят электронный ключ, накопительный конденсатор C и операционные усилители.

КЛ1 – амплитудно– импульсные модуляторы каналов;

КЛ2 – работают одновременно с КЛ1, подключает на короткое время заряда (τ_3).

Накопительный конденсатор C заряжается до амплитуды АИМ сигнала, КЛ1 и КЛ2 – размыкаются.

УС2 – имеет высокоомное входное сопротивление, что обеспечивает постоянное напряжение заряда конденсатора на время кодирования сигнала.

Для подготовки накопительного конденсатора и к следующему отсчету сигнала АИМ1 он разряжается на землю КЛ3.

Аналого-цифровое преобразование

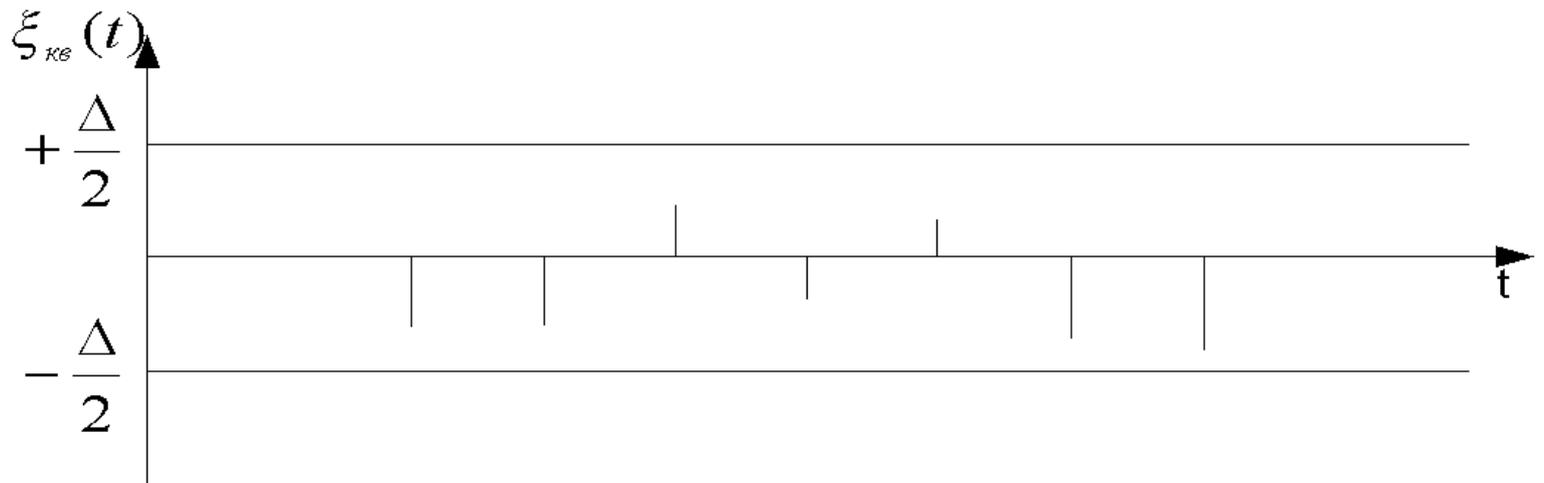
Аналого-цифровое преобразование может быть обеспечено импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ) дифференциальной ИКМ (ДИКМ), дельта -модуляцией (ДМ).

ИКМ сигнал образуется из непрерывного в 3 этапа:

1. Дискретизация исходного сигнала по времени.
2. Квантование непрерывных отсчетов по уровню.
3. Кодирование квантованных отсчетов.

При квантовании по уровню диапазон возможных значений сигнала делится на отрезки, называемые **шагами квантования**. Внутри каждого шага выбирают разрешенные значения сигнала – **уровни квантования**.

$U_c(t)$, $U_{aим}(t)$, $U_{кв}(t)$



Шумы квантования

Амплитуды квантованных импульсов отличаются от амплитуды отчетов, что приводит к искажению сигнала, а на приемном конце возникают помехи, которые называют **шумом квантования**.

Ошибка квантования может быть определена как

$$\xi_{кв}(t) = U_{аим}(t) - U_{кв}(t)$$

Максимальная ошибка квантования $\xi_{кв \max} = \Delta / 2$
Чем меньше шаг квантования, тем меньше ошибка квантования.

Мощность шума квантования

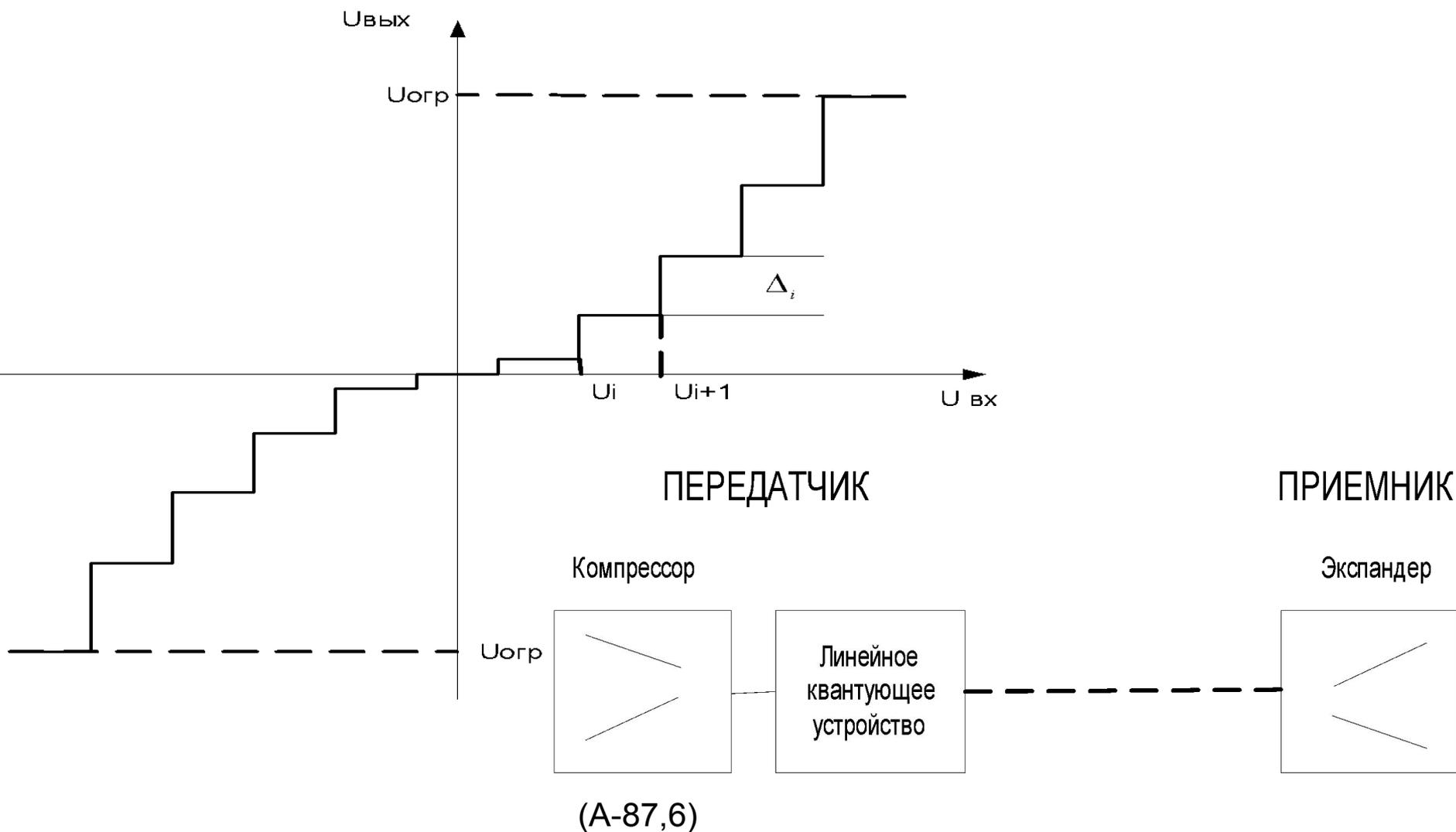
$$P_{шкв} = \frac{\Delta^2}{12}$$

Качество передачи информации оценивают показатели помехозащищенности

$$A_{зшкв} = P_c - P_{шкв}$$

Из формулы следует, что если шум квантования величина постоянная, то с уменьшением уровня сигнала уменьшается помехозащищенность от шумов квантования.

Неравномерное квантование





1. Кодирование, поясните необходимость кодирования.

Назовите двоичные коды, применяемые при формировании ИКМ-сигнала.

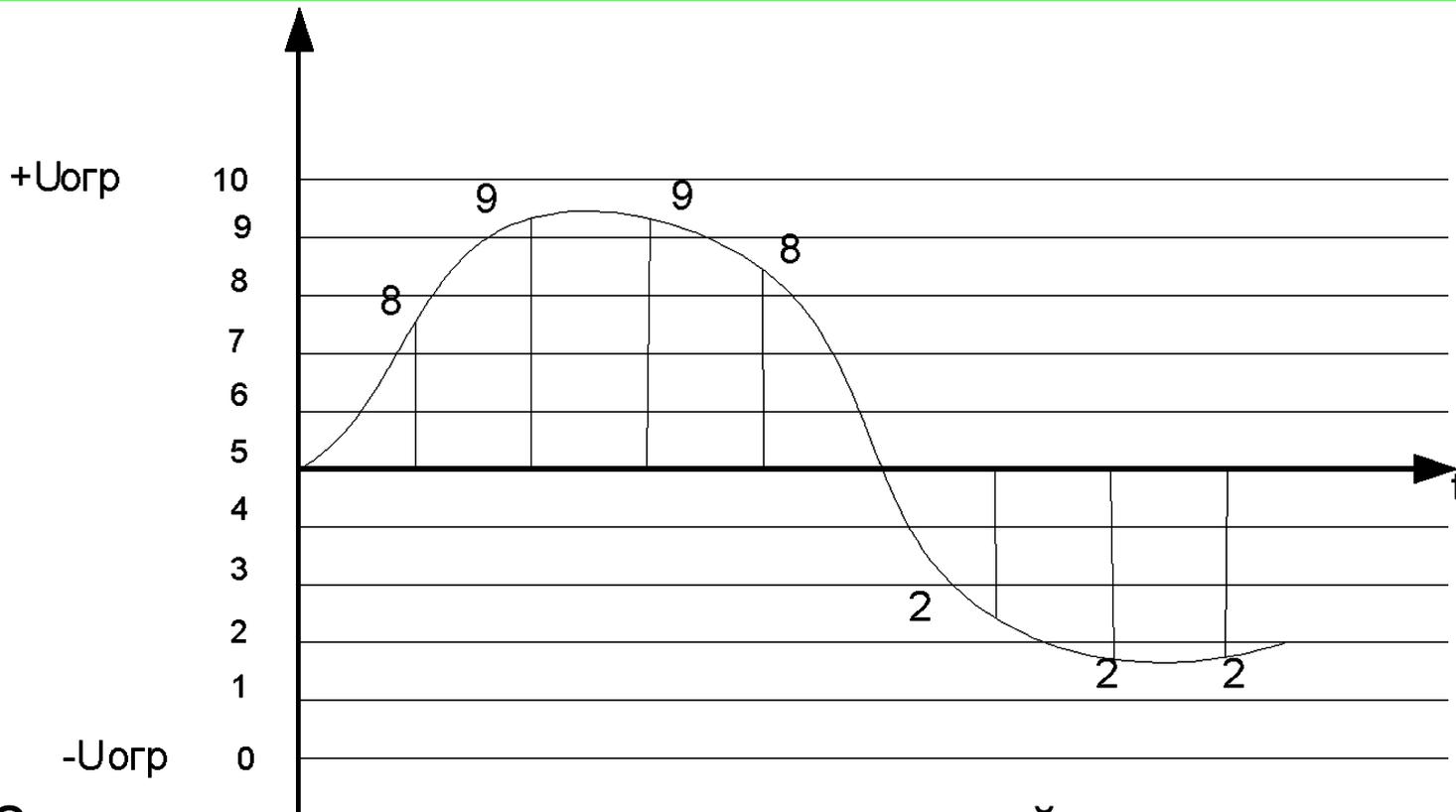
2. В чем отличие симметричного двоичного кода от натурального двоичного кода? Какой из этих двух кодов используется в кодере СП ИКМ-30?

3. От чего зависит и как определяется число разрядов в кодовой группе, соответствующей отсчету АИМ-сигнала?

Кодирование

- Так как каждому уровню квантования присвоен свой номер, то его величину из десятичной системы счисления преобразуют в двоичную. Вместо самих отсчетов в линейный тракт передаются кодовые группы импульсов, соответствующих *номеру уровня* квантования, т.е. цифровой сигнал.
- С этой целью в ЦСП используют АЦП –кодеры и ЦАП –декодеры.
- Телефонные сигналы, сигналы звукового вещания являются двуполярными, при их дискретизации получают последовательность разнополярных импульсов.
- Для кодирования разнополярных импульсов используют натуральный и симметричный коды.

Натуральный код



- Значению максимально возможной амплитуды отсчетов с отрицательным знаком присваивается значение **0 уровня**, возрастающие номера уровней присваиваются следующим через шаг квантования значениям квантованных отсчетов.

Число уровней квантования может быть определено

$$L_{\text{нат}} = \frac{2|U_{\text{огр}}|}{\Delta} + 1$$

Число импульсов в кодовой группе

$$m = \lceil \log_2 L_{\text{нат}} \rceil$$

m - ближайшее целое число в большую сторону.

Вид кодовой группы для любого отсчета, достигшего разрешенного уровня квантования (N) определяют из выражения:

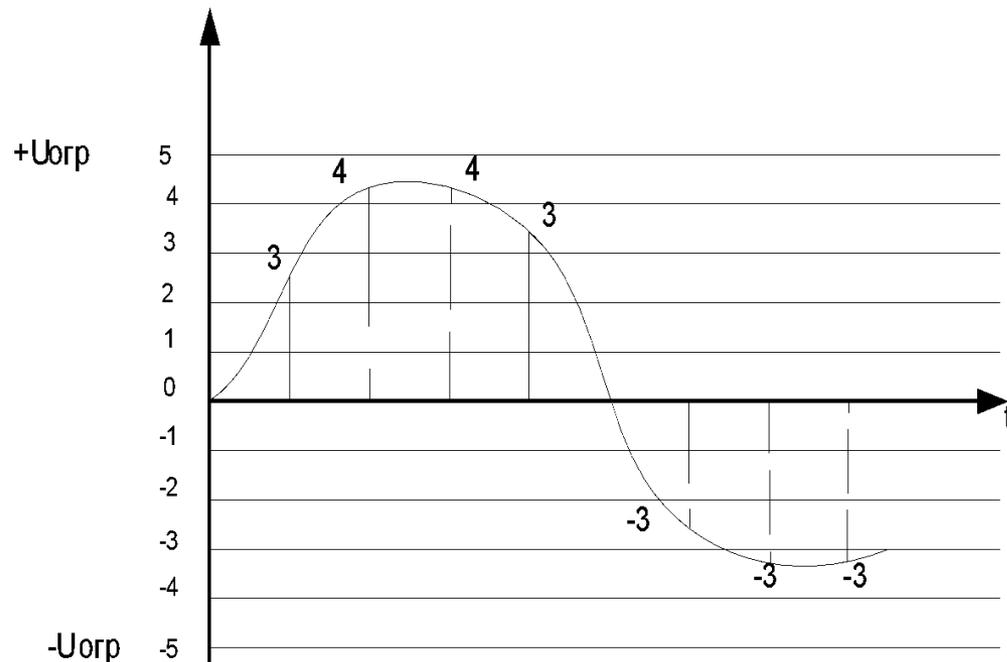
$$N = \sum_{i=1}^m a_i \cdot 2^{m-i}$$

где a_i – кодовая группа (1 или 0) i -го разряда.

