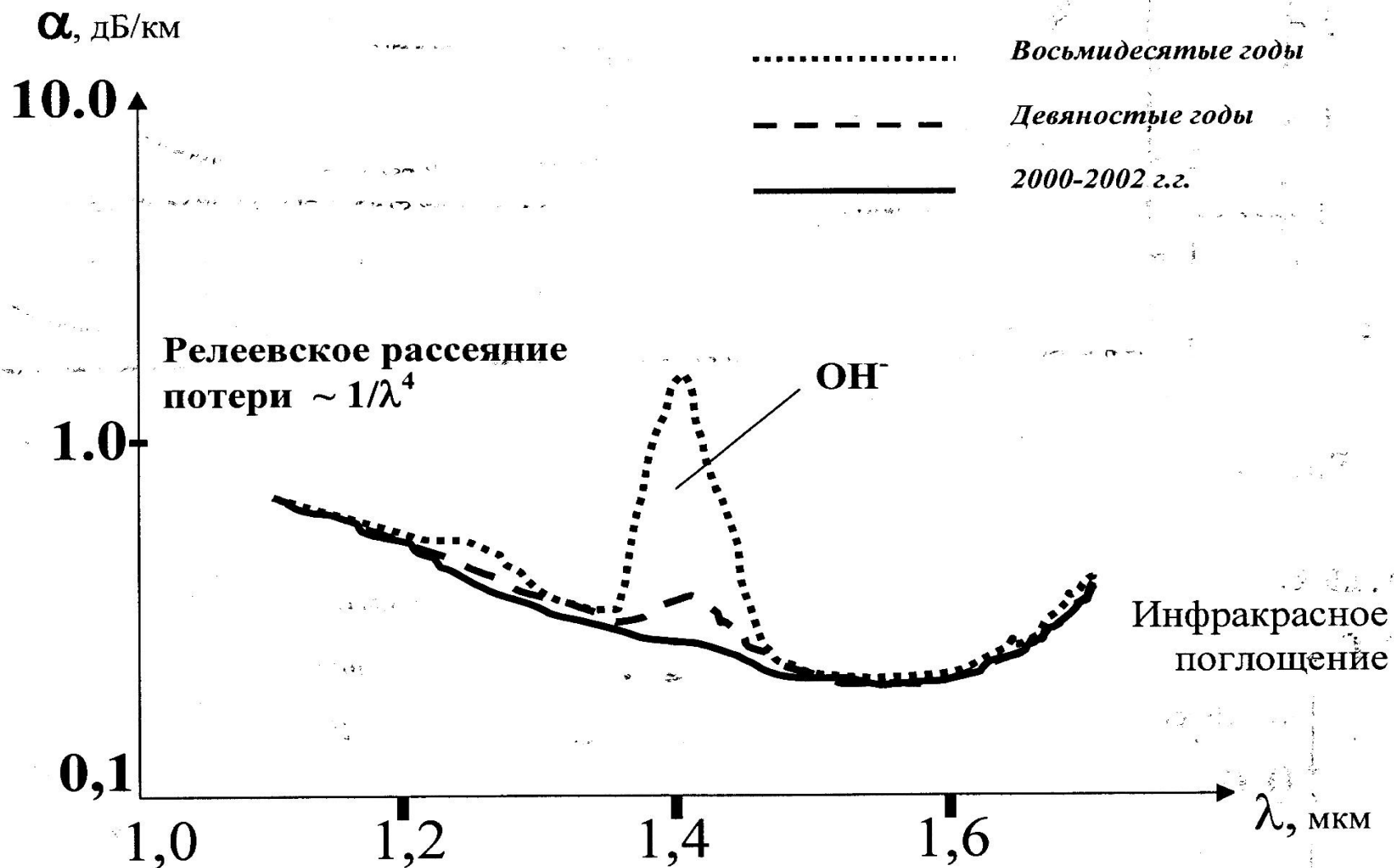


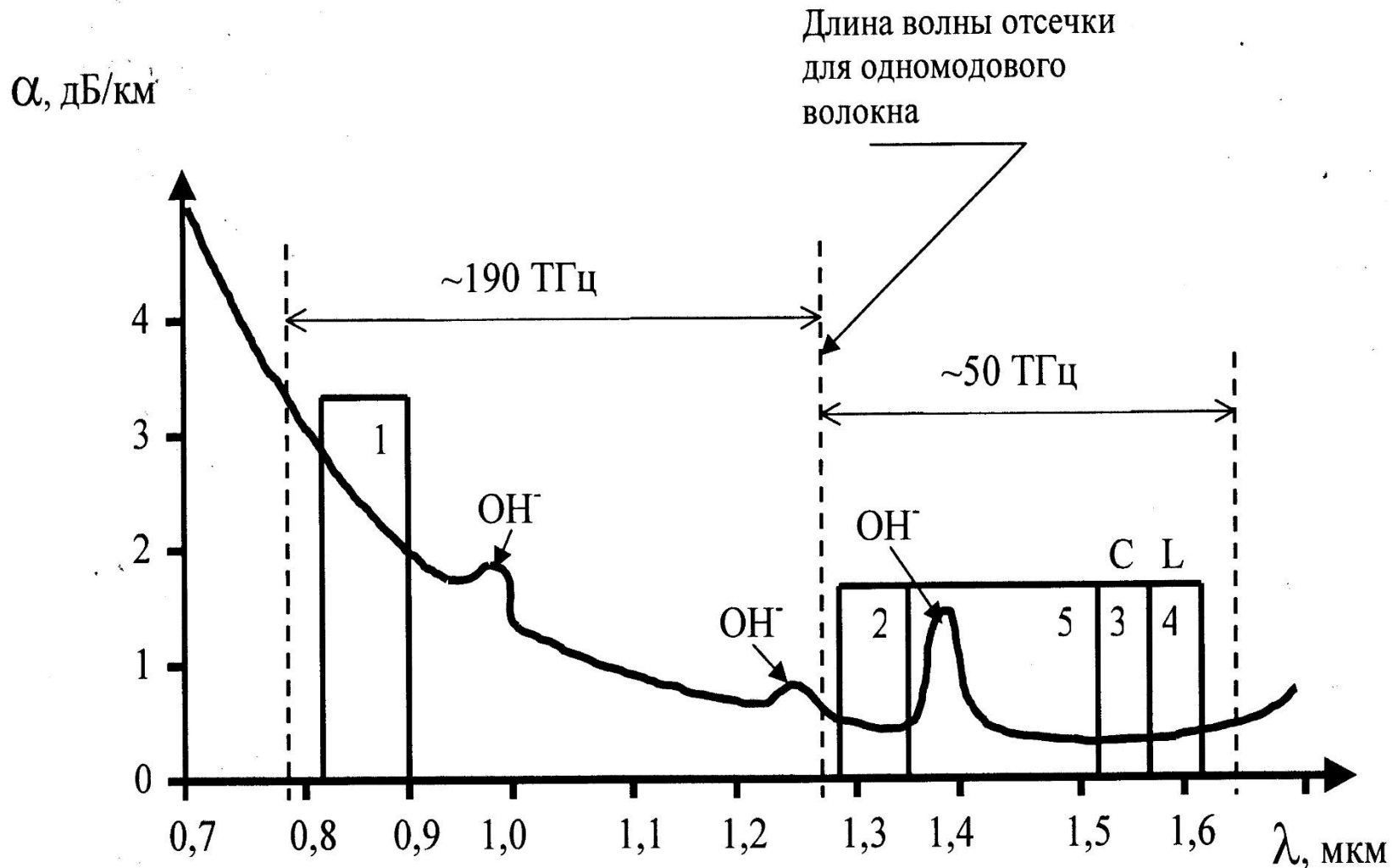
# Цифровые многоканальные телекоммуникационные системы

Бакалавриат

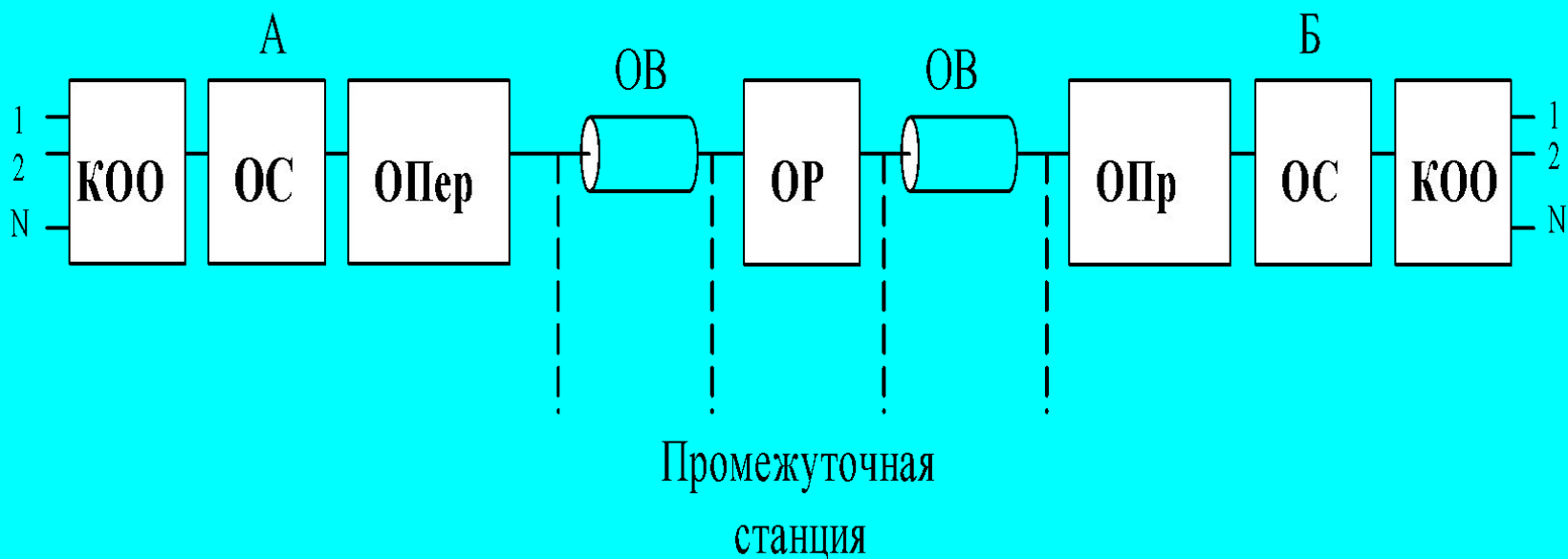
# Зависимость затухания ОВ от длины волны