Симметричный код

- Отсчет шагов квантования начинается от нулевого значения сигнала в сторону положительных и отрицательных значений его амплитуд.
- Число уровней квантования:

$$L_{\text{нат}} = \frac{|U_{\text{огр}}|}{\Delta}$$



Для кодирования разнополярных импульсов старший разряд кодовой группы – знаковый (1- положительной полярности отсчетов, 0 – для отрицательной). Остальные разряды кодовой группы определяют номер уровня квантования, которого достиг сигнал в положительной или отрицательной области.

$$m = \lceil \log_2 L_{\text{нат}} \rceil + 1$$

$$N = a_1 + \sum_{i=2}^m a_i \cdot 2^{m-i}$$

Кодеры с равномерной и неравномерной шкалой квантования

В ТПСС с ИКМ используют три основных метода построения аналого-цифровых преобразователей:

- - матричный;
- - последовательного счета;
- - поразрядного взвешивания.

Применение нашли кодеры поразрядного взвешивания

1. Кодеры поразрядного взвешивания линейные. Схемы, принцип работы. Д. Н.
2. Нелинейное кодирование, необходимость. Характеристика компандирования. Эталоны напряжений.
3. Алгоритм нелинейного кодирования.
4. Схема нелинейного кодера. Принцип работы.
5. Декодеры сигнала с ИКМ. Нелинейный декодер взвешивающего типа с цифровым экспандированием эталонов.

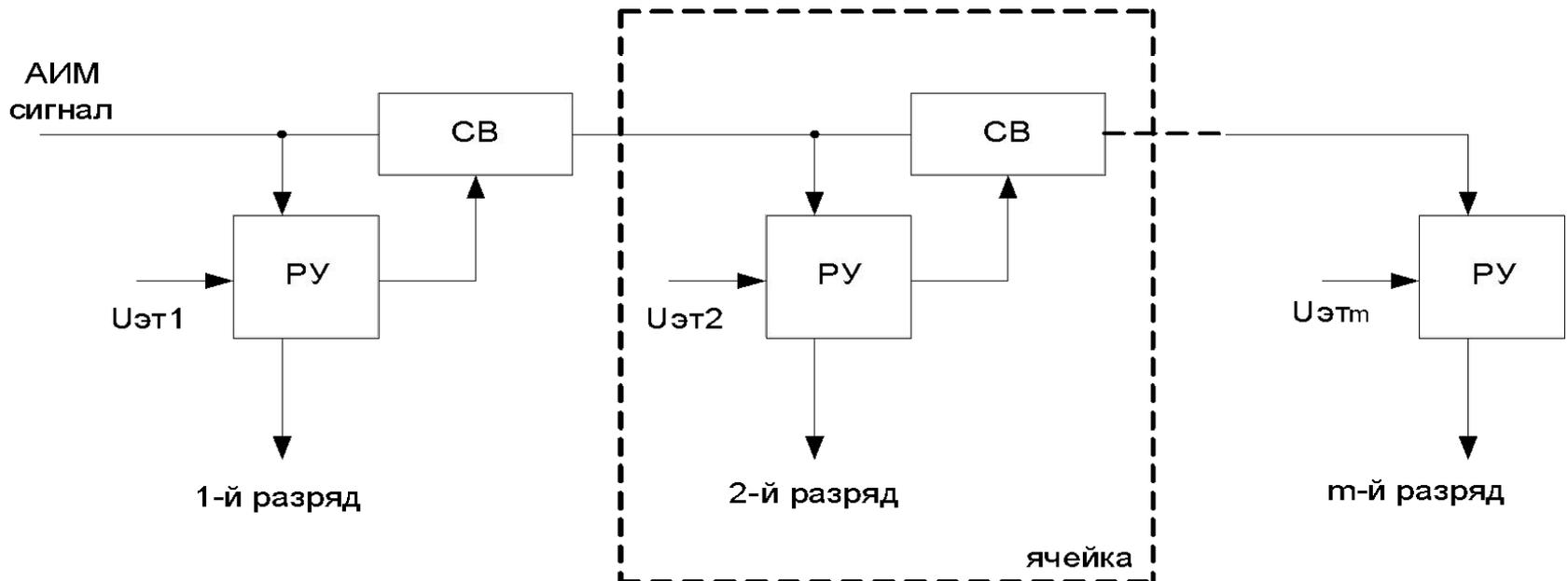
Кодеры поразрядного взвешивания

В таких кодерах величина отсчета сигнала выражается суммой определенного набора эталонных сигналов

Линейный кодер

$$U_c = \Delta U_k \cdot \sum_{i=1}^m a_i \cdot 2^{m-i} = \sum_{i=1}^m a_i \cdot U_{эти}$$

где
 $U_{эти} = \Delta U_k \cdot 2^{m-i}$ – эталонный сигнал i -го разряда
 ΔU_k – шаг квантования
 a_i – кодовый символ i -го разряда.



Каждая ячейка содержит решающее устройство (РУ) с порогами, равным эталонным напряжениям данного разряда и схему вычитания (СВ).

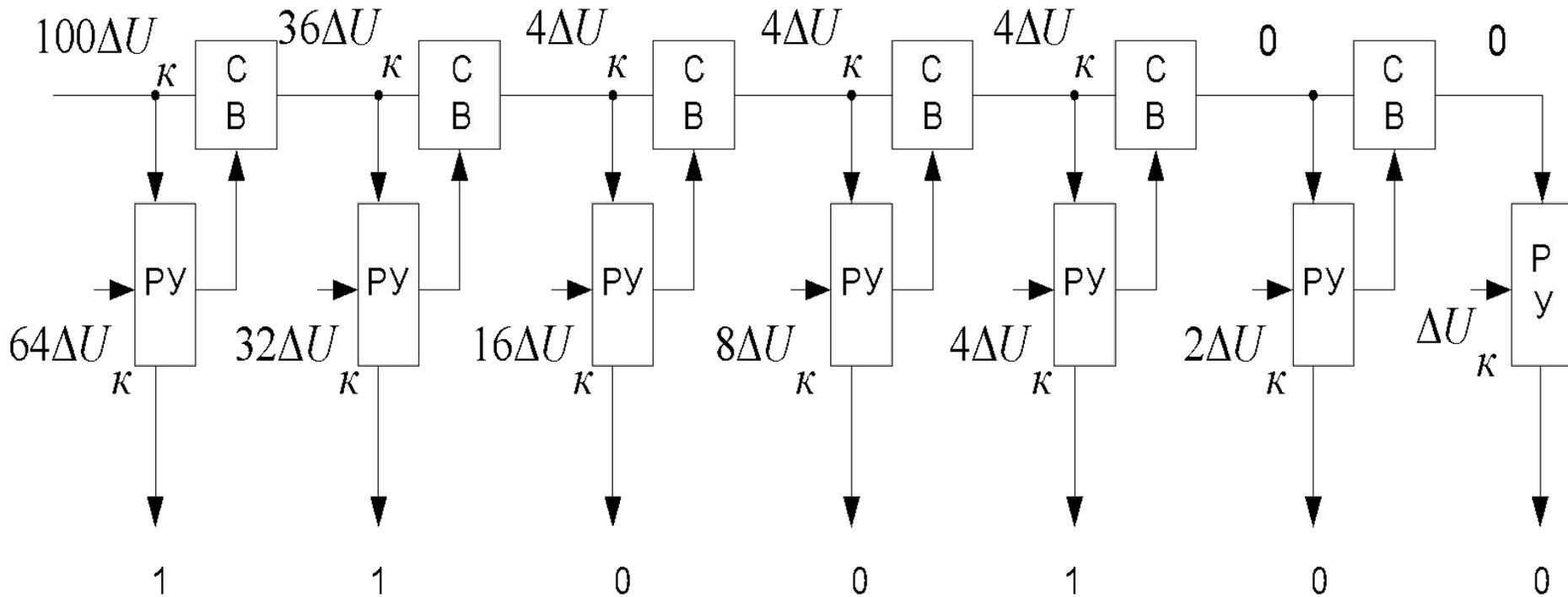
В РУ амплитуда импульса сравнивается с эталонным пороговым напряжением данного разряда $U_{этi}$.

- Если $U_c > U_{эт}$, на выходе РУ формируется «1». На схему вычитания также подается импульс с амплитудой $U_{эт}$, а на *следующую* ячейку подается сигнал $U_i - U_{этi}$.

- Если же $U_c < U_{этi}$, на разрядном выходе РУ будет символ «0», а импульс сигнала пройдет через схему вычитания без изменения амплитуды.

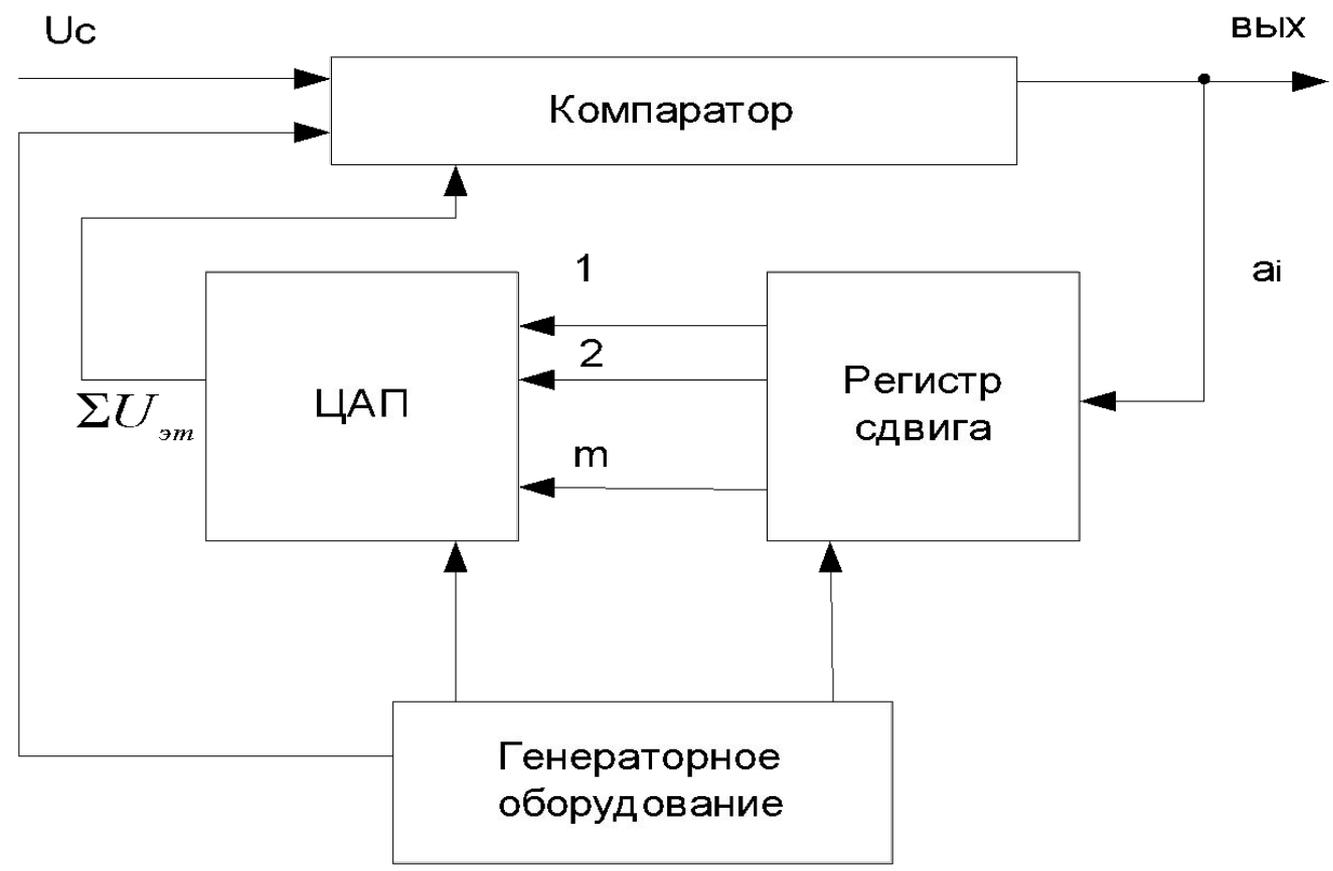
Символы отдельных разрядов кодовой группы формируются последовательно, начиная с символа старшего разряда.

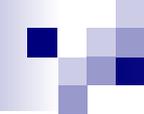
ПРИМЕР. Пусть нужно закодировать с помощью кодера поразрядного взвешивания импульс с амплитудой $100\Delta U_k$.



Таким образом, на выходе кодера формируется кодовая группа 1100100, имеющая условный вес $(64+32+0+0+4+0+0)\Delta U_k=100\Delta U_k$.

Требуемое быстродействие ячеек кодера поразрядного взвешивания определяется произведением $f_{\text{д}} \cdot N$, поэтому гораздо меньше, чем для кодеров счета. Такой кодер может быть построен на одной ячейке. Кодовые символы будут формироваться последовательно с помощью цепи обратной связи. В ЦАП с высокой точностью формируются и суммируются $U_{\text{эти}}$ соответствующие весам отдельных разрядов - $2^{m-1}\Delta U_k, 2^{m-2}\Delta U_k, \dots, 2^0\Delta U_k$.





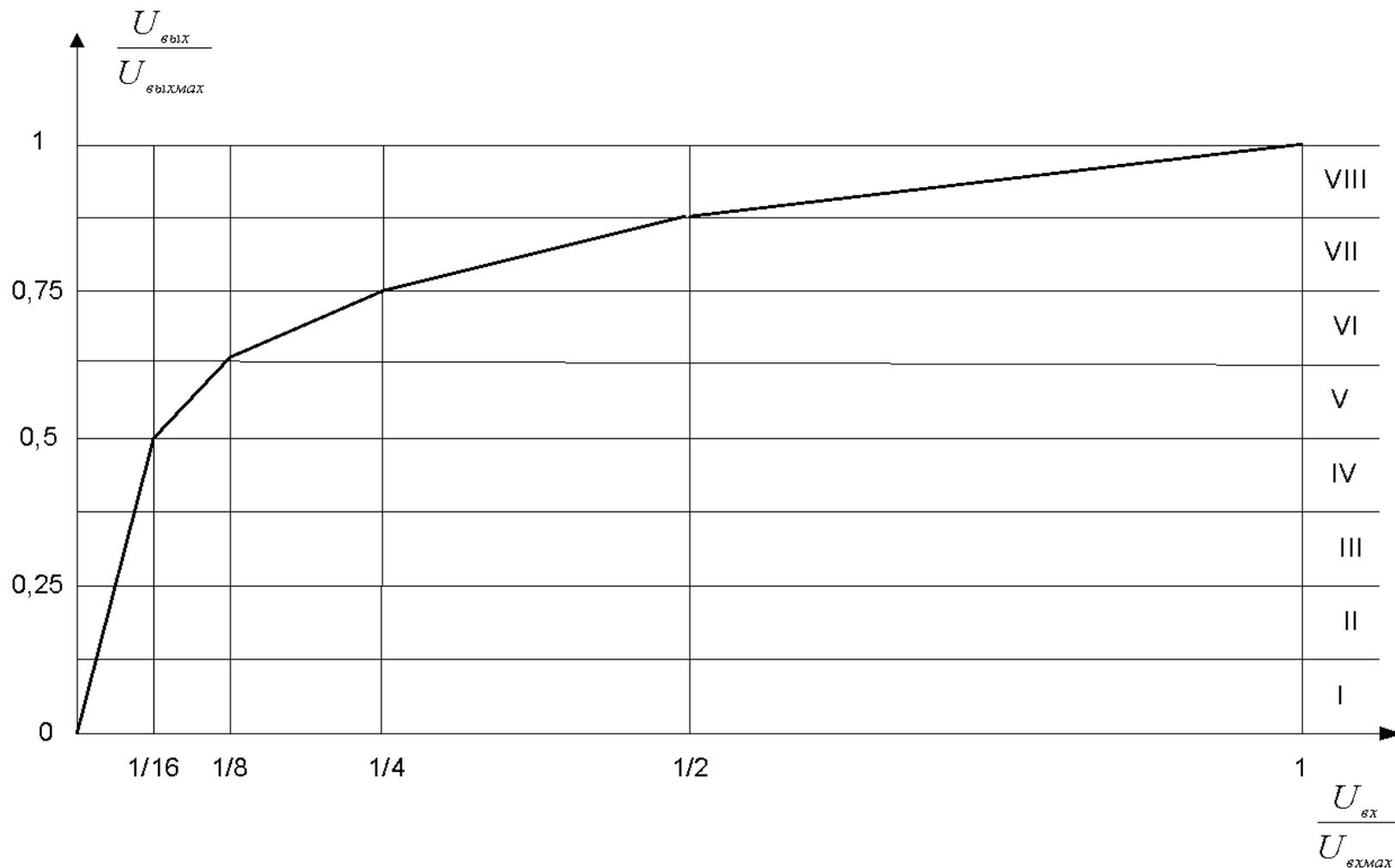
В начале кодирования на всех входах ЦАП кроме старшего (первого) устанавливаются нулевые импульсы. При этом ЦАП формирует эталонные напряжения старшего разряда $2^{m-1}\Delta U_k$.

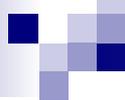
С этим импульсом сравнивается кодируемый отсчет в компараторе. Если $U_c > 2^{m-1}\Delta U_k$, на выходе компаратора появляется «1». Он же поступает на регистр сдвига по цепи обратной связи и подтверждает правильность подачи импульса на первый выход ЦАП. Если же в начале кодирования окажется $U_c < 2^{m-1}\Delta U_k$, на выходе кодера формируется сигнал «0», этот символ появится и на первом входе ЦАП и будет удерживаться на протяжении всего цикла формирования кодовой группы.

Формирование символов (0 или 1) следующего разряда производится аналогичным образом. Импульсы от генераторного оборудования ячейки регистра сдвига переводятся в положение, когда на всех входах ЦАП, кроме 2-го будут нулевые импульсы. На входе ЦАП появится импульс с амплитудой $2^{m-2}\Delta U_k$. Процесс формирования кодовой группы будет повторяться до тех пор, пока не будут перепробованы импульсы всех разрядов.

Нелинейный кодер

- Более современный способ реализации требуемой характеристики компрессирования состоит в управлении с помощью цифровых схем алгоритмом выбора эталонных напряжений при кодировании и декодировании.





Используется 16-ти сегментная линейно-ломаная аппроксимация характеристики компандирования. Характеристика для одной полярности напряжения аналогового сигнала приведенная на рисунке содержит 8 сегментов. Каждый сегмент имеет 16 уровней равномерного квантования. В I и II сегментах характеристики шаг квантования одинаковый, а в каждом следующем сегменте, начиная с III, величина шага квантования удваивается. Обычно символ кодовой группы *первого разряда* определяет полярность сигнала «1» - для положительного, «0» - для отрицательного. 2-й, 3-й, 4-й разряды определяют номер сегмента в двоичной форме (от 0 до 7). 5-й, 6-й, 7-й, 8-й разряды определяют номер уровня в сегменте.

Таблица эталонных значений напряжений для определения номера сегмента, номера уровня квантования внутри сегмента.

Номер сегмента		2-й, 3-й, 4-й разряды	Шаг квантования	Эталонное напряжение при кодировании в пределах сегмента	Эталонное напряжение нижней границы сегмента
I	0	000	Δ	$\Delta, 2\Delta, 4\Delta, 8\Delta$	0Δ
II	1	001	Δ	$\Delta, 2\Delta, 4\Delta, 8\Delta$	16Δ
III	2	010	Δ	$2\Delta, 4\Delta, 8\Delta, 16\Delta$	32Δ
IV	3	011	Δ	$4\Delta, 8\Delta, 16\Delta, 32\Delta$	64Δ
V	4	100	Δ	$8\Delta, 16\Delta, 32\Delta, 64\Delta$	128Δ
VI	5	101	Δ	$16\Delta, 32\Delta, 64\Delta, 128\Delta$	256Δ
VII	6	110	Δ	$32\Delta, 64\Delta, 128\Delta, 256\Delta$	512Δ
VIII	7	111	Δ	$64\Delta, 128\Delta, 256\Delta, 512\Delta$	1024Δ

Из таблицы видно, что для формирования всех уровней квантования достаточно иметь 11 эталонов ($\Delta, 2\Delta, 4\Delta, 8\Delta, 16\Delta, 32\Delta, 64\Delta, 128\Delta, 256\Delta, 512\Delta, 1024\Delta$). При кодировании в пределах одного сегмента требуется всего 5 эталонов:

- один для определения нижней границы сегмента;
- четыре для определения шага квантования в пределах сегмента.

ПРИМЕР. $U=352\Delta$.

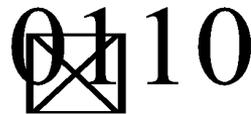
- Определим первый разряд. Поскольку отсчет имеет положительную полярность, следовательно, 1.
- Далее определяем 2-й, 3-й, 4-й разряды т.е. номер сегмента: 352 находится между 256 и 512, поэтому нижняя граница сегмента 256, таким образом отсчет находится в 5 сегменте, которому соответствует кодовая комбинация 101.
- После чего необходимо закодировать разницу между $512-256=96$ (т.е. получит номер уровня внутри сегмента). Это значение кодируется уже с помощью эталонных напряжений для 5 сегмента 16Δ , **32Δ** , **64Δ** , 128Δ . $96=32+64$. Следовательно, 5-й, 6-й, 7-й, 8-й разряды 0110.
Таким образом, полученная кодовая комбинация:



знак



*номер
сегмента*



*номер уровня
внутри
сегмента*

Схема нелинейного кодера

- **ЗУ** – запоминающее устройство. Запоминает мгновенное значение сигнала и поддерживает его в течение всего времени кодирования.

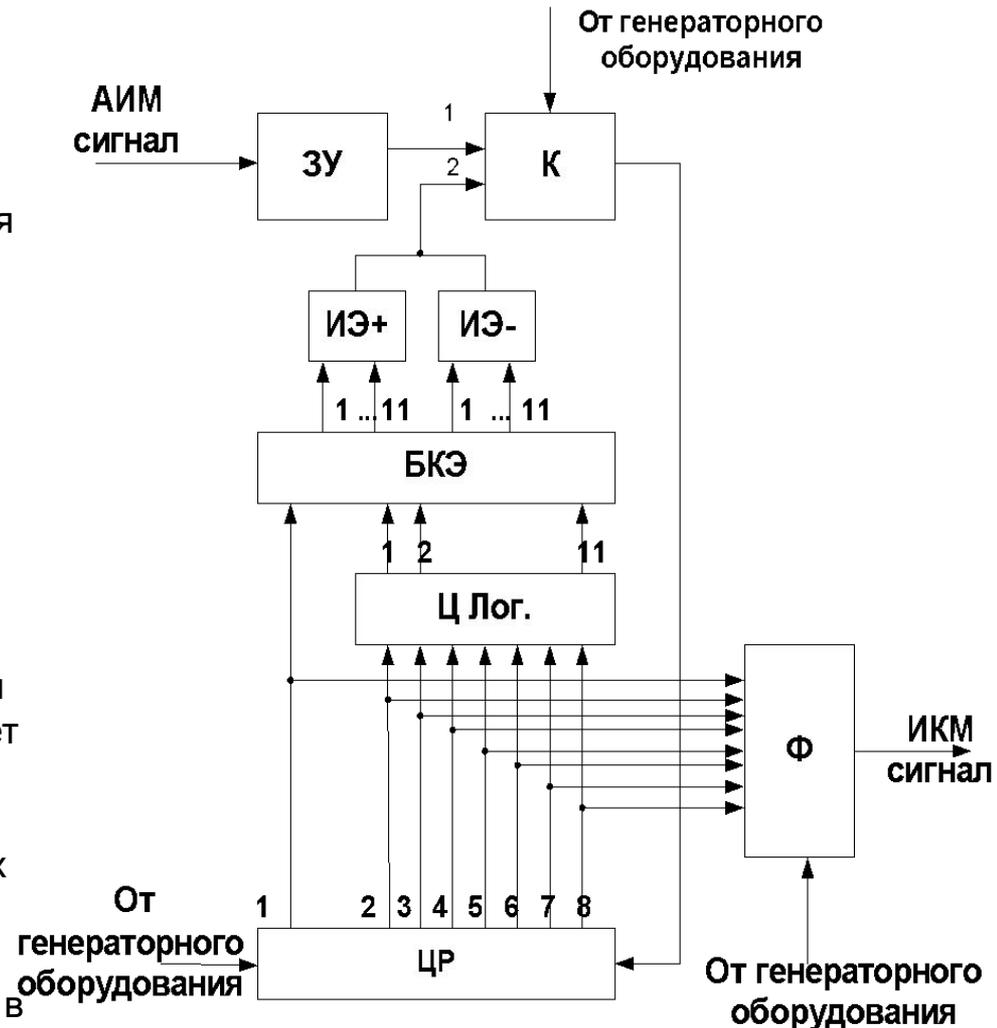
- **К** – компаратор. Определяет полярность отсчета и знак разности между амплитудой кодируемого отсчета и суммой эталонных напряжений. В зависимости от знака этой разности на выходе компаратора формируется «0» ($U_c > U_{эт}$), или «1» ($U_c < U_{эт}$).

- **ИЭ** – источники эталонов, которые имеют 11 ключей, а веса подключаемых эталонных напряжений равны $\Delta U_0, \dots, 1024\Delta U_0$ отрицательной и положительной полярности.

- После каждого такта кодирования решение компаратора записывается в **цифровой регистр (ЦР)**.

- В зависимости от решения компаратора ЦР выбирает полярности ИЭ и управляет работой **цифровой логики (Ц Лог.)**, которая формирует в **блоке выбора и коммутации эталонных напряжений (БКЭ)** цепи управления ИЭ, определяя величины эталонов, подключаемых на второй вход компаратора.

- **Ф** – формирователь. Считывает состояния выходов ЦР и преобразует параллельный код в последовательный.

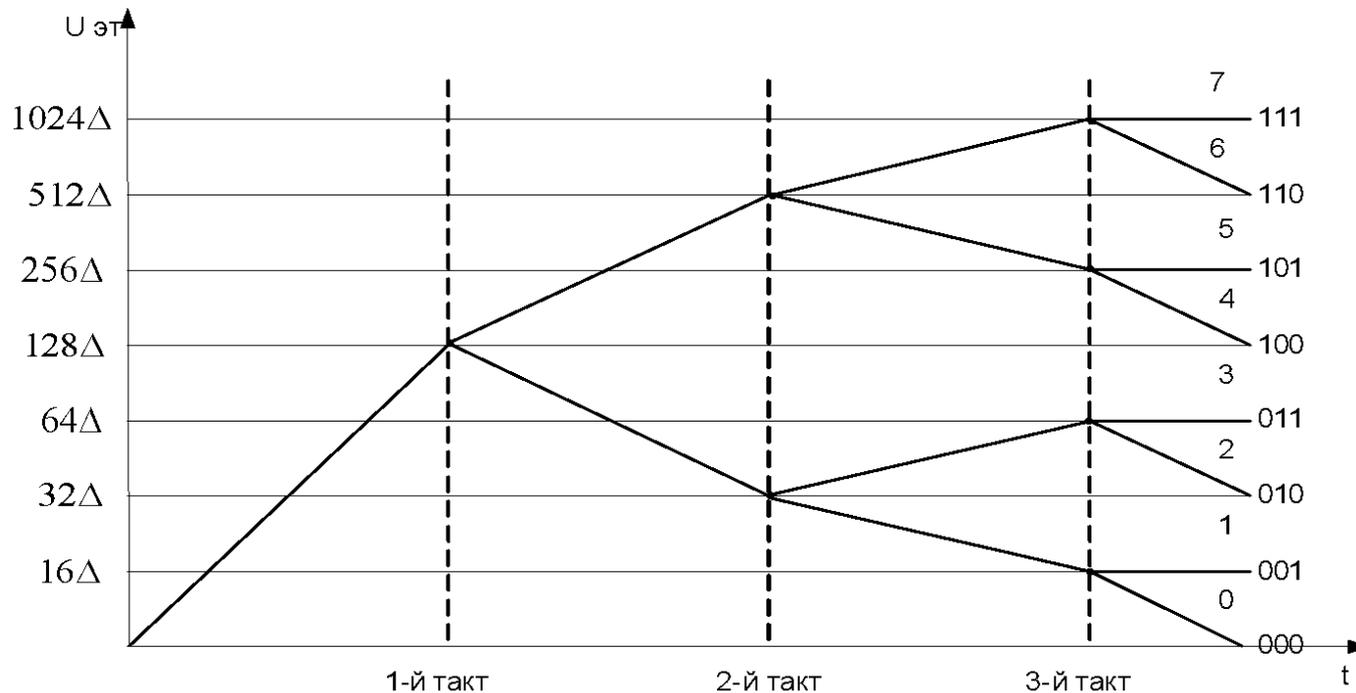


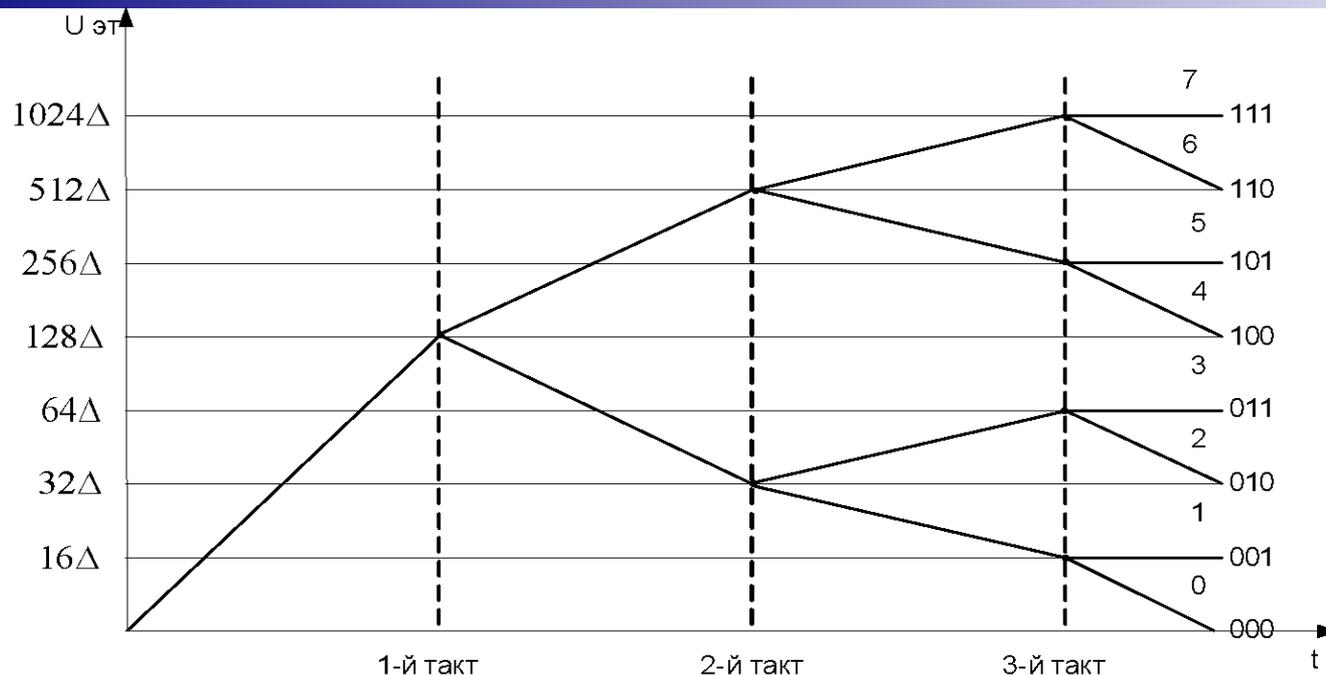
ПРИМЕР.