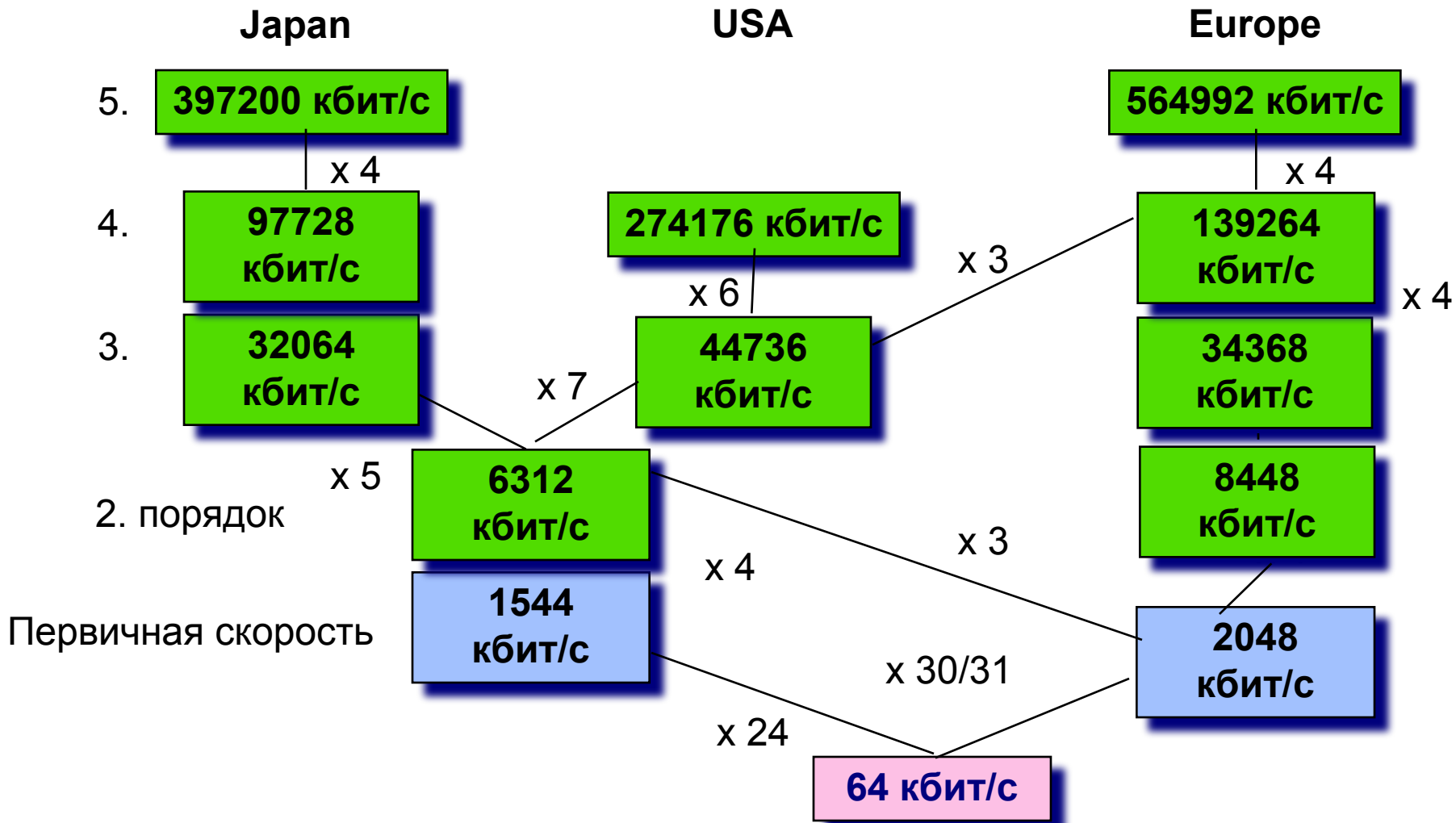
# ОКНА ПРОЗРАЧНОСТИ ОВ



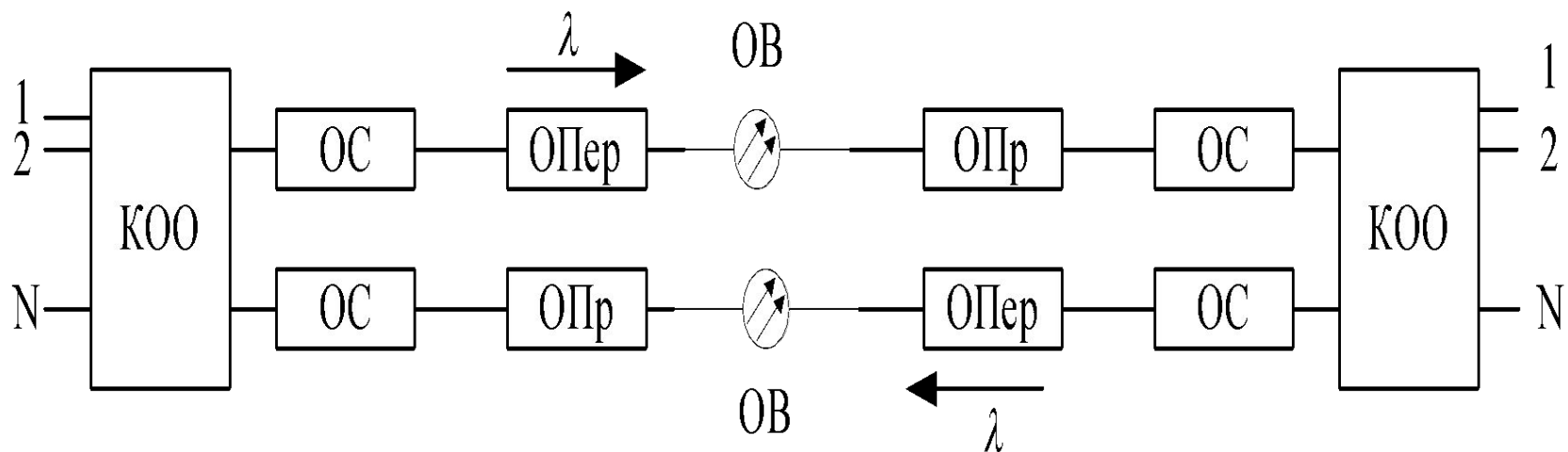
# Принцип организации волоконно-оптической связи



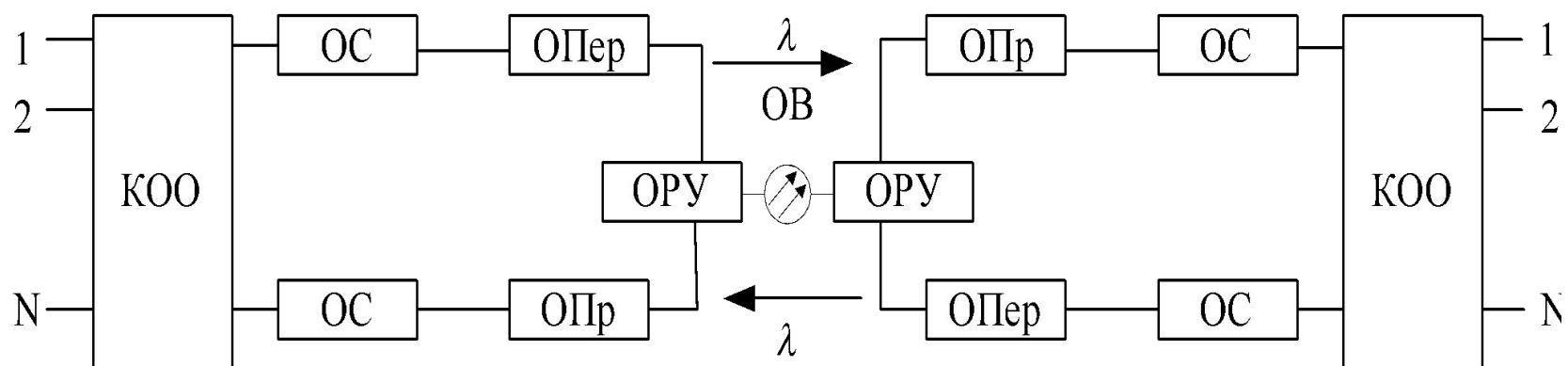
# Мировые системы PDH



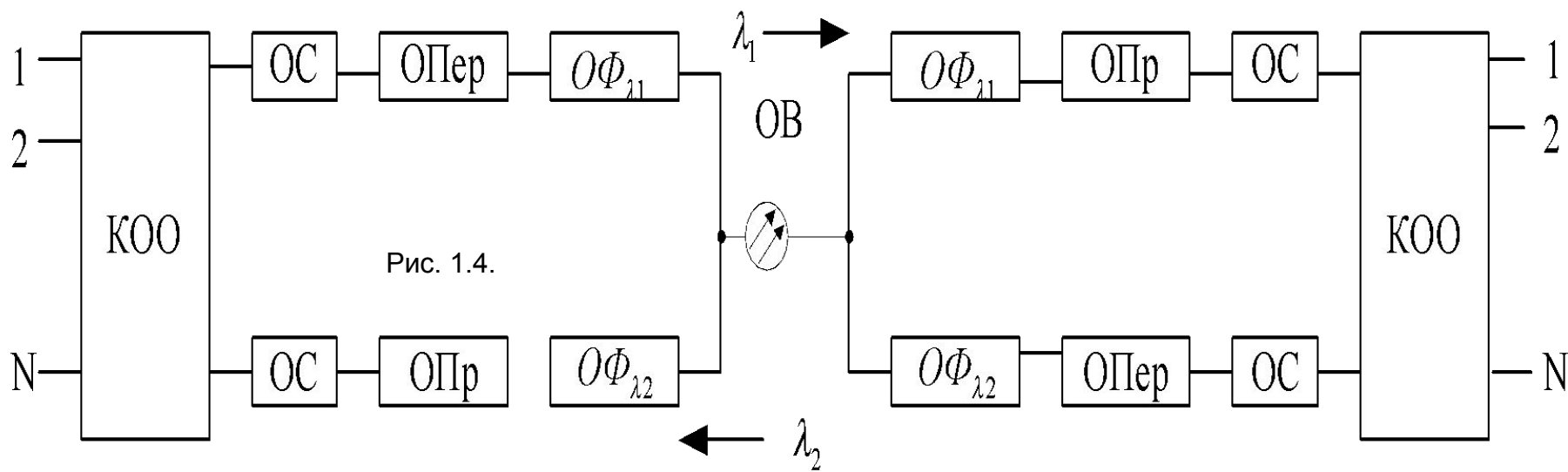
# Принцип построения двухволоконной однополосной однокабельной ВОСП