Необходимо закодировать положительный отсчет с амплитудой $U_c = 352\Delta U_0$.

В исходном положении выходы 1...8 ЦР находятся в состоянии 0, ИЭ- отключен (0...0). Кодированный отсчет через ЗУ подается на первый вход К. Перед началом первого такта кодирования цифровой регистр на первом своем выходе выдает «1», а на всех остальных выходах «0». Это включает источник эталонов положительной полярности. Так как кодирует положительный отсчет, то на входе компаратора – «0» (логическая операция «сложение по модулю 2» - $(1+1)=0$; $(1+0)=1$; $(0+0)=1$) и состояние «1» на первом выходе цифрового регистра сохраняется. **1-й символ кодовой комбинации 1.**

Далее, в три такта осуществляется поиск сегмента, в котором находится кодируемый отсчет, т.е. находится нижняя граница этого сегмента. Рассмотрим все это с помощью так называемого дерева.





На первом такте сигнал сравнивается с эталонным напряжением нижней границы 4-го сегмента (128Δ). В зависимости от результата сравнения формируется символ 2-го разряда «0» или «1». Если сформирована «1», то на втором такте сравнивается с нижней границей 6-го сегмента (512Δ); если же «0» - то с нижней границей второго сегмента (32Δ). Далее аналогично – с нижней границей седьмого сегмента (1024Δ) или пятого (256Δ); либо с нижней границей третьего сегмента (64Δ) или первого (16Δ).

В нашем случае:

352 > 128 → «1»

352 < 512 → «0»

352 > 256 → «1»

Следовательно, 2-й, 3-й, 4-й символы кодовой комбинации 101.

Определение и кодирование номера уровня квантования сегмента производится в четыре такта с помощью эталонных напряжений 128Δ , 64Δ , 32Δ , 16Δ , которые формируются в источнике эталонов и соответствуют пятому сегменту.

5-й символ – на пятом выходе цифрового регистра «1», в источнике эталонов формируется сигнал $256\Delta+128\Delta$, так как $352 < 384\Delta$, на выходе компаратора формируется «1» и пятый выход цифрового регистра изменяет свое состояние на «0», напряжение 128Δ отключается.

6-й символ – на шестом выходе цифрового регистра устанавливается «1», источник эталонов формирует сигнал $256\Delta+64\Delta$, который подается на второй вход компаратора, поскольку $352 > 320\Delta$, то на выходе компаратора – «0» и состояние шестого выхода цифрового регистра сохраняется.

7-й символ – на седьмом выходе цифрового регистра устанавливается «1», источник эталонов на второй вход компаратора подает сигнал $256\Delta+64\Delta+32\Delta$. Очевидно, что $352 = 352\Delta$, на выходе компаратора появляется «0» и на выходе цифрового регистра остается «1».

8-й символ – на восьмом выходе цифрового регистра «1», на выходе источника эталонов формируется сигнал $256\Delta+64\Delta+32\Delta+16\Delta$. Поскольку $352 < 368\Delta$, на выходе компаратора формируется «1» и восьмой выход цифрового регистра обнуляется. Напряжение 16Δ в источнике эталонов отключается.

Таким образом, 5-й, 6-й, 7-й, 8-й символы кодовой комбинации **0110**. Полностью кодовая комбинация для отсчета $352\Delta U_0$: **11010110**.

Декодеры сигнала с ИКМ

Обычно величины АИМ отсчетов формируются путем суммирования весовых значений символов кодовой группы.

Декодеры бывают:

- матричные
- последовательного счета
- поразрядного взвешивания.

Из-за сложности реализации матричные декодеры не находят применения.

Декодеры последовательного счета требуют высокой скорости работы счетчика, поэтому используются редко.

Декодеры поразрядного взвешивания могут быть построены на основе последовательной или параллельной обработки импульсов кодовых групп.

- При параллельной обработке скорость работы функциональных узлов декодера уменьшается в m раз. Поэтому практическое применение находят *декодеры параллельного кода*, когда предварительно производится преобразование цифрового потока последовательного кода в цифровой поток параллельного кода.

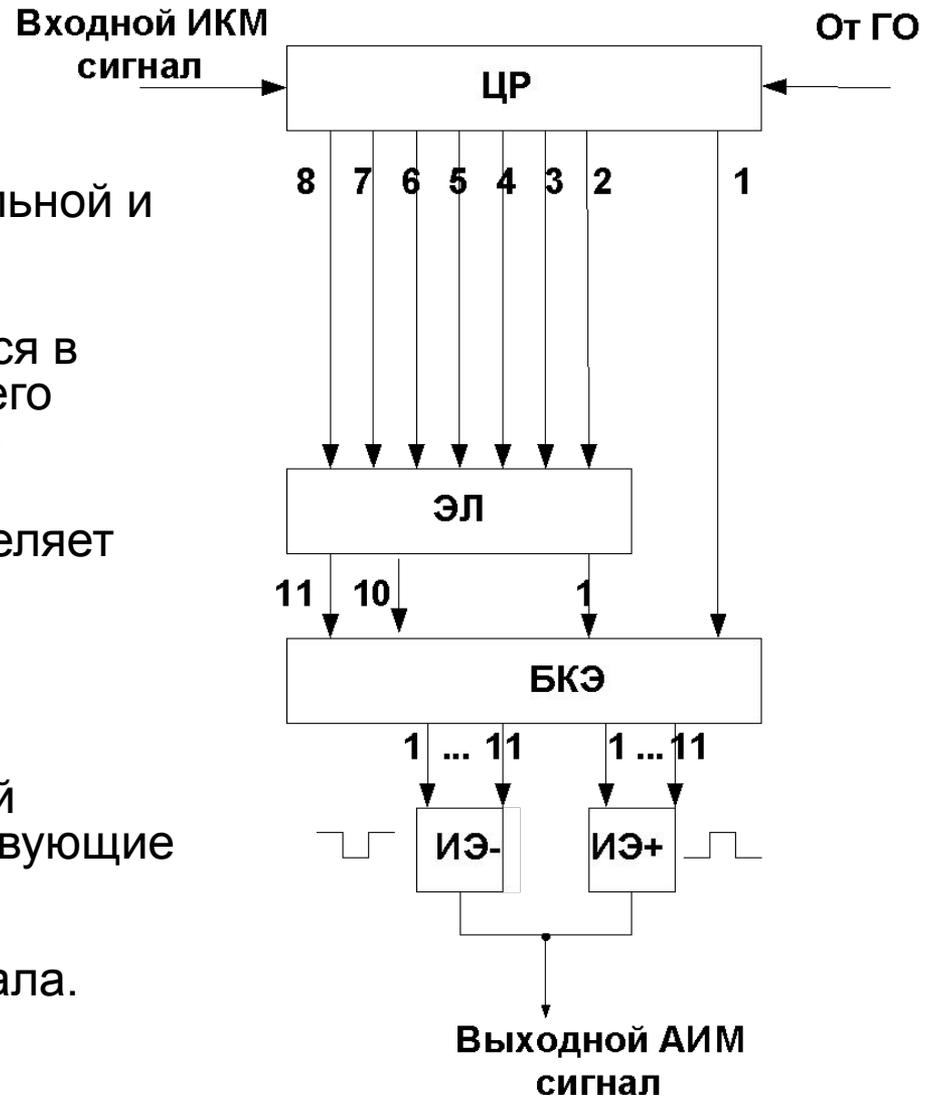
Нелинейный декодер взвешивающего типа с цифровым экспандированием эталонов

- ЦР – цифровой регистр;
- ЭЛ – блок экспандирующей логики;
- БКЭ – блок выбора и коммутации эталонных токов;
- ИЭ – источники эталонов положительной и отрицательной полярности.

Восьмиразрядная кодовая группа принятого ИКМ сигнала записывается в цифровой регистр, формируясь на его выходах 1...8 в виде параллельного восьмиразрядного двоичного кода.

- 1-й разряд этой кодовой группы определяет полярность включенных ИЭ,
- 2-й...4-й разряды – номер сегмента,
- 5-й...8-й разряды – номер уровня квантования.

В соответствии с принятой кодовой комбинацией включаются соответствующие эталоны. Суммарный ток которых определяет величину (амплитуду) декодированного отсчета АИМ сигнала.



ПРИМЕР.

- Пусть кодовая комбинация имеет вид 10101010. Необходимо определить величину АИМ сигнала.

$$\begin{array}{ccccccc}
 1 & & 0 & 1 & 0 & & 1 & 0 & 1 & 0 \\
 & & \square & & & & \square & & & \\
 & & 2\text{-й} & & & & 16\Delta & 8\Delta & 4\Delta & 2\Delta \\
 & & \text{сегмент} & & & & & & &
 \end{array}$$

- $U_{aим} = +(32\Delta + 16\Delta + 4\Delta) = +52\Delta.$

Генераторное оборудование ЦСП

- 1. Назначение генераторного оборудования (ГО) ЦСП. Основные требования к ГО. Структурная схема ГО передачи первичной ЦСП и поясните назначение отдельных блоков.**
- 2. Приведите структурную схему ГО приёма первичной ЦСП и назовите её отличие от схемы ГО передачи.**
- 3. Для каких целей в ГО первичной ЦСП вырабатывается тактовая частота? Назовите частоту, период, длительность и скважность импульсов тактовой частоты.**
- 4. Для каких целей в ГО первичной ЦСП вырабатываются разрядные импульсы? Назовите частоту, период, длительность и скважность разрядных импульсов. Как соотносятся между собой длительности разрядных импульсов и информационных разрядов?**
- 5. Для каких целей в ГО первичной ЦСП вырабатываются каналные импульсы? Назовите частоту, период, длительность и скважность каналных импульсов.**
- 6. Для каких целей в ГО первичной ЦСП вырабатываются цикловые импульсы? Назовите частоту, период, длительность и скважность цикловых импульсов**
- 7. Поясните назначение задающего генератора (ЗГ). Какие основные требования предъявляются к ЗГ ЦСП? В каких режимах может работать ЗГ? В каких случаях они применяются? Приведите структурную схему ЗГ. Поясните работу ЗГ в режиме автогенерации (внутренней синхронизации).**

Генераторное оборудование ЦСП

Генераторное оборудование обеспечивает формирование и распределение импульсных последовательностей, управляющих процессами дискретизации, кодирования (декодирования), ввода (вывода) символов служебных сигналов на определенные позиции цикла передачи и т.д.

От ГО необходимо получить импульсные последовательности со следующими основными частотами:

- тактовой частотой $F_m = 1/T_m = F_{\partial} m N_{ку}$;

- частотой следования кодовых групп (канальных интервалов)

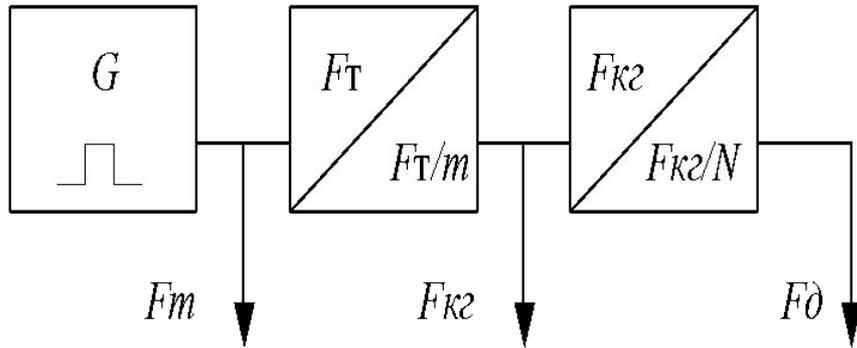
$$F_{к.г} = 1/T_{ку} = F_{\partial} N_{ку} = F_m / m;$$

- частотой дискретизации $F_{\partial} = 1/T_{\partial} = F_m / m N_{ку}$.

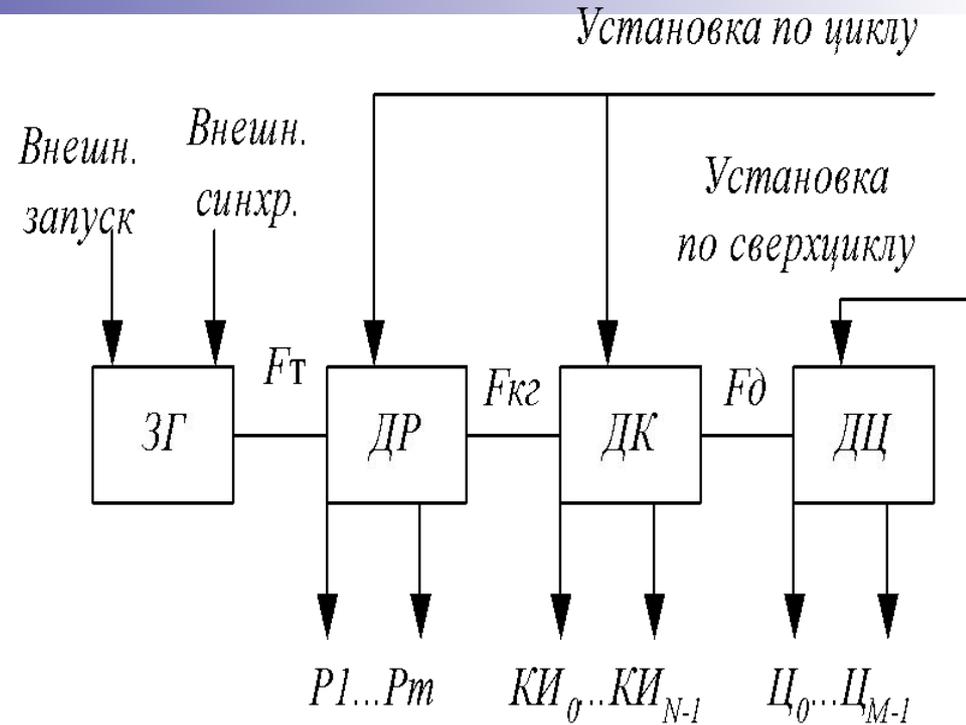
Таким образом, получить необходимые импульсные последовательности можно путем деления тактовой частоты, получаемой от высокостабильного задающего генератора ЗГ

Обычно предусматривается несколько режимов работы ГО: внутренней синхронизации, при котором осуществляется работа от высокостабильного автономного ЗГ (с относительной нестабильностью $\pm 10^{-5} \dots 10^{-6}$);

внешнего запуска, при котором осуществляется работа от внешнего ЗГ; внешней синхронизации, при котором осуществляется подстройка частоты ЗГ с помощью ФАПЧ, управляемой внешним сигналом.



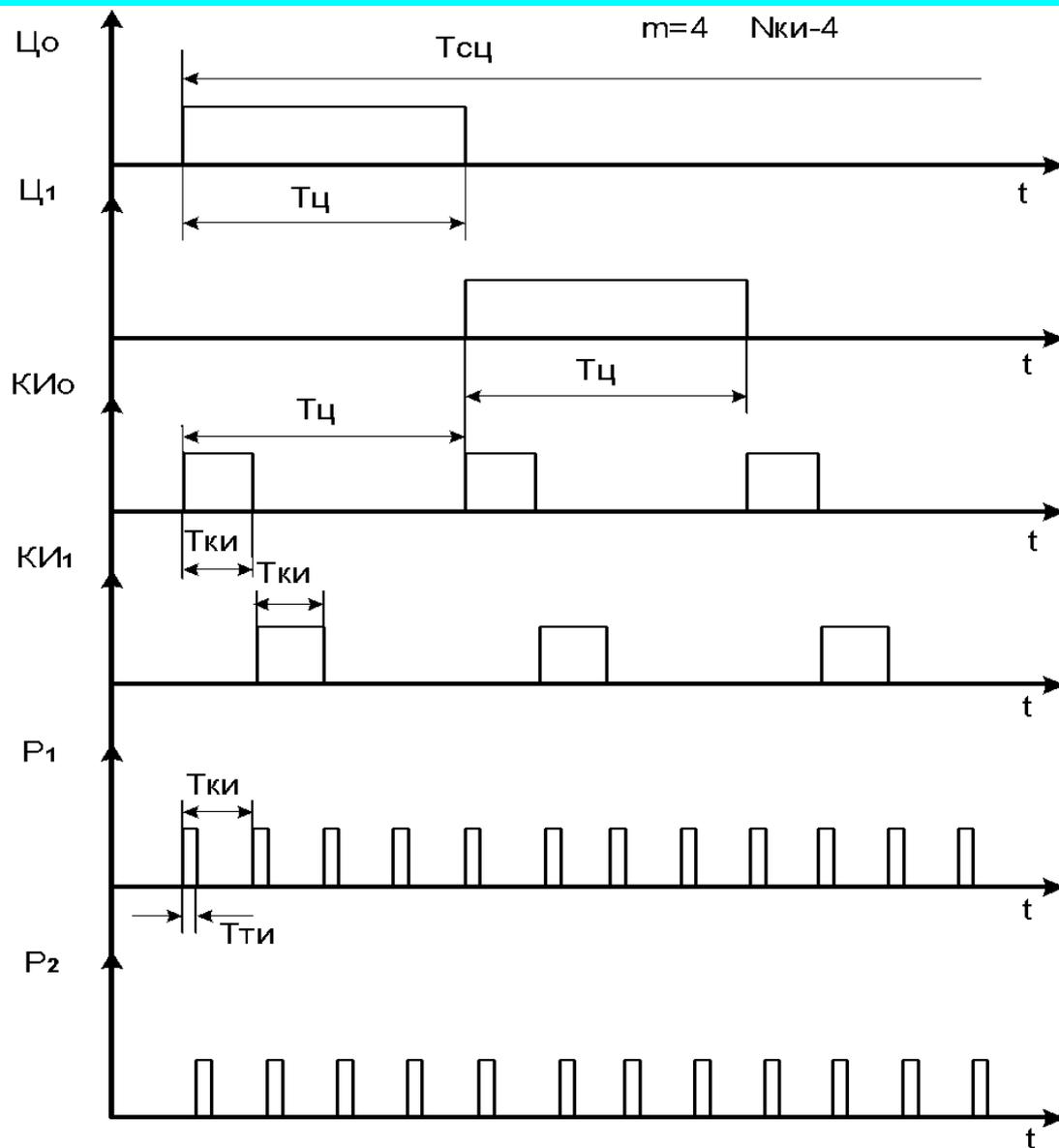
Структурная схема генераторного оборудования



Структурная схема ГО передачи

Схемы ДР, ДК и ДЦ легко реализуются на основе счетчиков, регистров, дешифраторов и других логических схем, реализуемых на ИМС. **Схема ГО приема** отличается от схемы ГО передачи следующими особенностями, обеспечивающими работу ГО приема синхронно и синфазно с ГО передачи. **Во-первых**, импульсная последовательность с тактовой частотой F_m будет поступать на вход ДР не от ЗГ, а от схемы выделения тактовой частоты. **Во-вторых**, установка ГО приема по циклу и сверхциклу осуществляется с помощью сигналов, поступающих от приемника синхросигналов.

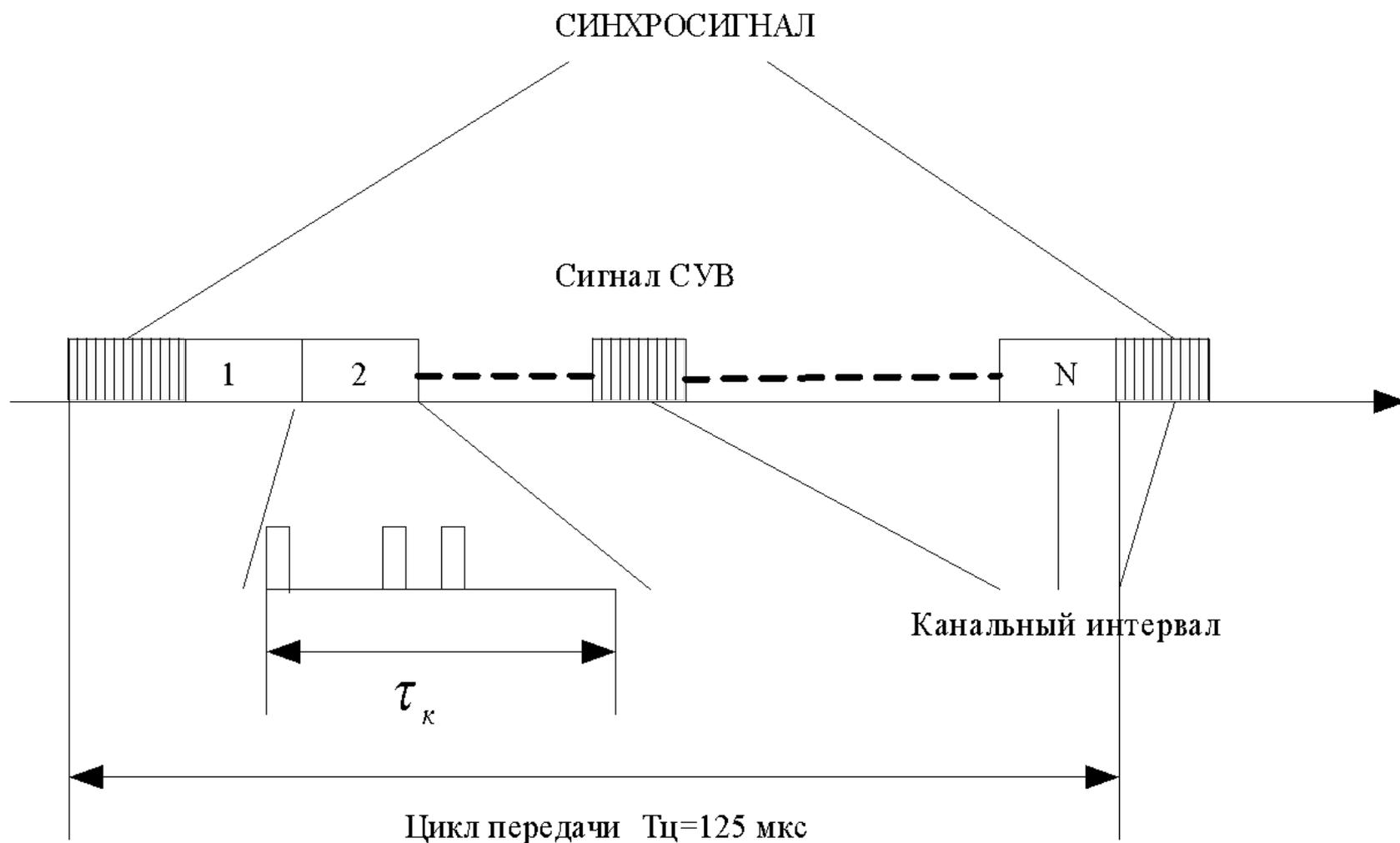
Временные диаграммы работы ГО передачи





Временной спектр ЦСП

Временной спектр ЦСП



$T_{\text{ц}}=2 \text{ мс}$ $f_{\text{ц}}=500 \text{ Гц}$

125
мкс

Ц0	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5	Ц6	Ц7	Ц8	Ц9	Ц10	Ц11	Ц12	Ц13	Ц14	Ц15
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

КИ0	КИ1	КИ2	КИ14	КИ15	КИ16	КИ17	КИ29	КИ30	КИ31
-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	-----	-----	-----	------	------	------

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Д	Четные циклы - сигнал цикловой синхронизации							
	0	0	1	1	0	1	1	
Д	Нечетные циклы							
	1	А	Х	Х	З	Х	Х	

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Нулевой цикл - сигнал сверхцикловой синхронизации					1	03	0	1
	0	0	0	0				
Циклы с 1 по 15								
СУВ	СУВ	0	1	СУВ	СУВ	0	1	

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
----	----	----	----	----	----	----	----

$\tau_u = \frac{T_u}{32} = 3,9 \text{ мкс}$

Сверхцикл ИКМ-30 содержит **16** циклов передачи и его продолжительность

$$T_{сц} = T_{ц} \cdot 16 = 0,125 \text{ мс} \cdot 16 = 2 \text{ мс},$$

а частота следования сверхциклов и, следовательно, сигналов сверхцикловой синхронизации

$$f_{сц} = f_{д} / 16 = 500 \text{ Гц}.$$

P5-«1», P7-«0», P8-«1», P6 используется для передачи сигнала о нарушении сверхцикловой синхронизации на противоположную станцию. Остальные символы – **P3-«0», P7-«0», P4-«1», P8»1»**.

В нечетных циклах **P3 КИО** используется для передачи сигнала о нарушении цикловой синхронизации (**A**)

P2-«1», P6 – сигнал автоматического контроля остаточного затухания канала.

Использование символов **P4, P5, P7 и P8** в КИО нечетных циклов не регламентируются и их занимают символами «1».

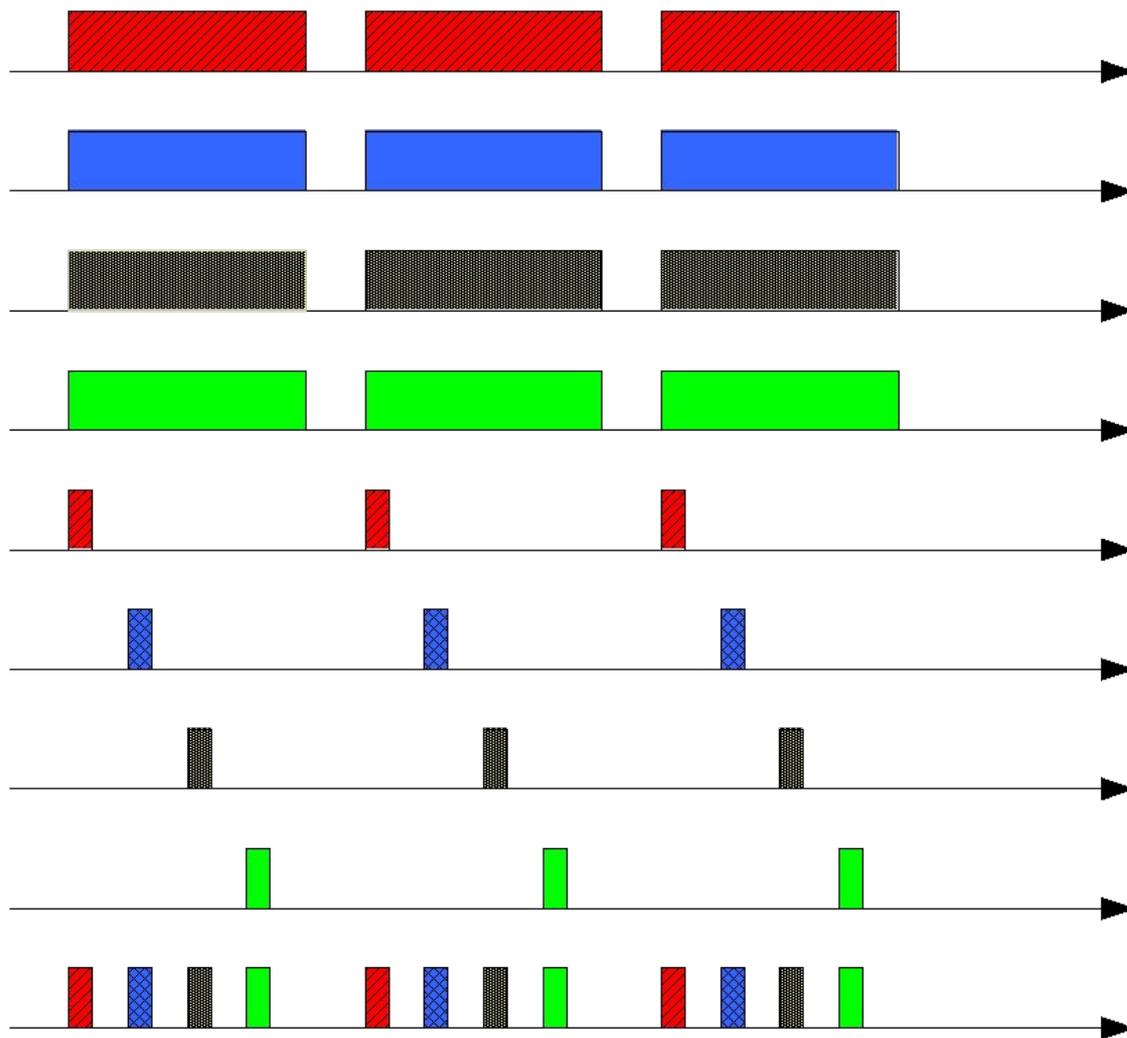
Позиция **P1** в КИО и в четных и в нечетных циклах используется для передачи дискретной информации со скоростью 8 кбод.