# Принцип построения одноволоконно однополосной однокабельной ВОСП

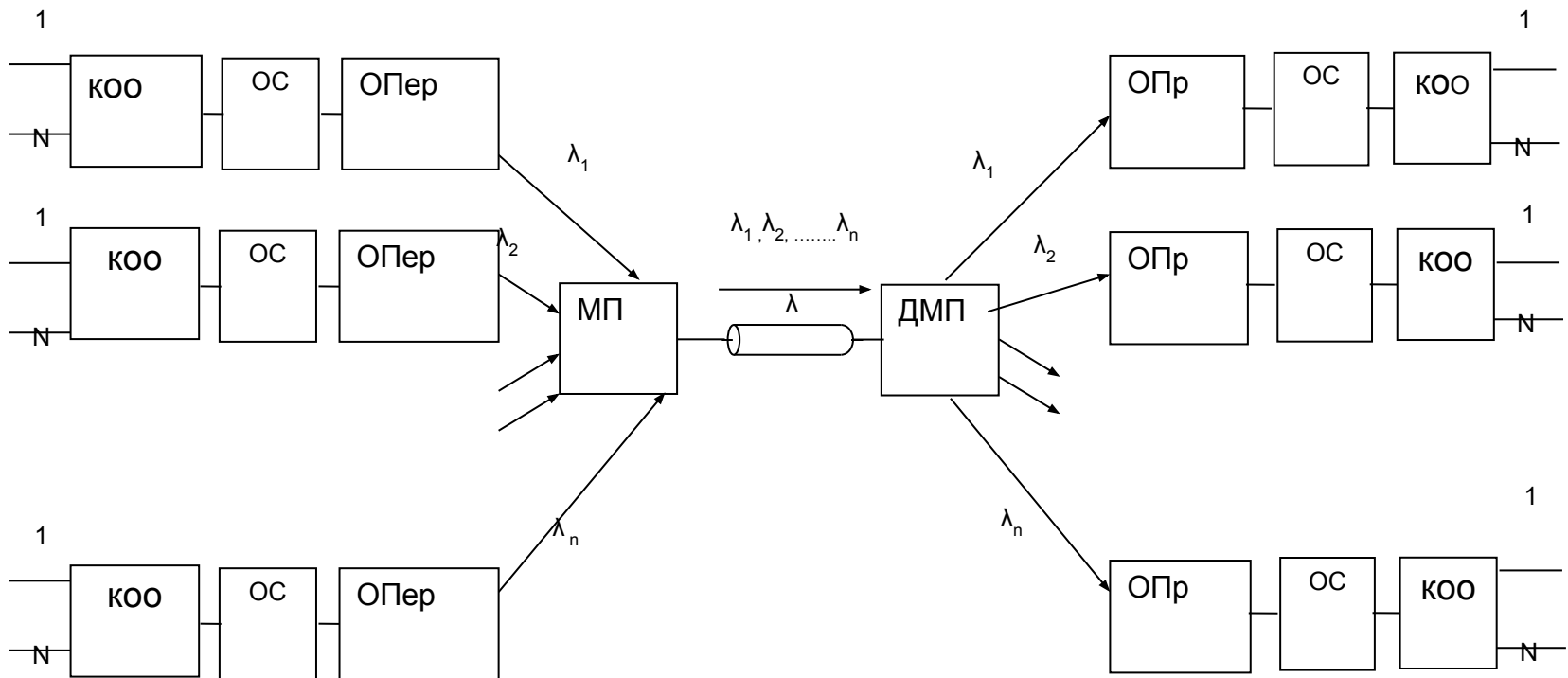


# Принцип построения одноволоконно двухполосной однокабельной ВОСП

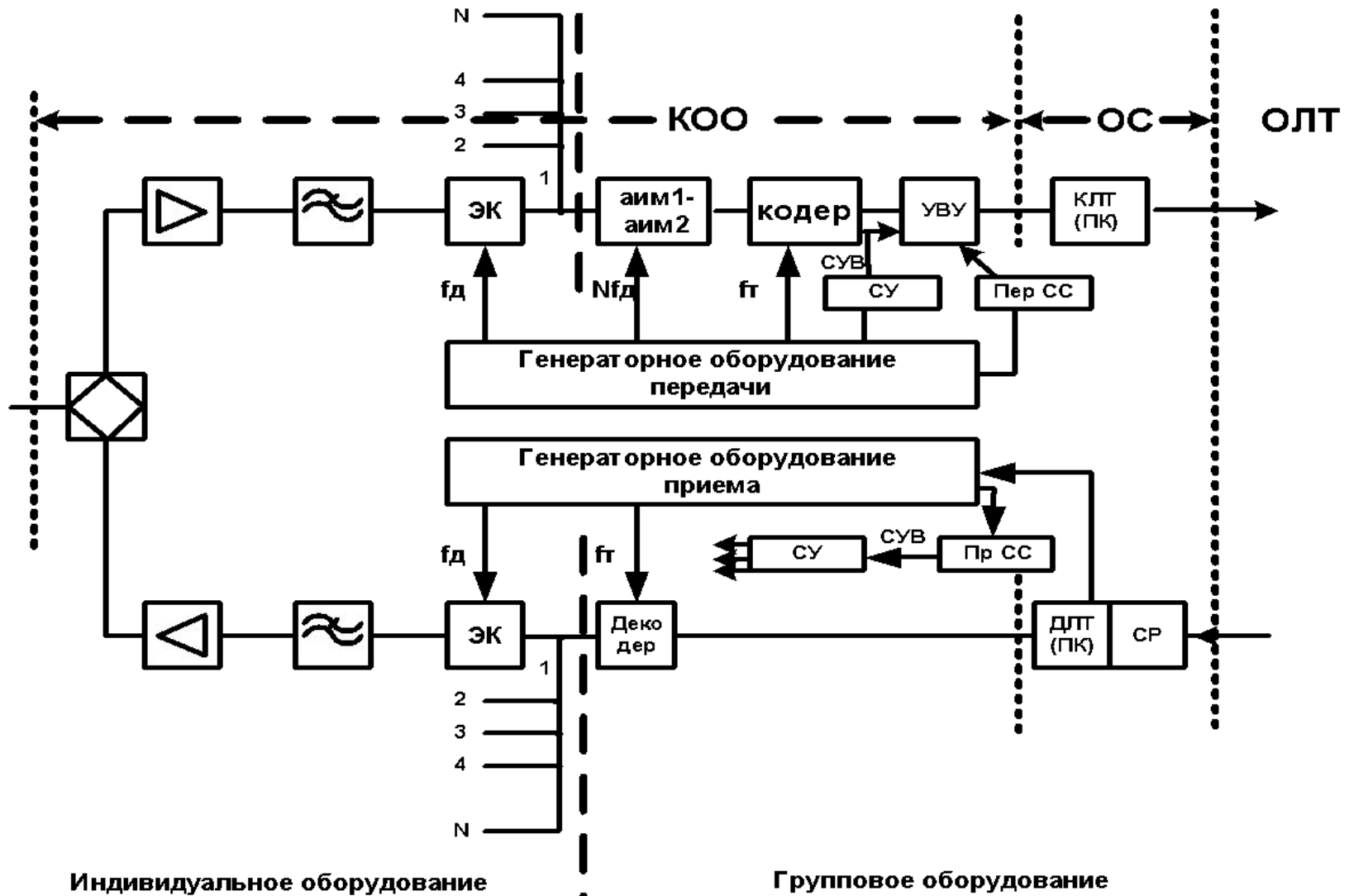




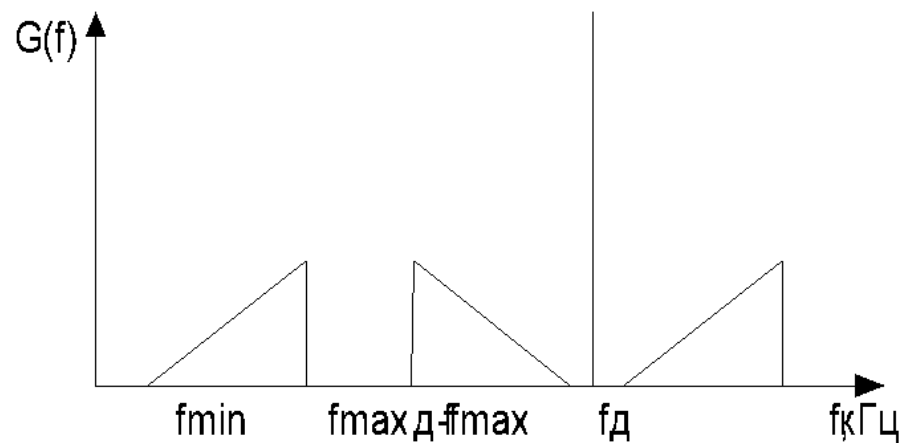
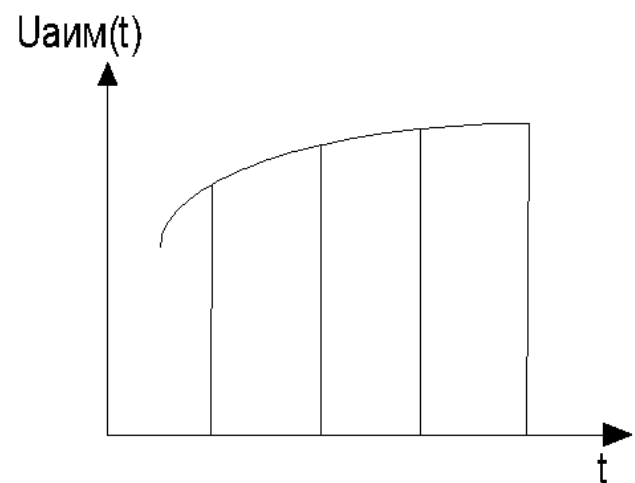
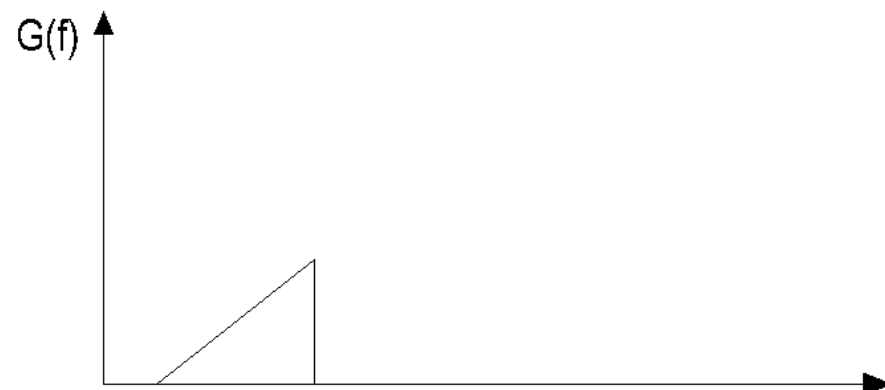
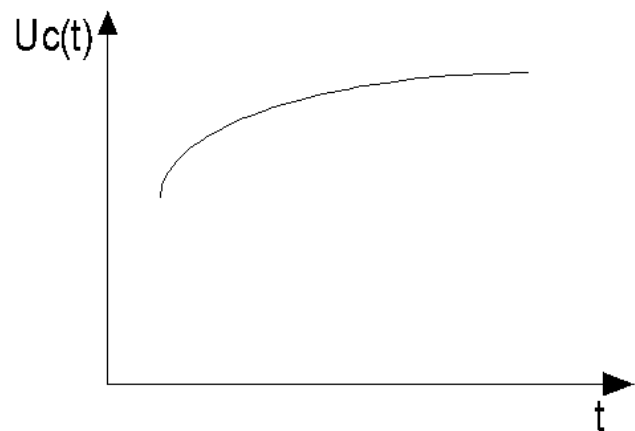
# Структурная схема двухволоконной многополосной однокабельной ВОСП



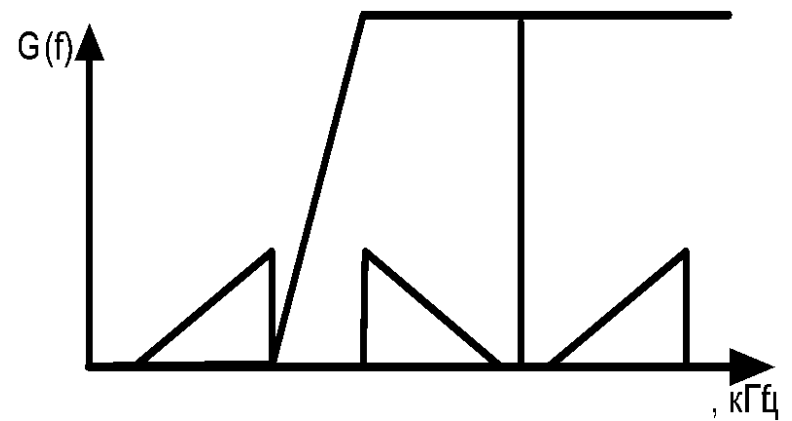
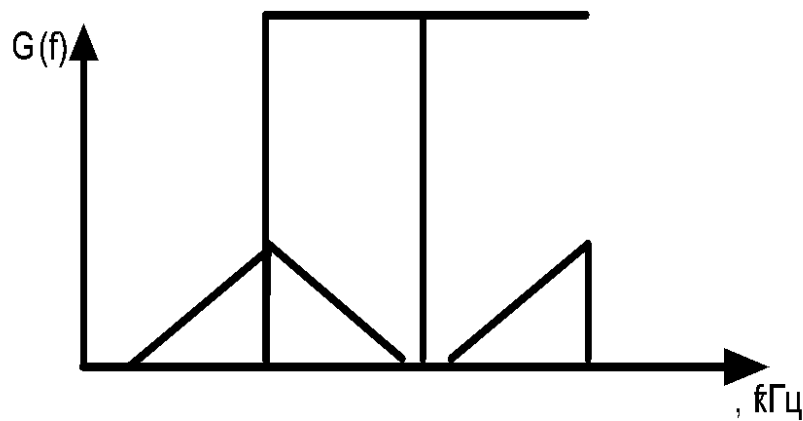
# Структурная схема КОО для первичного цифрового потока (2048 кБТ)



# Дискретизация по времени



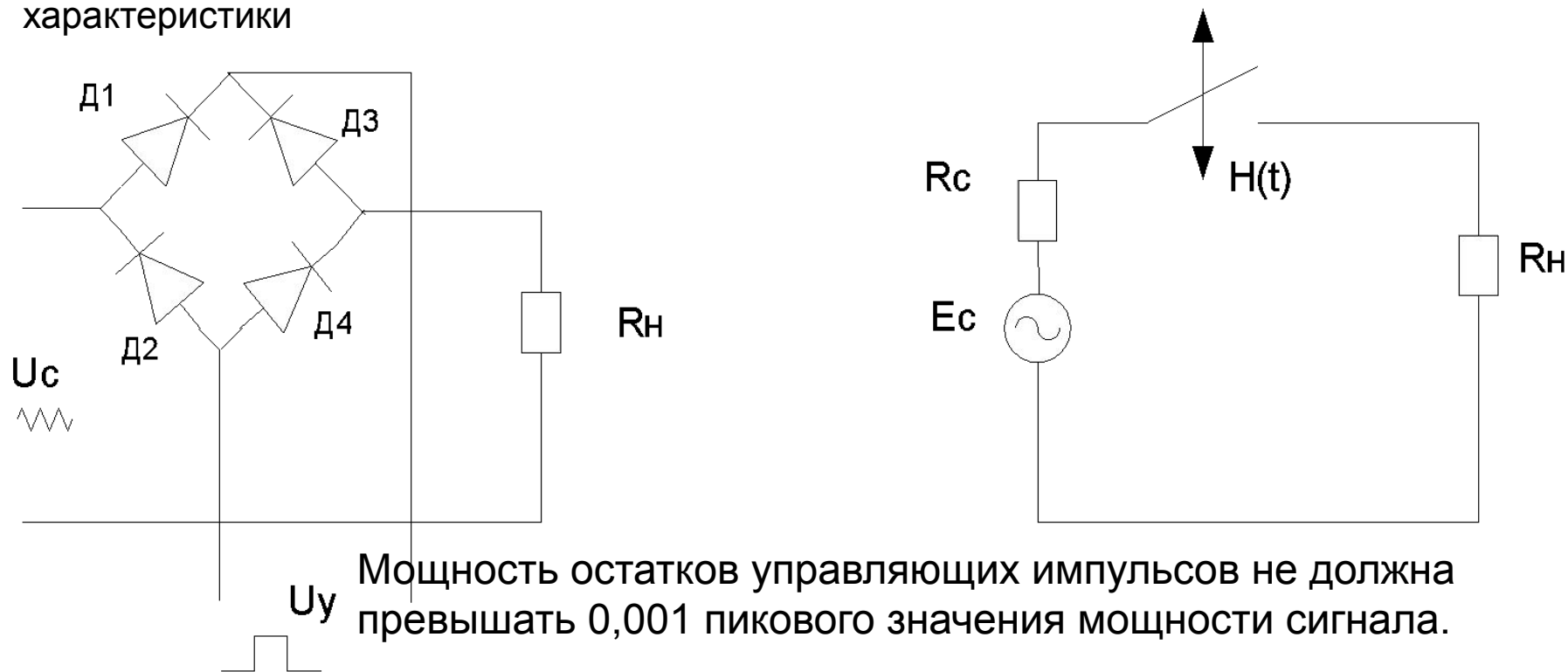
# Дискретизация по времени



# УЗЛЫ ОЦСП

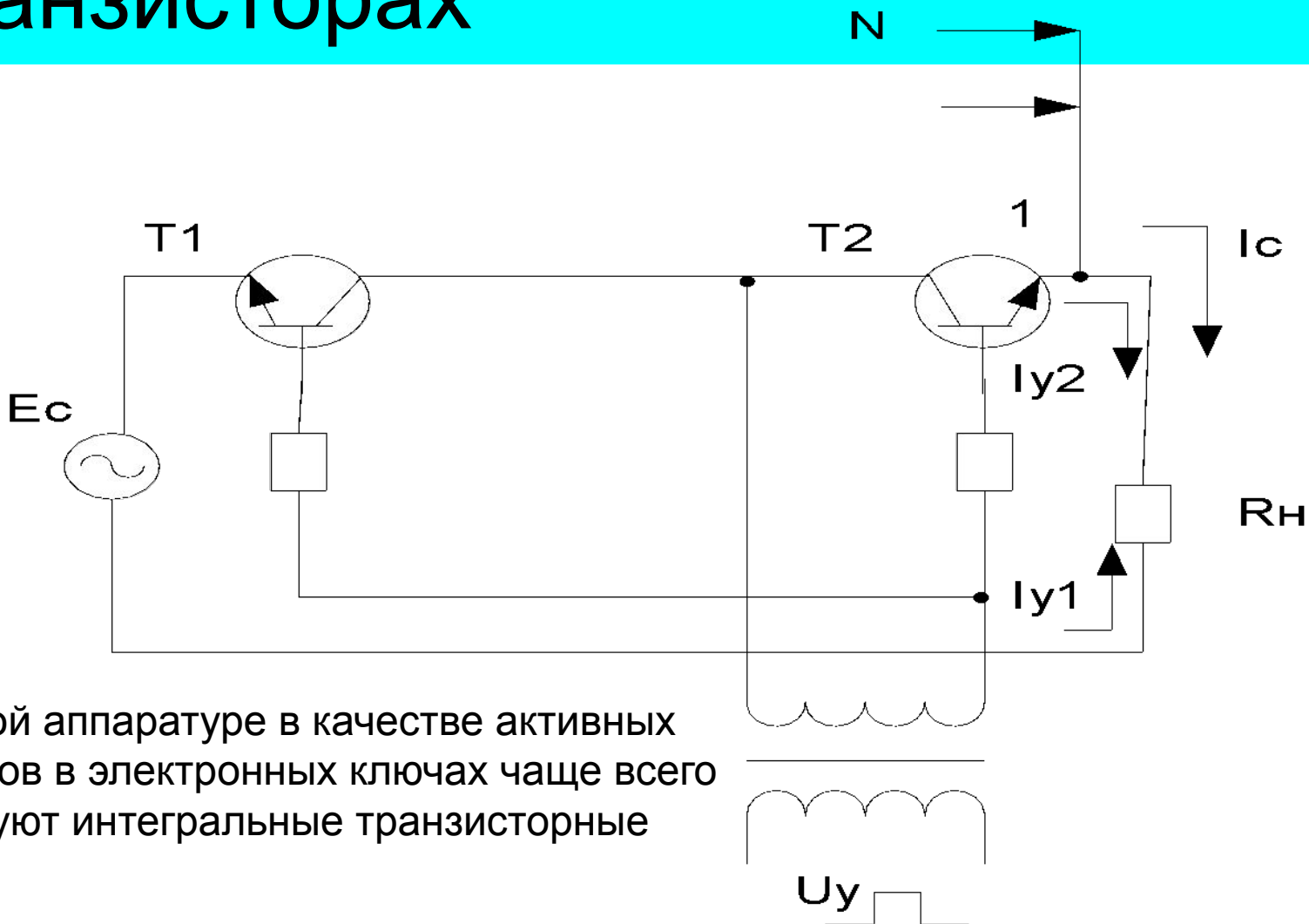
## Амплитудно-импульсные модуляторы и временные селекторы

требования по быстродействию и линейности амплитудной характеристики



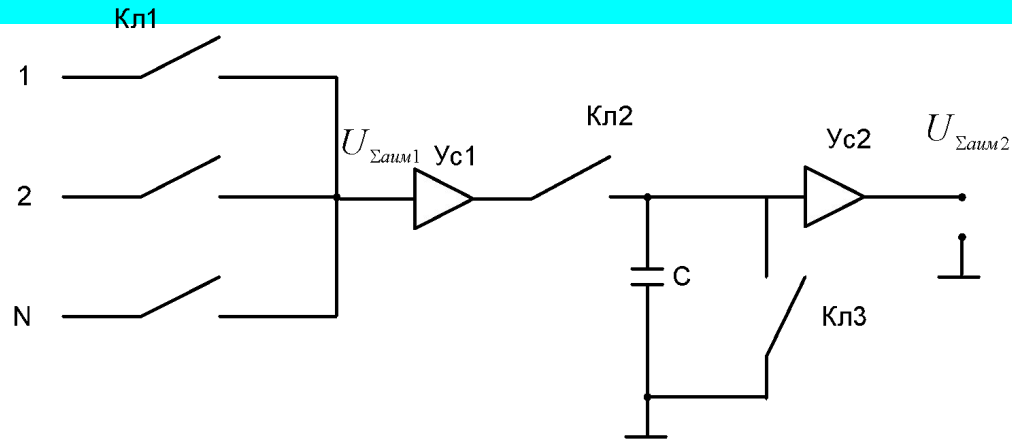
На практике используют интегральные сборки, в которых диоды выполнены на одном кристалле и обладают практически одинаковыми параметрами.