Принцип временного объединения потоков

- Посимвольный (поразрядный).
- Поканальный (по кодовым группам).
- Системный (по циклам).

При реализации ЦСП применяют наиболее простой посимвольный способ объединения цифровых потоков. При этом импульсы цифровых сигналов объединяемых систем укорачиваются и распределяются во времени так, чтобы в освободившихся интервалах между импульсами каждой из таких систем могли размещаться вводимые импульсы других систем.

Принцип временного объединения потоков



Импульсы четырех объединяемых потоков

Укороченные и смещенные во времени импульсы объединяемых потоков

Объединенный поток

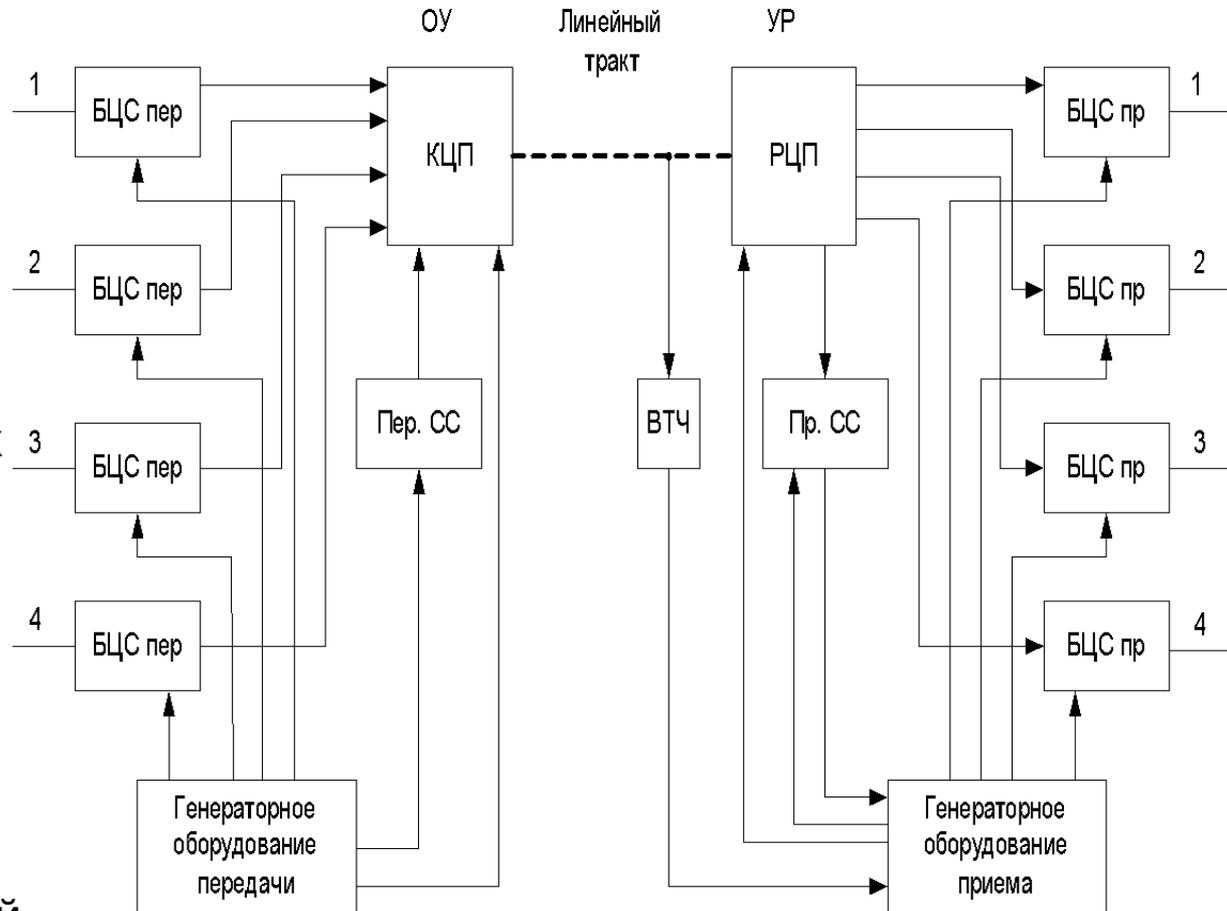
Принцип временного объединения потоков

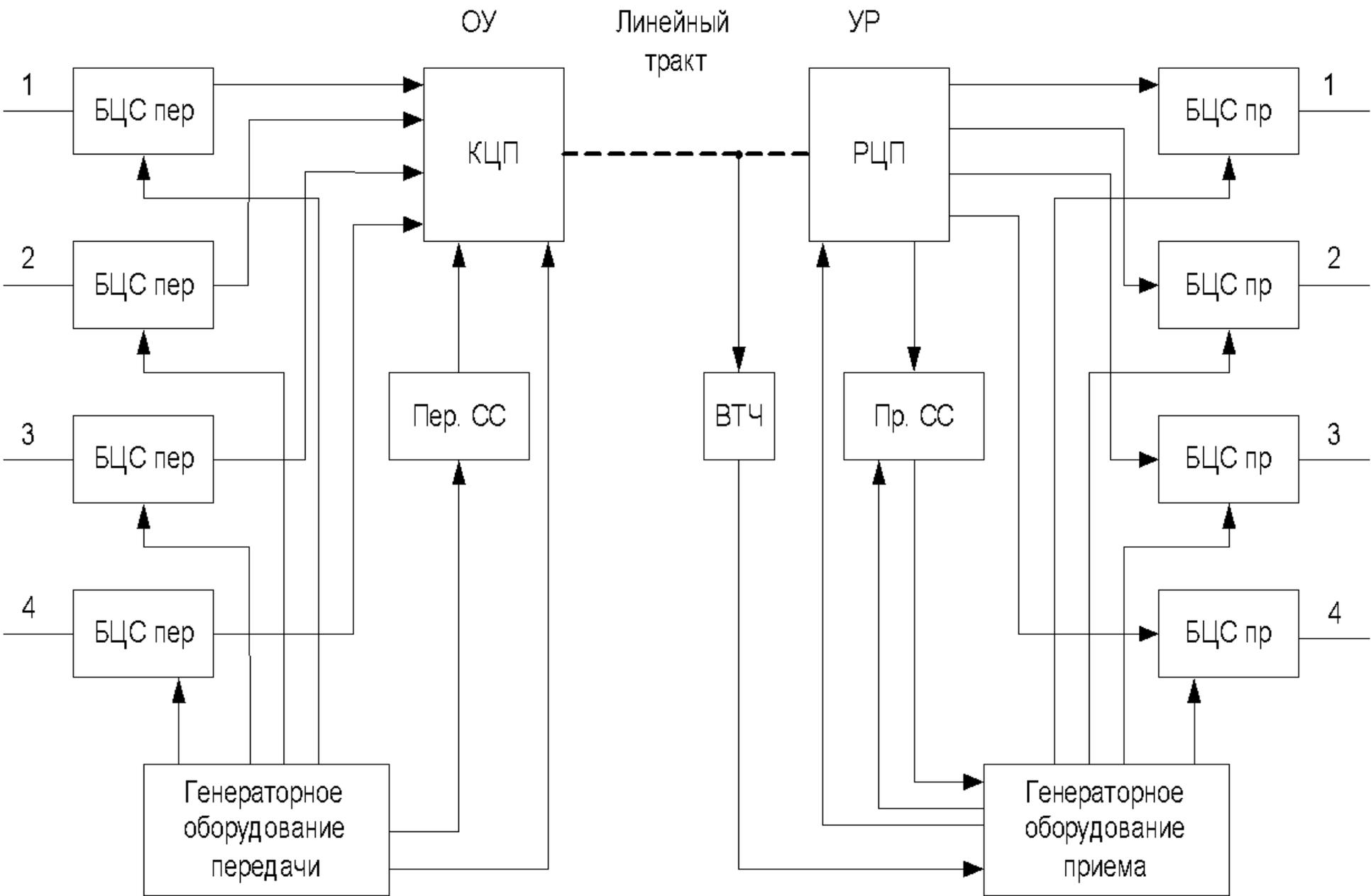
- **БЦСпер** и **БЦСпр** – блоки цифрового сопряжения тракта передачи и приема. БЦСпер укорачивает и распределяет во времени импульсы каждой из объединяемых систем.

- **КЦП** (устройство объединения) и **РЦП** (устройство разделения) – коллектор и распределитель цифровых потоков, служащие соответственно для объединения потоков в тракте передачи и их разделения в тракте приема.

- **Пер СС** и **Пр СС** – передатчик и приемник синхросигнала.

- **ВТЧ** – выделитель тактовой частоты.





При объединении цифровых потоков производится запись информационных символов в запоминающее устройство БЦС с частотой f_z и последующее их считывание с частотой $f_{сч}$. При синхронном объединении цифровых потоков частоты $f_z = f_{сч}$. При асинхронном объединении цифровых потоков f_z и $f_{сч}$ могут изменяться в некоторых пределах.

Могут быть два случая:

$f_{сч} < f_z$ – память запоминающего устройства будет переполнена и часть информационных символов может пропасть.

$f_{сч} > f_z$ – память пуста и в очередной момент считывать будет нечего, т.е. появятся дополнительные временные позиции, которые в исходном цифровом потоке отсутствуют.

Следовательно, необходимо согласование скоростей.

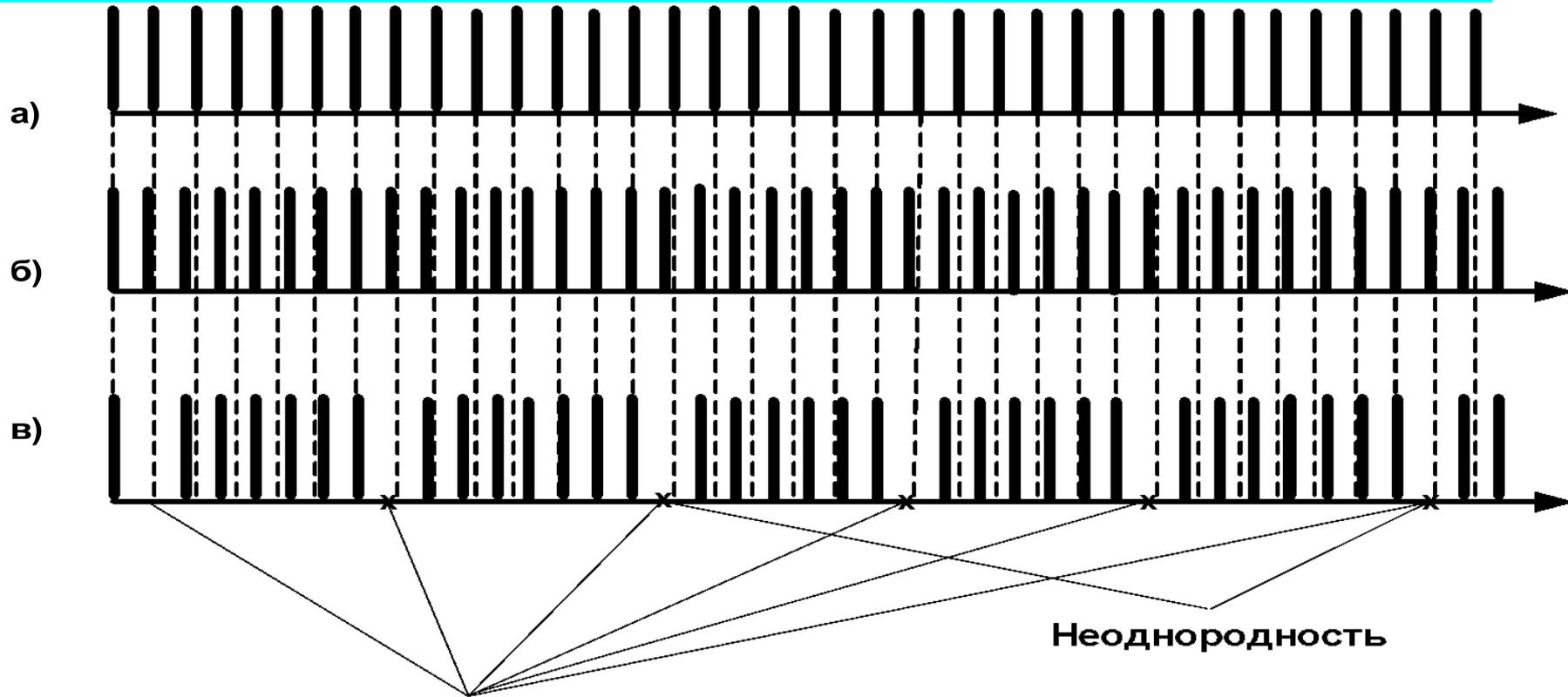
При $f_{сч} > f_z$ наступают моменты, когда ячейки памяти будут свободны от информационных импульсов и появятся нулевые символы, которые называются *временными сдвигами*. В таком случае производится положительное согласование скоростей: в считанную последовательность вводится дополнительный балластный тактовый интервал, который на приеме должен быть изъят из передаваемой последовательности.

При $f_{сч} < f_z$ производится отрицательное согласование скоростей: из считываемой последовательности изымается один тактовый интервал, информация которого передается по специальному временному каналу и на приеме вводится в передаваемый поток на свое место.

При асинхронном объединении цифровых потоков возможно одностороннее и двустороннее согласование скоростей.

В системах с односторонним согласованием скоростей частота $f_{сч}$ выбирается заведомо больше или меньше, чем f_z .