# Схема электронного ключа на транзисторах



В типовой аппаратуре в качестве активных элементов в электронных ключах чаще всего используют интегральные транзисторные сборки

# 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 ( $\tau_3$ ).

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).

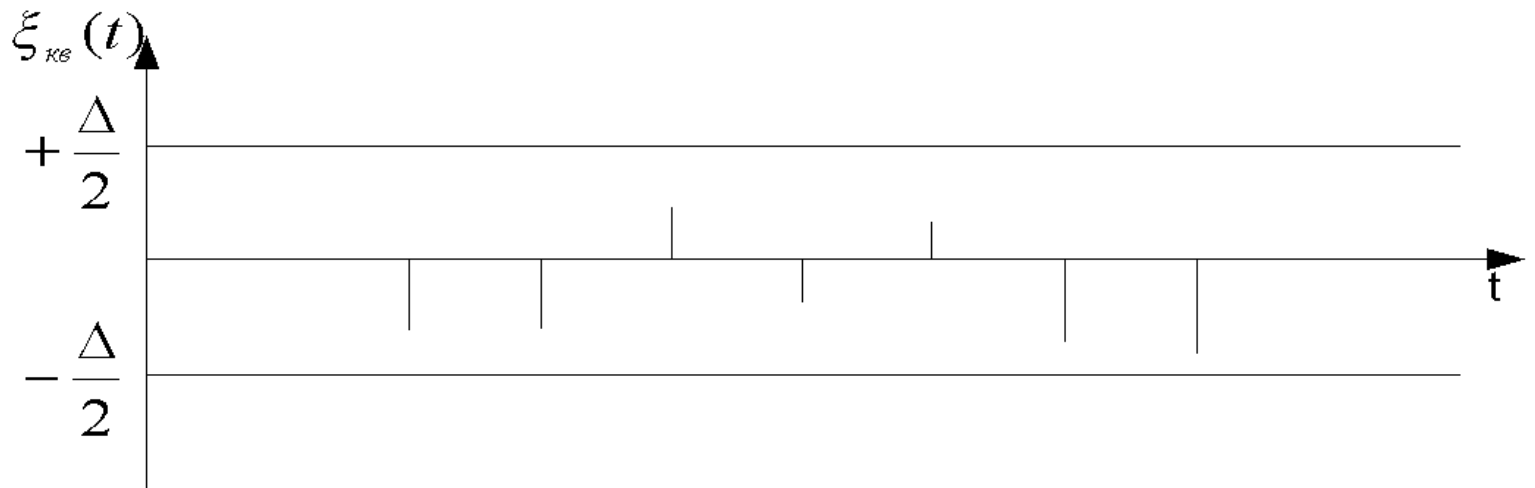
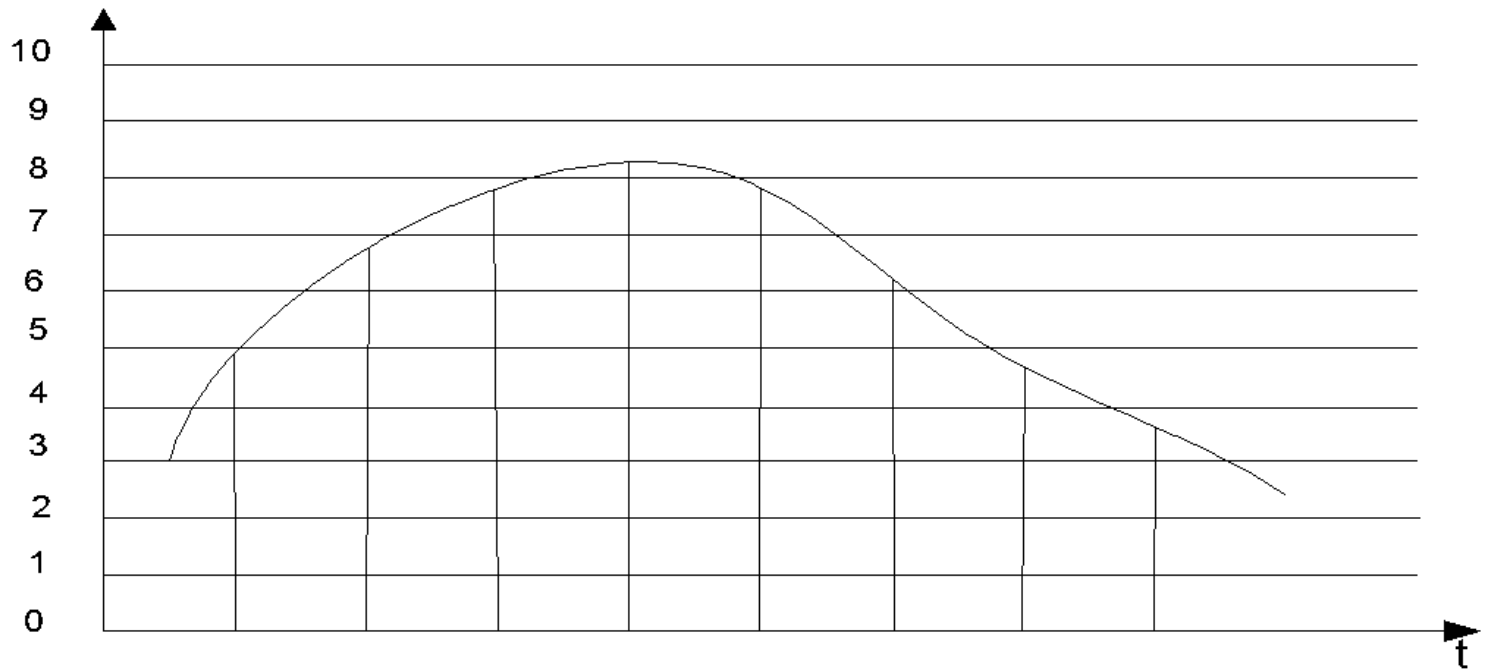
ИКМ сигнал образуется из непрерывного в 3 этапа:

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

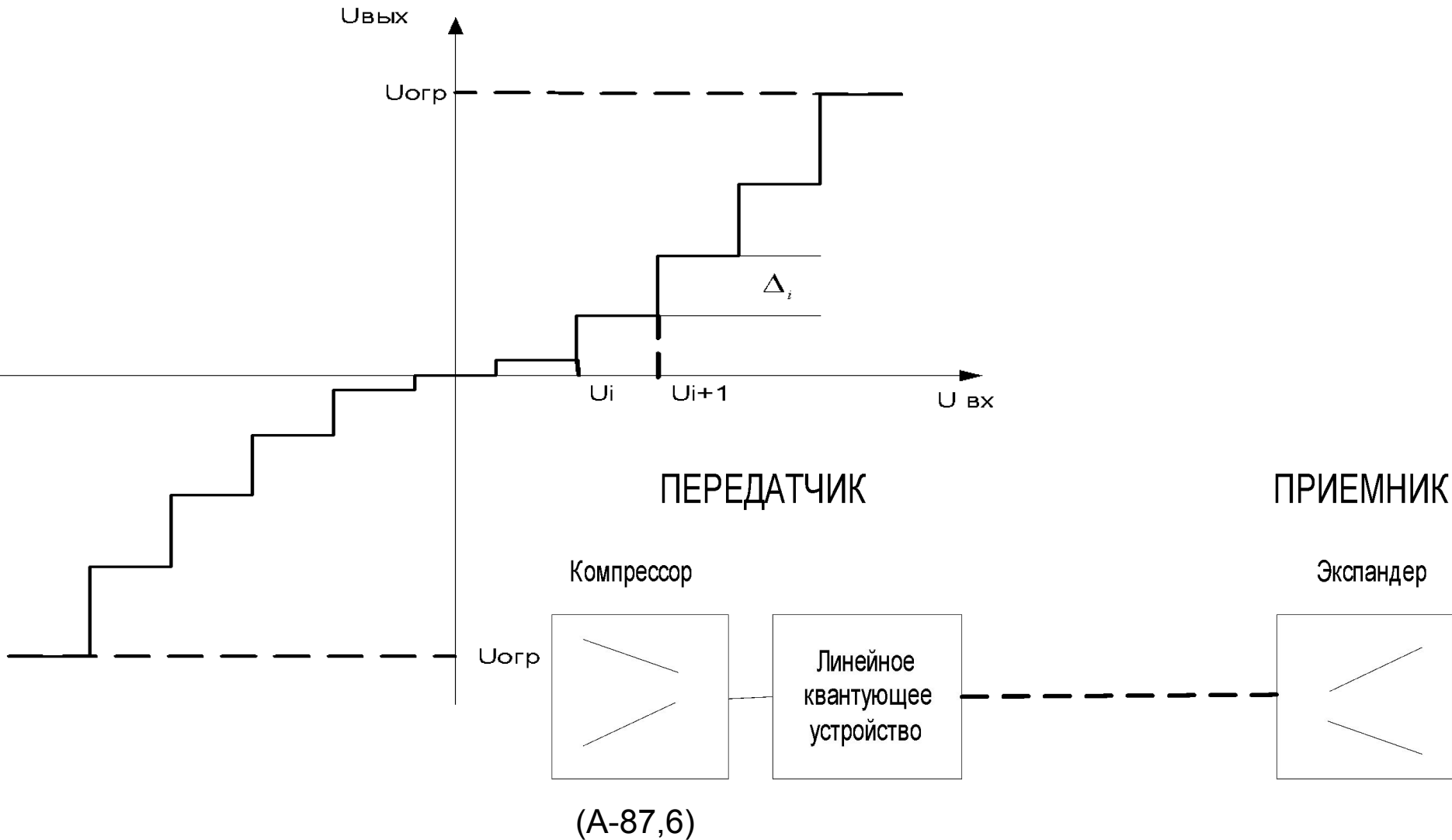
$$P_{шкв} = \frac{\Delta^2}{12}$$

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.

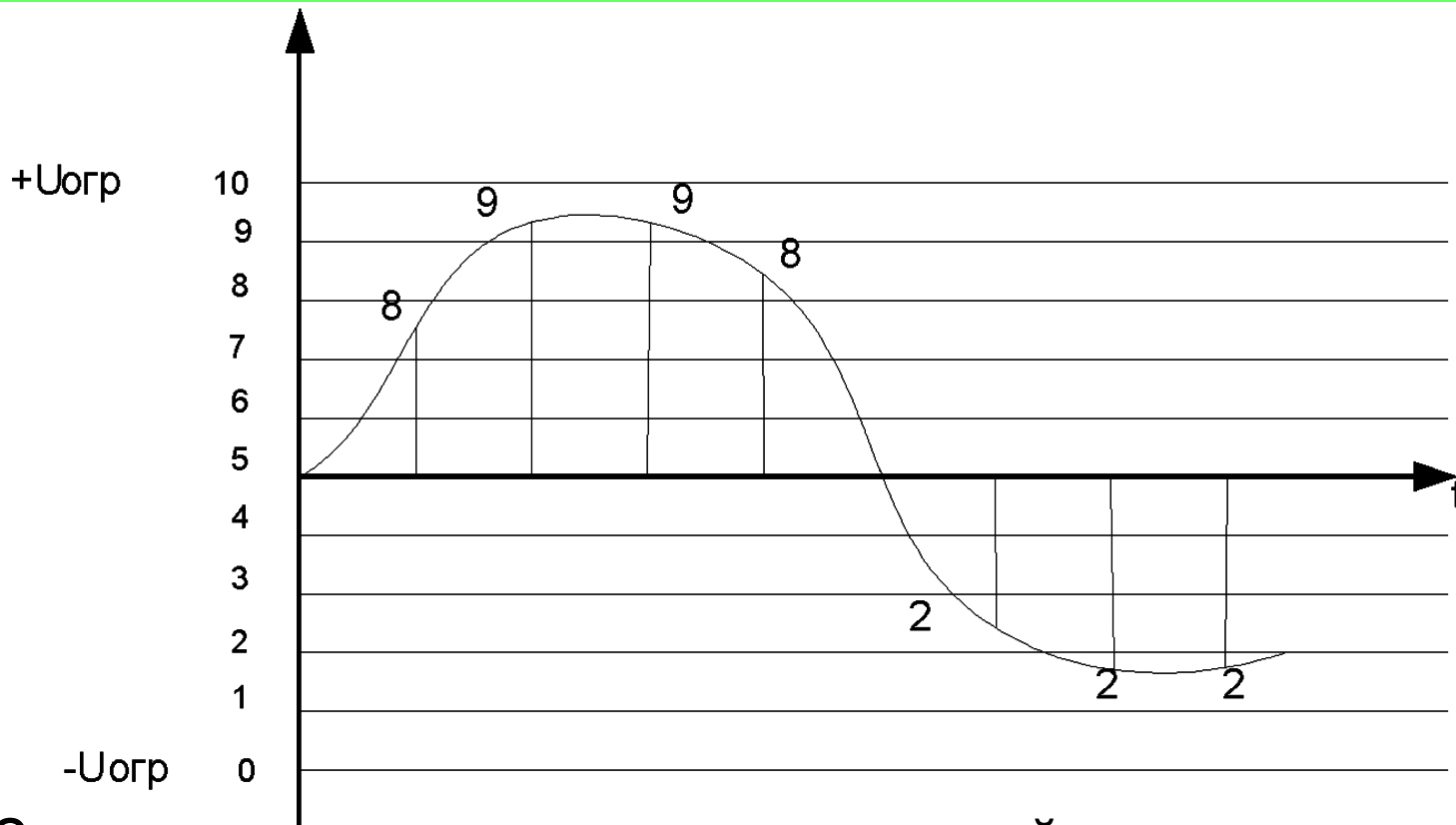
# Неравномерное квантование



# 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:

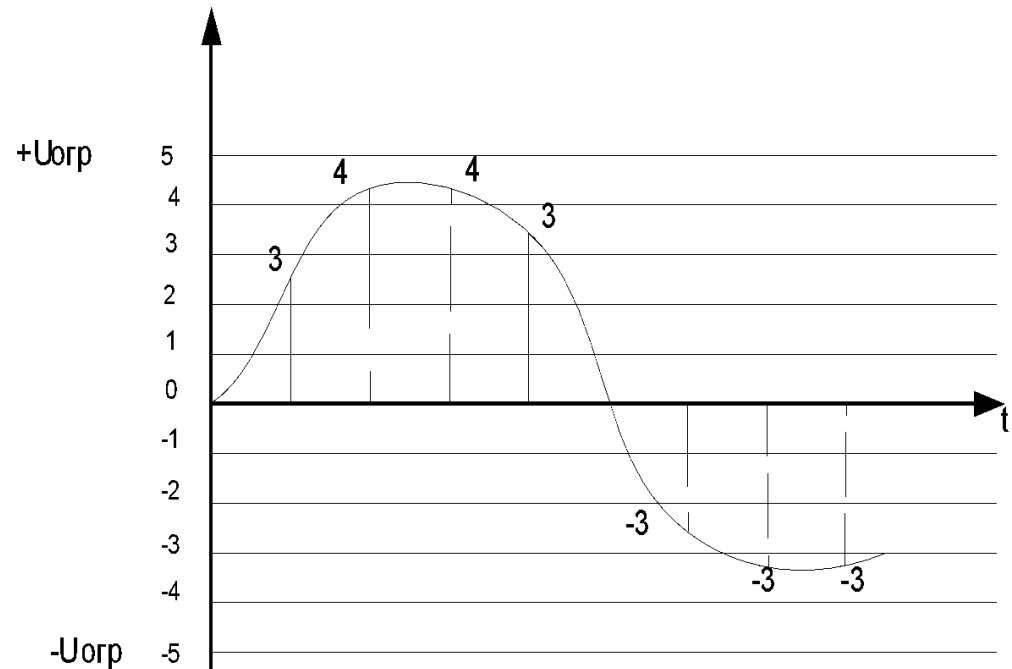
$$N = \sum_{i=1}^m a_i \cdot 2^{m-i}$$

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:

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



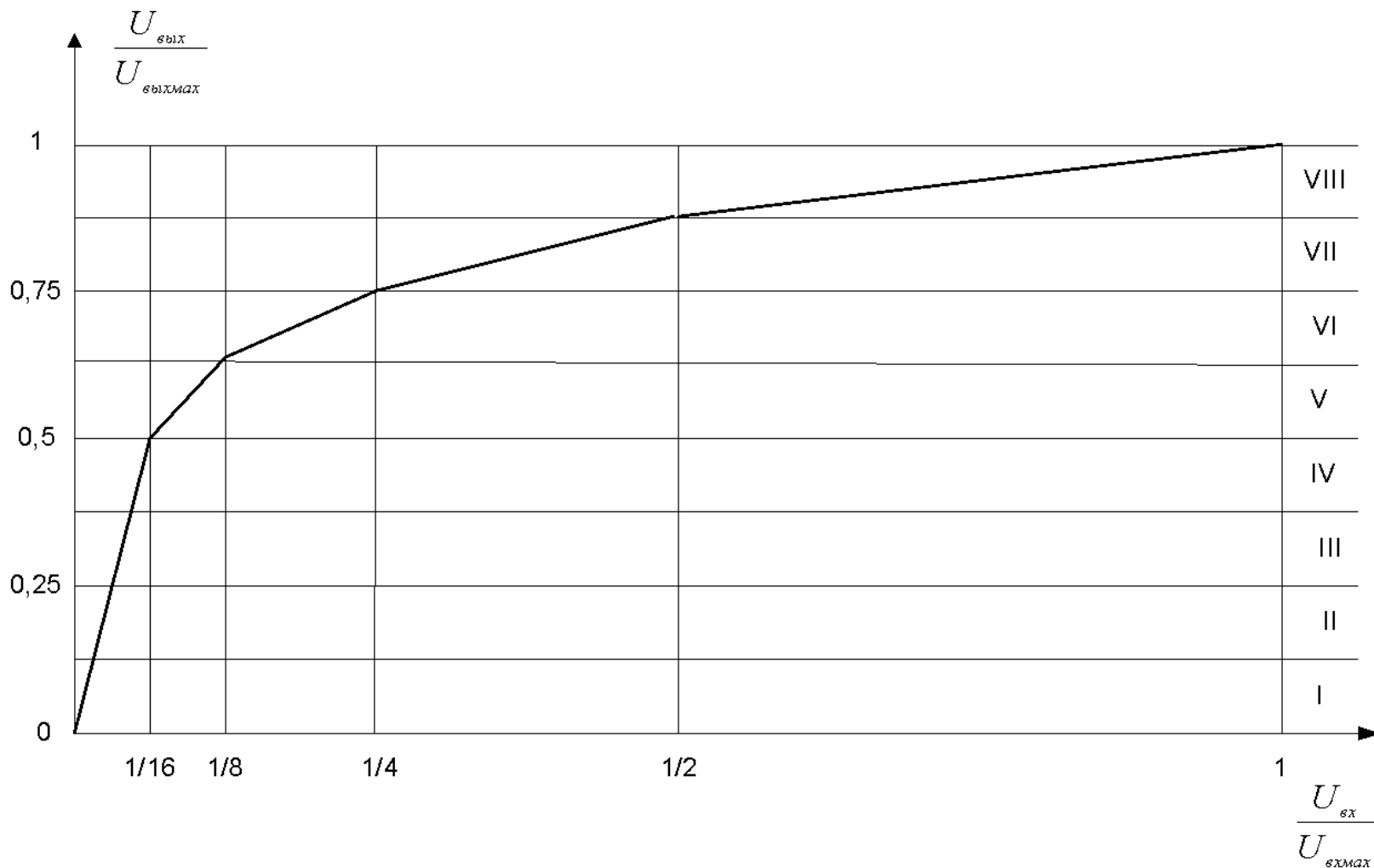
Для кодирования разнополярных импульсов старший разряд кодовой группы – знаковый (1- положительной полярности отсчетов, 0 – для отрицательной). Остальные разряды кодовой группы определяют номер уровня квантования, которого достиг сигнал в положительной или отрицательной области.

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


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

# 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                   | $\Delta$        | $\Delta, 2\Delta, 4\Delta, 8\Delta$                      | $0\Delta$                                    |
| II             | 1 | 001                   | $\Delta$        | $\Delta, 2\Delta, 4\Delta, 8\Delta$                      | $16\Delta$                                   |
| III            | 2 | 010                   | $\Delta$        | $2\Delta, 4\Delta, 8\Delta, 16\Delta$                    | $32\Delta$                                   |
| IV             | 3 | 011                   | $\Delta$        | $4\Delta, 8\Delta, 16\Delta, 32\Delta$                   | $64\Delta$                                   |
| V              | 4 | 100                   | $\Delta$        | $8\Delta, 16\Delta, 32\Delta, 64\Delta$                  | $128\Delta$                                  |
| VI             | 5 | 101                   | $\Delta$        | $16\Delta, 32\Delta, 64\Delta, 128\Delta$                | $256\Delta$                                  |
| VII            | 6 | 110                   | $\Delta$        | $32\Delta, 64\Delta, 128\Delta, 256\Delta$               | $512\Delta$                                  |
| VIII           | 7 | 111                   | $\Delta$        | $64\Delta, 128\Delta, 256\Delta, 512\Delta$              | $1024\Delta$                                 |

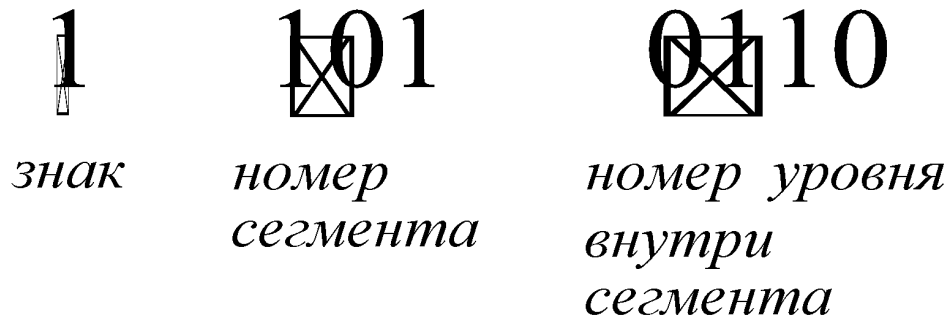
Из таблицы видно, что для формирования всех уровней квантования достаточно иметь 11 эталонов ( $\Delta, 2\Delta, 4\Delta, 8\Delta, 16\Delta, 32\Delta, 64\Delta, 128\Delta, 256\Delta, 512\Delta, 1024\Delta$ ). При кодировании в пределах одного сегмента требуется всего 5 эталонов:

- 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  $16\Delta$ ,  **$32\Delta$** ,  **$64\Delta$** ,  $128\Delta$ .  $96=32+64$ . Следовательно, 5-й, 6-й, 7-й, 8-й разряды 0110.