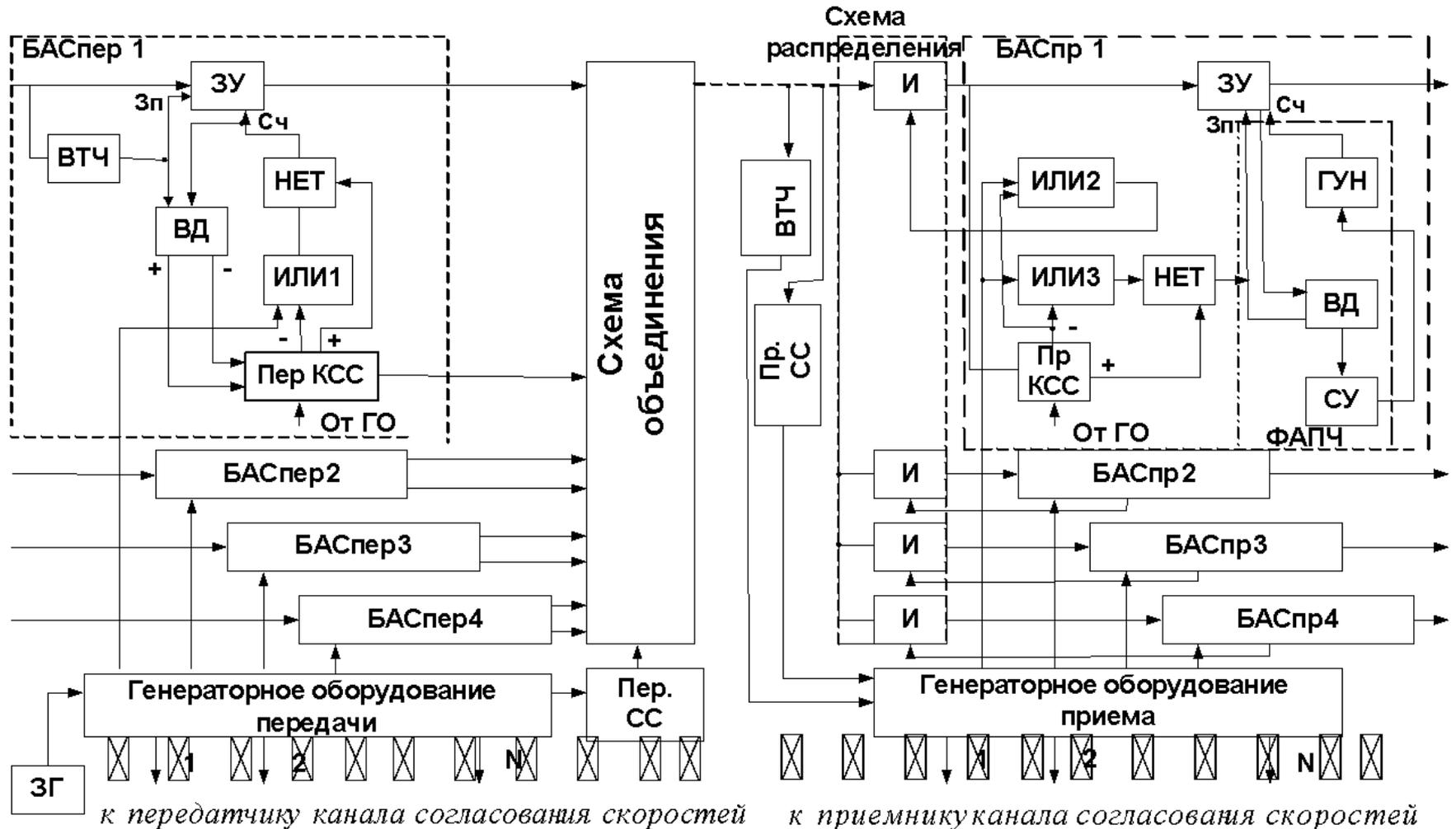
Временные диаграммы



Временные сдвиги

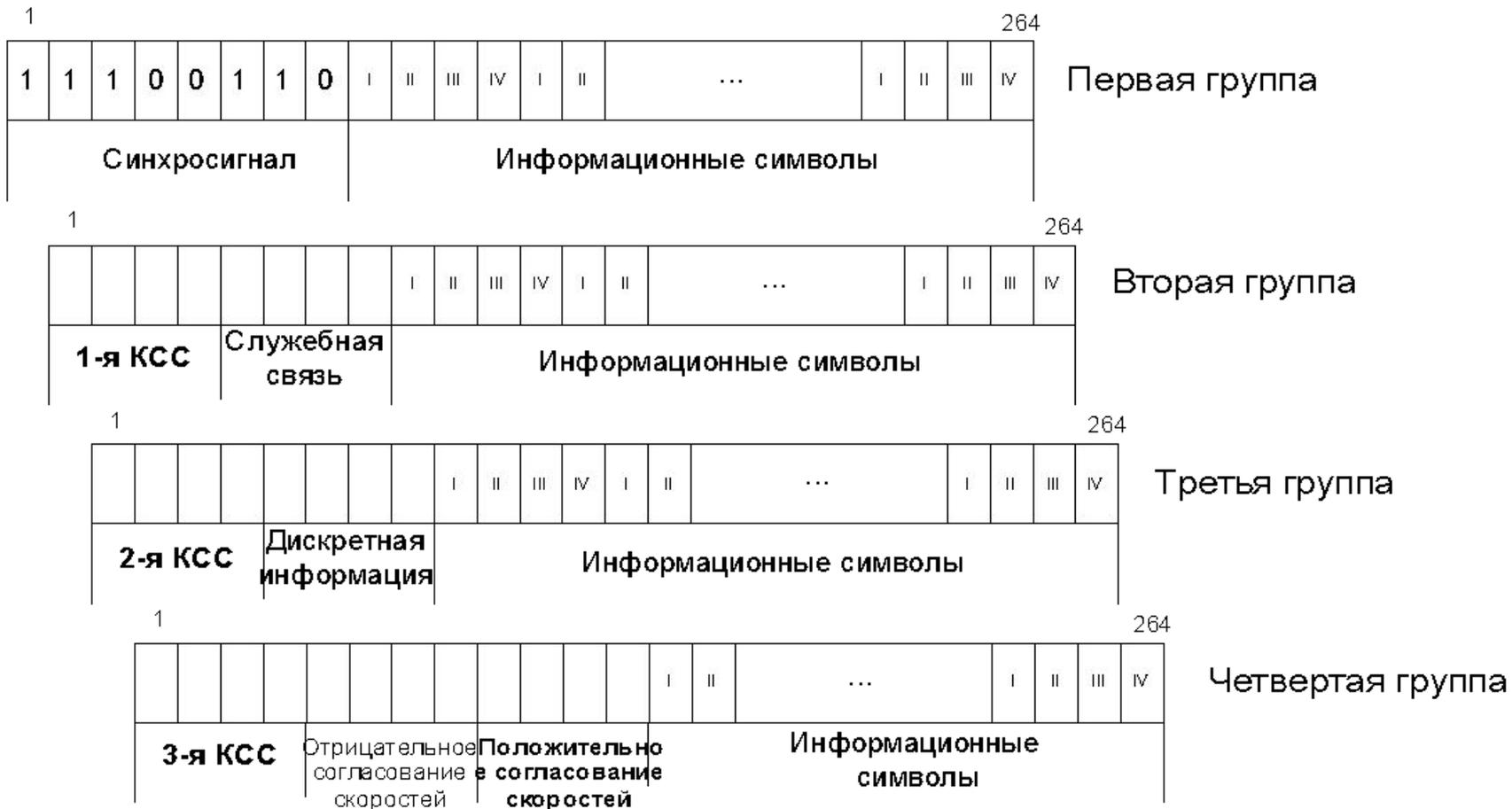
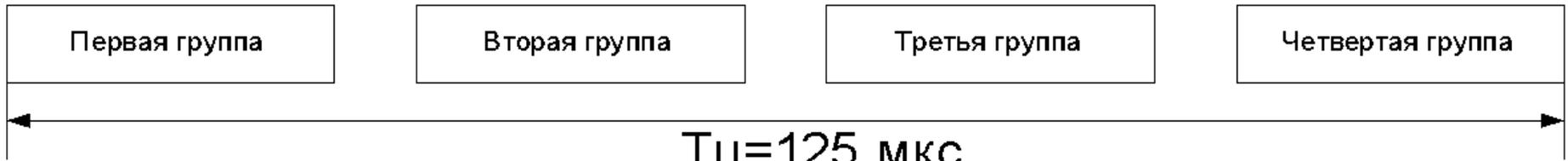
- а)- импульсные последовательности записи ;
- б)- импульсные последовательности считывания ;
- в) – последовательность считанных импульсов

Структурная схема оборудования временного группообразования при асинхронном сопряжении цифровых потоков с двусторонним согласованием скоростей.



Цикл передачи вторичного цифрового потока

1056 импульсных позиций



Скорость передачи вторичного цифрового потока 8448 кбит/с. Он формируется из четырех первичных цифровых потоков, имеющих скорость передачи 2048 кбит/с. Объединение первичных цифровых потоков посимвольное в асимметричном режиме с двусторонним согласованием скоростей.

Частота **f_з** в БАСпер – 2048 кГц, а частота **f_{сч}** считывания 8448/4=2112 кГц. Соотношение частот $f_z/f_{сч}=32/33$. Следовательно, на 32 информационных символа приходится 1 служебный, то есть временной сдвиг будет происходить через 32 такта.

Цикл содержит 1056 импульсных позиций (1024 – информационные, а 32 – служебные).

Служебные позиции служат для передачи синхросигнала, канала согласования скоростей, аварийных сигналов, каналов служебной связи, дискретной информации.

Цикл разбит на четыре группы по 264 импульсных позиции. В каждой группе позиции с 1 по 8 – служебные символы, а с 9 по 264 (256) – информационные.

В первой группе на позициях с 1 по 8 передается синхросигнал вида 11100110.

Во второй группе на позициях с 1 по 4 – первые символы канала согласования скоростей; на позициях с 5 по 8 – импульсы служебной связи.

В третьей группе на позициях 1...4 – вторые символы канала согласования скоростей; на позициях 5...8 – символы дискретной информации.

В четвертой группе – позиции 1...4 занимают третьи символы канала согласования скоростей; на позициях с 5 по 8 передаются информационные символы изъятого временного интервала при отрицательном согласовании скоростей. При положительном согласовании скоростей позиции 9...12 занимают балластные символы первого, второго, третьего и четвертого объединяемых потоков, которые в запоминающее устройство БАСпр не поступают.

Синхронизация в ЦСП

Тактовая синхронизация

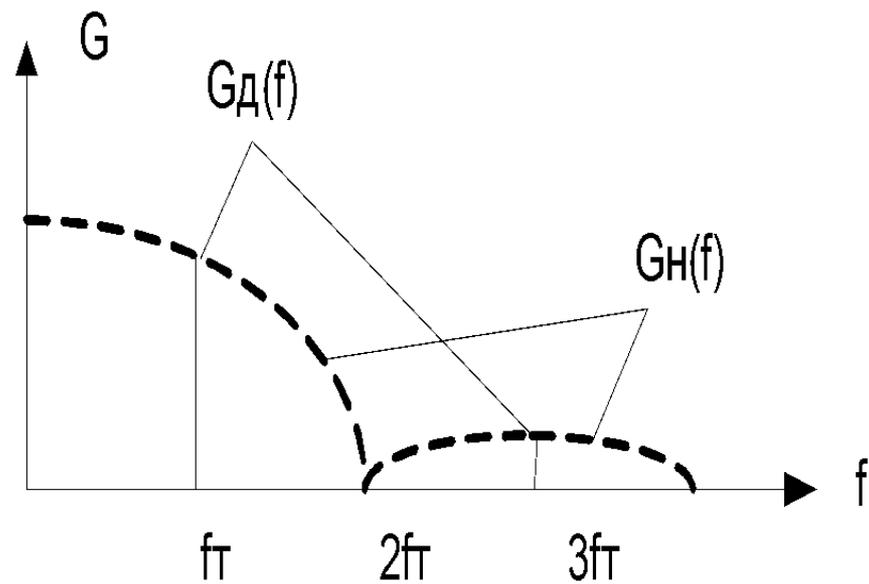
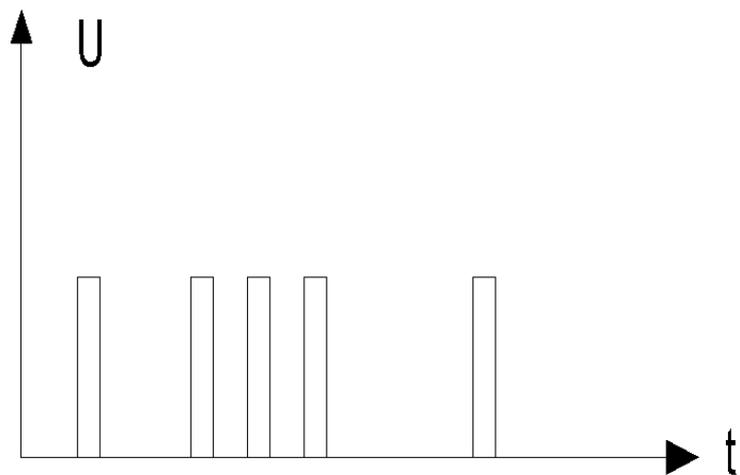
К устройствам тактовой синхронизации предъявляются следующие требования:

1. Высокая точность подстройки частоты и фазы управляющего сигнала задающего генератора приемной части.
2. Малое время вхождения в синхронизм.
3. Сохранение состояния синхронизма при кратковременных перерывах связи.

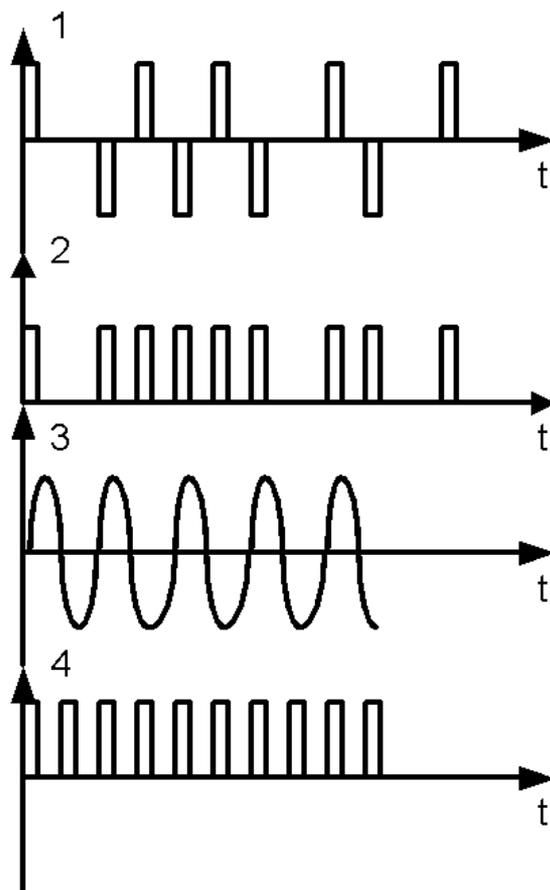
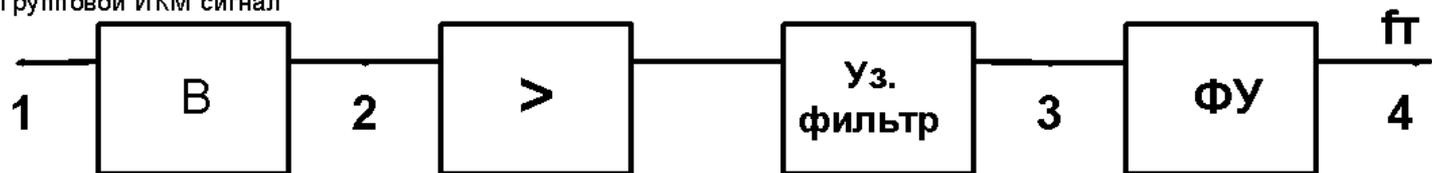
Различают *две группы* устройств тактовой синхронизации:

- Синхронизация по *специальному синхросигналу*. При этом усложняется оборудование линейного тракта и ГО, точность установки синхронизма будет зависеть от нелинейных искажений и неравномерности частотной характеристики линейного тракта. Снижается пропускная способность системы передачи.
- Подстройка генераторного оборудования приемника под принимаемый сигнал, т.е. подстройка *без специальных синхросигналов*. При этом учитывают, что тактовой частотой в системе ВРК-ИКМ является частота следования символов в групповом сигнале, и она должна выделяться непосредственно из ИКМ сигнала.