Таким образом, полученная кодовая комбинация:



# Схема нелинейного кодера

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

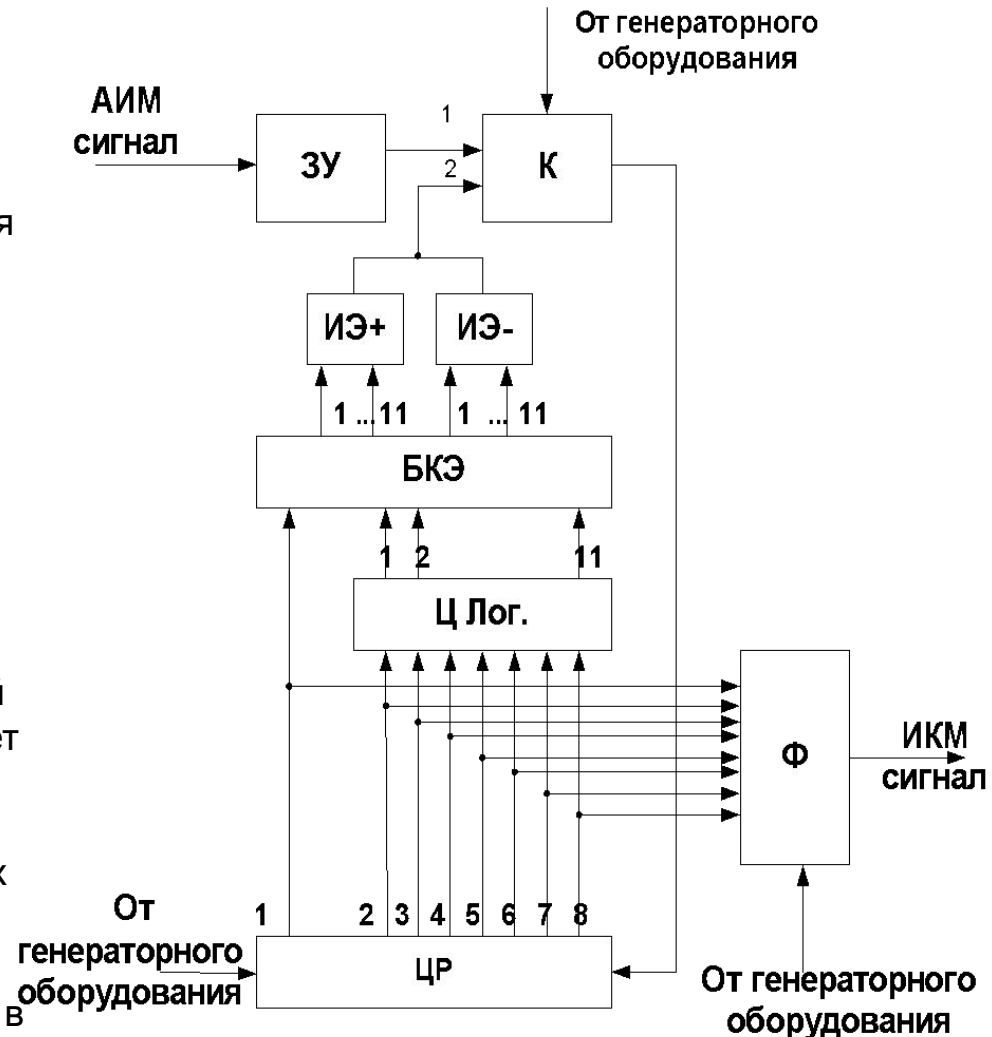
- **К** – компаратор. Определяет полярность отсчета и знак разности между амплитудой кодируемого отсчета и суммой эталонных напряжений. В зависимости от знака этой разности на выходе компаратора формируется «0» ( $U_c > U_{эт}$ ), или «1» ( $U_c < U_{эт}$ ).

- **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.

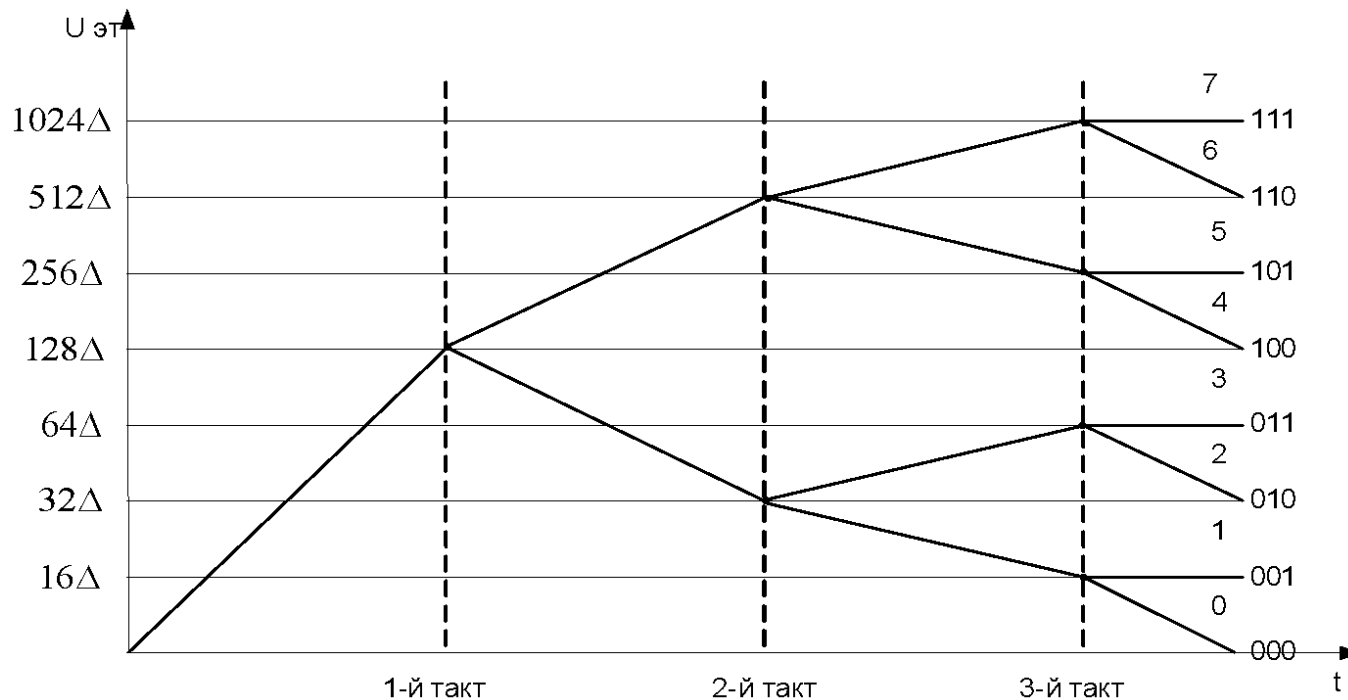


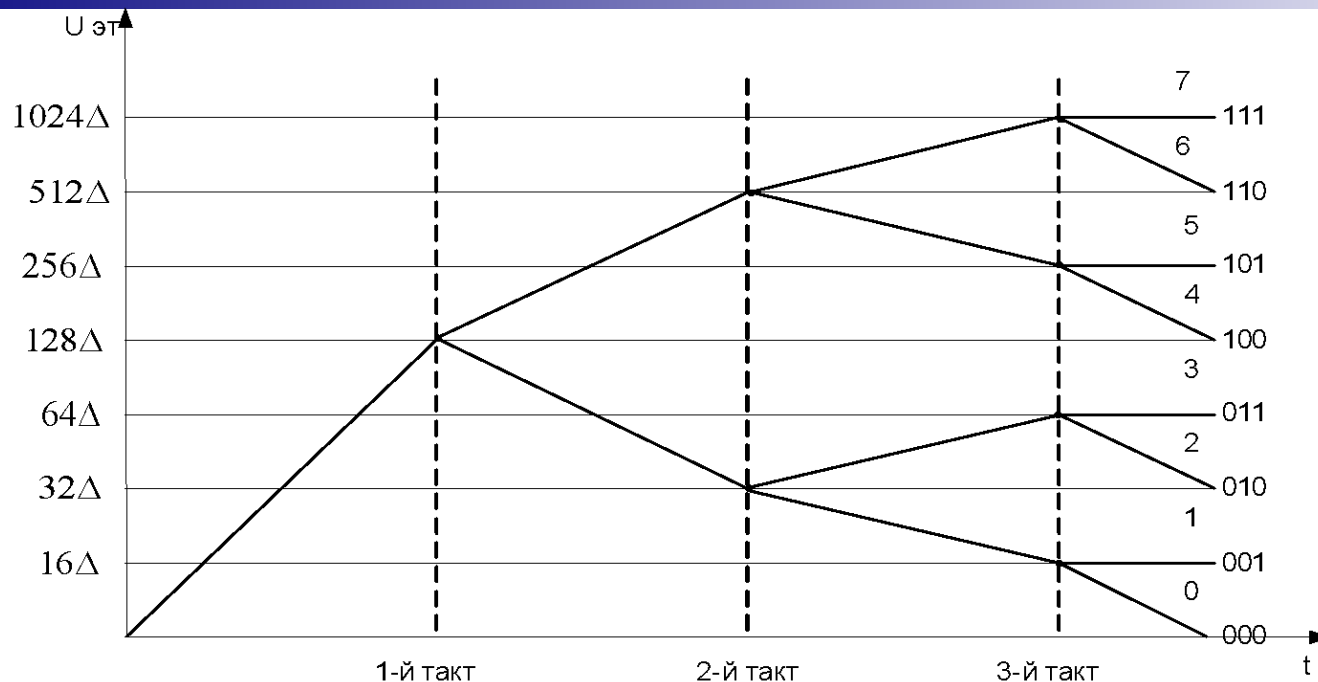
## ПРИМЕР.

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 ( $128\Delta$ ). 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 ( $512\Delta$ ); если же «0» - то с нижней границей второго сегмента ( $32\Delta$ ). Далее аналогично – с нижней границей седьмого сегмента ( $1024\Delta$ ) или пятого ( $256\Delta$ ); либо с нижней границей третьего сегмента ( $64\Delta$ ) или первого ( $16\Delta$ ).

В нашем случае:

$352 > 128 \rightarrow \text{«1»}$

$352 < 512 \rightarrow \text{«0»}$

$352 > 256 \rightarrow \text{«1»}$

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  $128\Delta$ ,  $64\Delta$ ,  $32\Delta$ ,  $16\Delta$ , 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  $128\Delta$  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  $16\Delta$  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.