Спектр линейного сигнала



Групповой ИКМ сигнал



Цикловая синхронизация

Требования:

1. Время вхождения в синхронизм при первоначальном включении аппаратуры в работу и время восстановления синхронизма при его нарушении должно быть минимальным.
2. Число разрядов синхросигнала при заданном времени восстановления синхронизма должно быть минимальным.
3. Приемник синхросигнала должен быть помехоустойчивым, что обеспечивает большее среднее время между сбоями синхронизма.

Основные отличительные особенности синхросигнала:

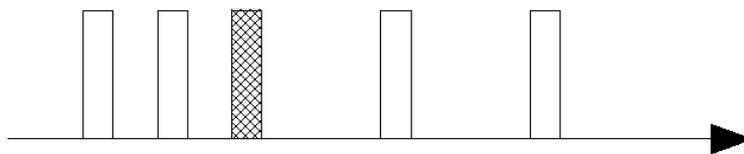
1. Его периодичность, или повторяемость на одних и тех же позициях через каждый период передачи синхросигнала.
2. Постоянство структуры кодовой комбинации.

По числу разрядов синхросигнал различают:

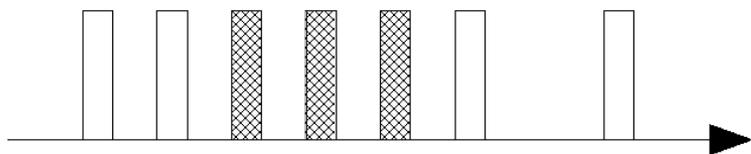
- *одноразрядный*;
- *многоразрядный*.

В свою очередь *многоразрядный* синхросигнал может быть *распределенным* или *сосредоточенным*.

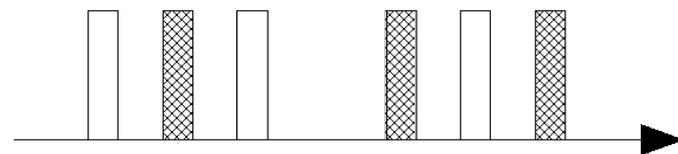
Одноразрядный
синхросигнал



Многоразрядный
сосредоточенный
синхросигнал



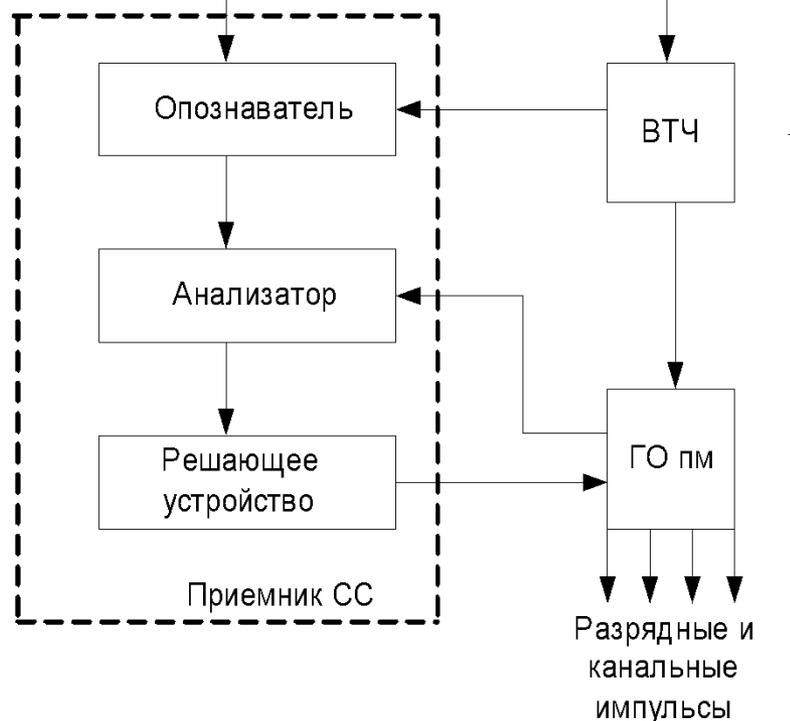
Многоразрядный
распределенный
синхросигнал



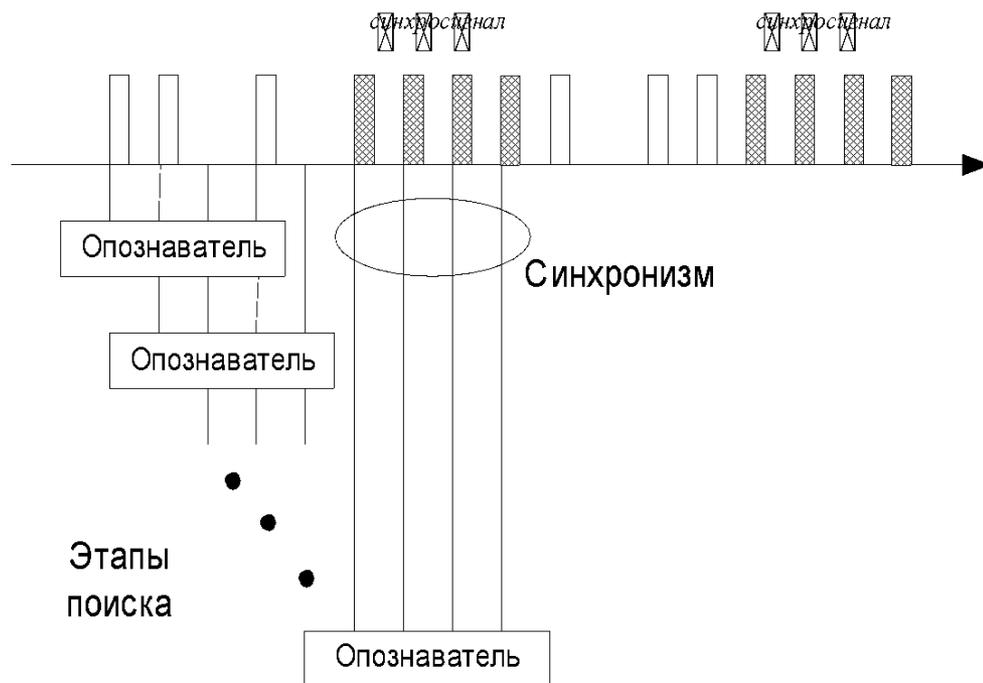
Кодовая комбинация синхросигнала должна выбираться такой, чтобы вероятность ее появления при передаче информационных символов была наименьшей.

Групповой ИКМ сигнал

К декодеру



Алгоритм нахождения синхросигнала
скользящим поиском и одноразрядным сдвигом



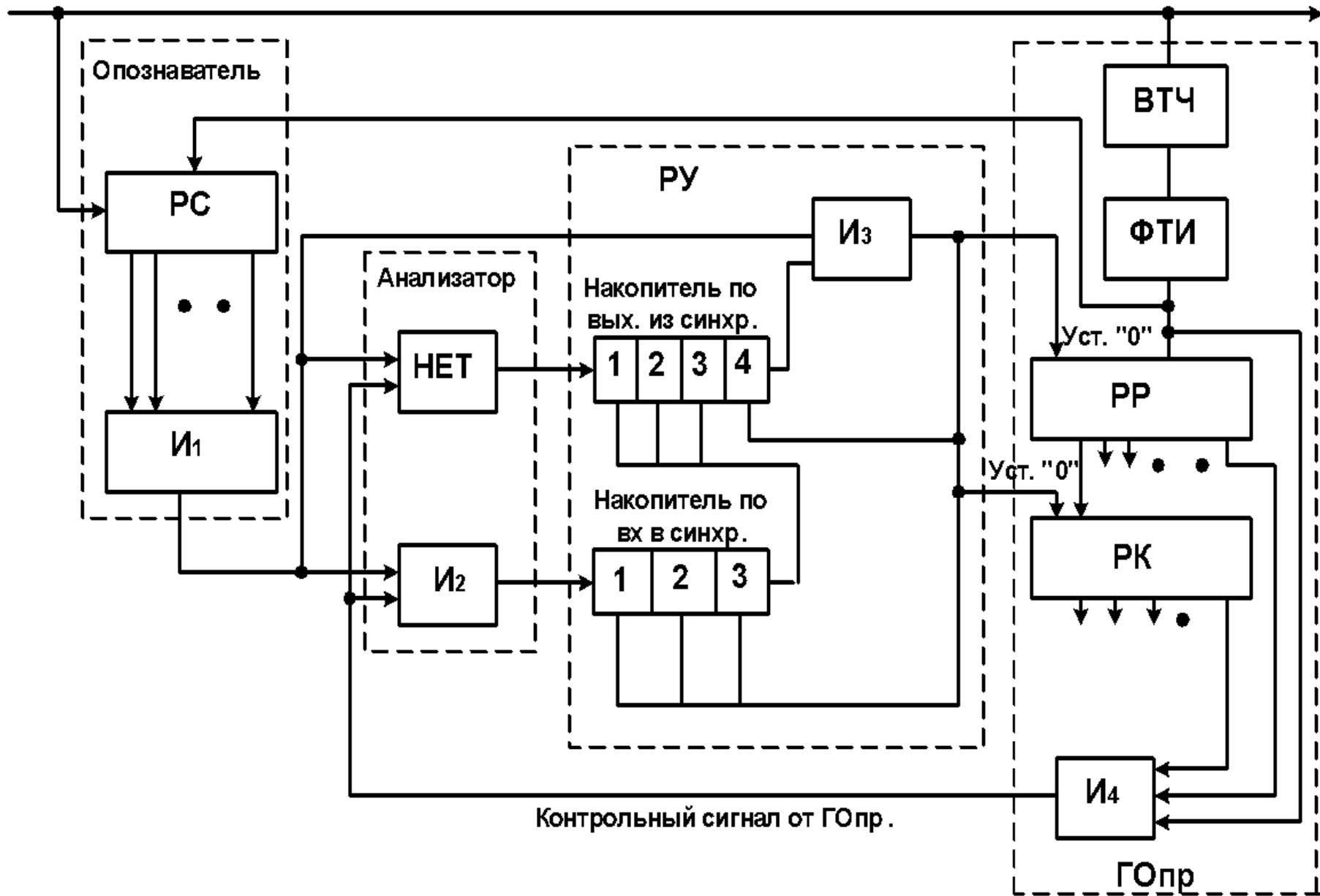
Опознаватель – предназначен для выделения из группового ИКМ сигнала кодовых комбинаций, совпадающих по структуре с синхросигналом.

Анализатор – определяет соответствие момента времени прихода истинной синхрогруппы и контрольного сигнала с генераторного оборудования приемной станции.

Решающее устройство – определяет состояние синхронизма, момент выхода из синхронизма, управляет работой узлов ГО.

Группой сигнал

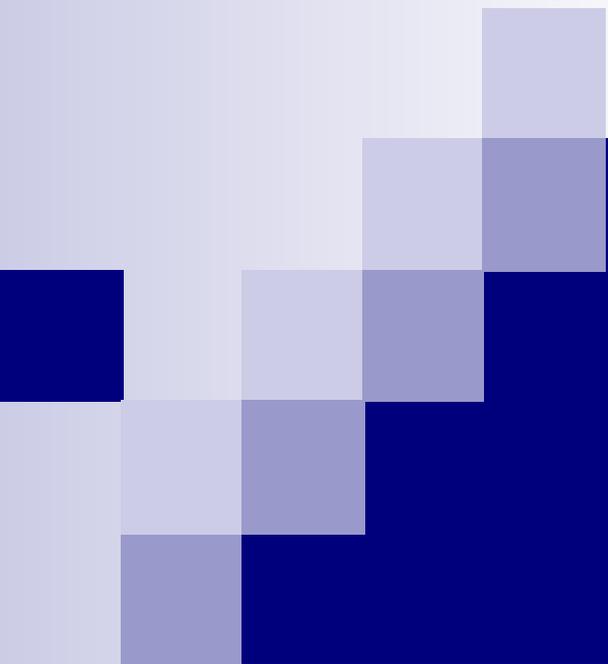
К декодеру



В качестве опознавателя используется регистр сдвига (РС), выходы которого подключены к схеме И₁ (выполняющей роль дешифратора). Число ячеек в РС и схеме И₁ совпадает с количеством разрядов синхросигнала. На выходе И₁ формируется «1», если на ее вход попадает сигнал заданной структуры синхросигнала, следовательно, это будет соответствовать выделению синхросигнала.

Анализатор содержит логические ячейки НЕТ и И2. К этим ячейкам подключены выходы опознавателя и ГОпр. Если система цикловой синхронизации находится в синхронизме, то эти сигналы совпадают по времени. На выходе схемы И₂ появится сигнал подтверждения синхронизма, а на выходе ячейки НЕТ – сигнал отсутствия ошибки. При нарушении синхронизма, когда временные позиции сигналов с выхода опознавателя и ГОпр не совпадают, на выходе И₂ сигнал подтверждения синхронизма будет отсутствовать, а на выходе НЕТ появится сигнал ошибки – отсутствие синхронизма.

Решающее устройство содержит накопитель по входу синхронизм, накопитель по выходу из синхронизма и И3. накопители выполнены по схеме счетчика со сбросом. Накопитель по входу(2) выдает импульс, если на его вход поступает 2-3 подряд следующие импульса, накопитель по выходу (1) – когда на его входе будет 4-6 подряд следующих импульса. При наличии синхронизма на выходе схемы (2) формируется импульс, которым сбрасывается в нулевое положение схемы (1). в этом случае импульса на выходе И₃ не будет и работа ГО пр не нарушается. При отсутствии синхронизма на вход схемы НЕТ импульс не подается и чрез нее на вход схемы 2 пройдет сигнал от генераторного оборудования. После заряда этого накопителя подряд следующими четырьмя импульсами на его выходе появится импульс и откроет ячейку И₃. Первый импульс ложной синхрогруппы пройдет через И₃ и сбросит генераторное оборудование и схему 2. Схема перейдет в режим поиска синхронизма.



Оборудование сопряжения

Линейные коды
ТПСС

Требования к линейным кодам ОЦТКС

- - спектр сигнала должен быть узким и иметь ограничение как сверху, так и снизу. Чем уже спектр сигнала, тем меньше требуется полоса пропускания фотоприемника, а соответственно уменьшаются мощность шума и его влияние. Ограничение спектра сверху снижает уровень межсимвольной помехи, а ограничение снизу—флуктуации уровня принимаемого сигнала в электрической части фотоприемника, имеющего цепи развязки по постоянному току. Минимальное содержание низкочастотных составляющих позволяет также обеспечивать устойчивую работу цепи стабилизации выходной мощности оптического передатчика;
- - код линейного сигнала должен обеспечивать возможность выделения колебания тактовой частоты, необходимой для нормальной работы тактовой синхронизации;
- - код линейного сигнала должен обладать максимальной помехоустойчивостью, которая позволяет получать при прочих равных условиях максимальную длину участка регенерации;
- - код линейного сигнала должен обладать избыточностью, которая позволяет по нарушениям правила образования кода судить о возникновении ошибок;
- - код линейного сигнала должен быть простым для практической реализации преобразователей кода.

Нормированные спектры линейных кодов ТПСС