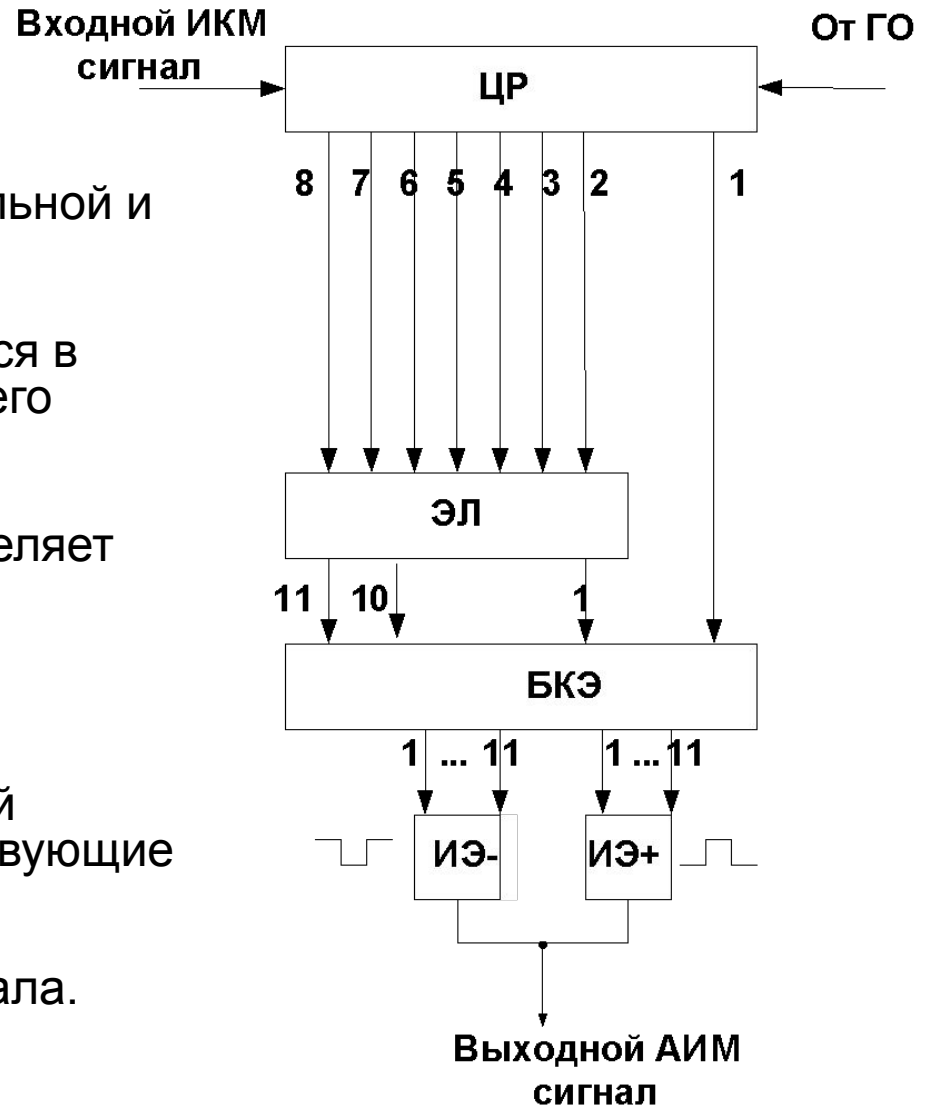
# Нелинейный декодер взвешивающего типа с цифровым экспандированием эталонов

- 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

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)

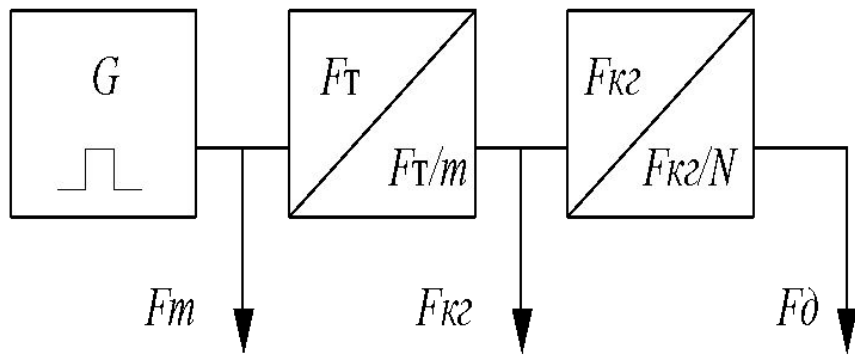
$$F_{к.г} = 1/T_{ку} = F_{\partial} N_{ку} = F_m / m;$$

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

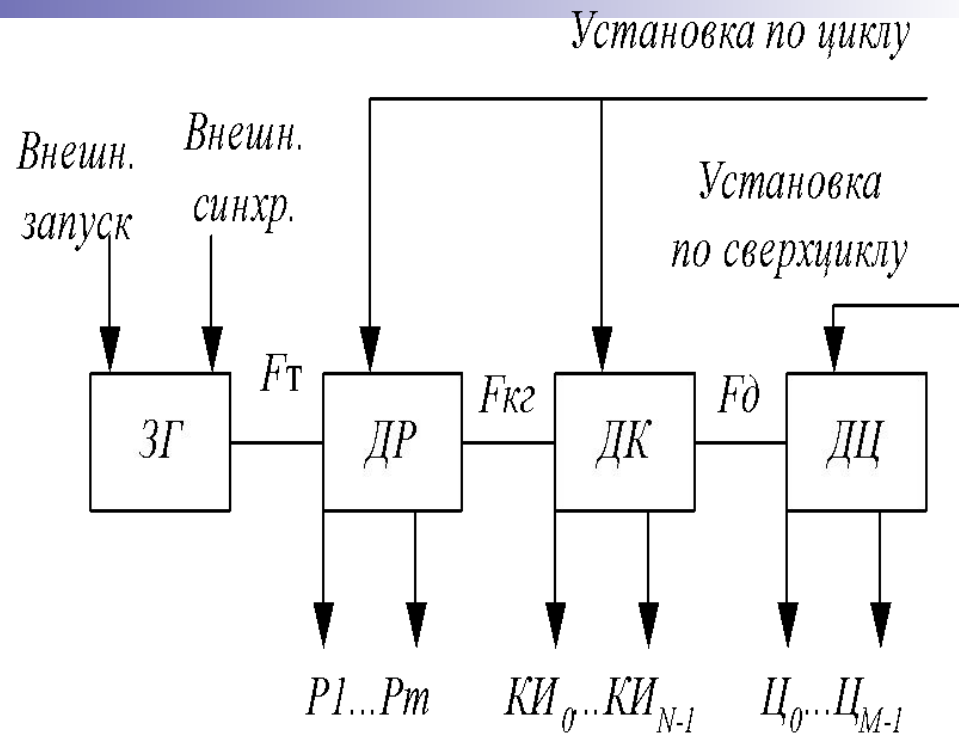
Таким образом, получить необходимые импульсные последовательности можно путем деления тактовой частоты, получаемой от высокостабильного задающего генератора ЗГ

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.



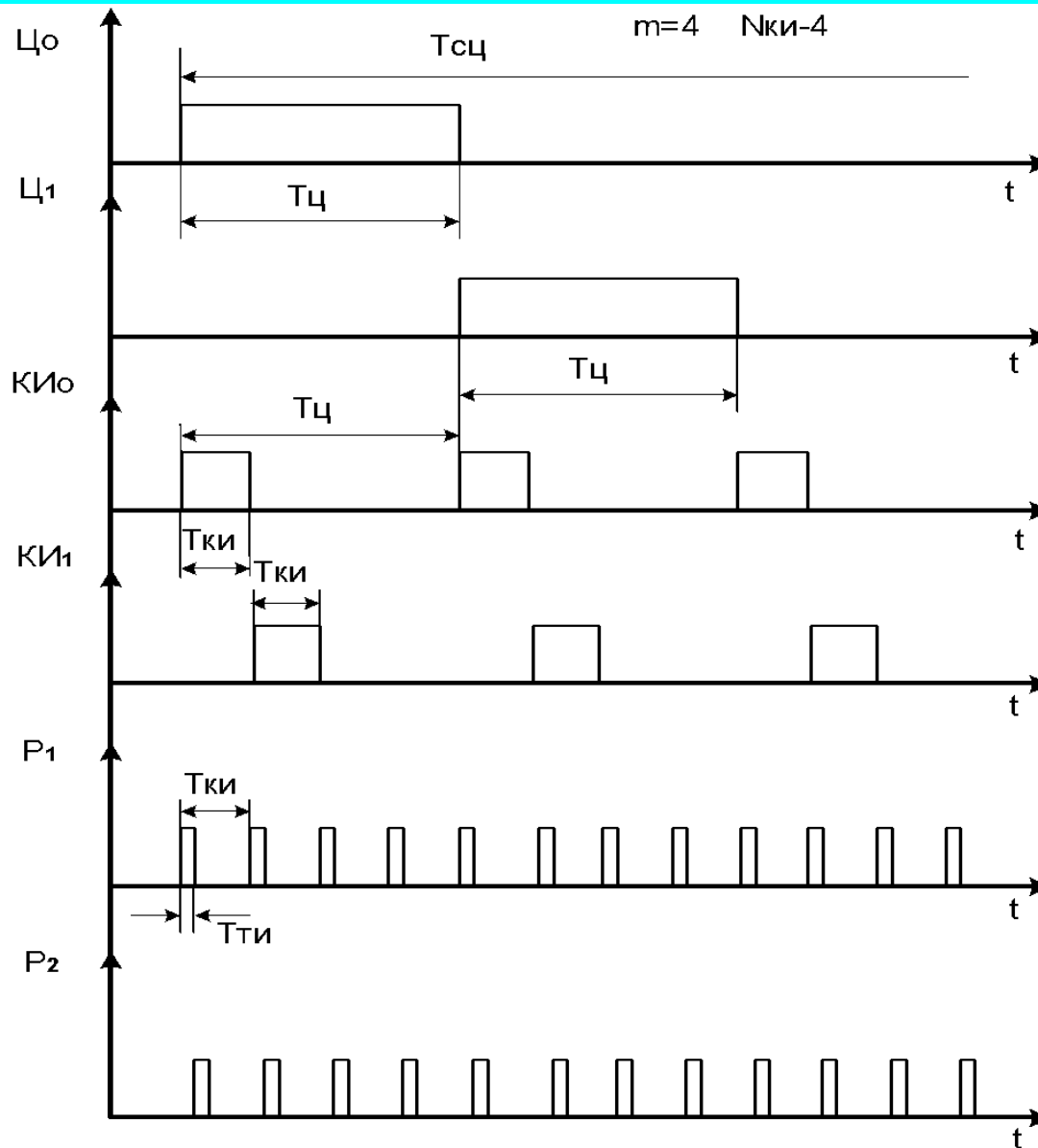
Структурная схема генераторного оборудования



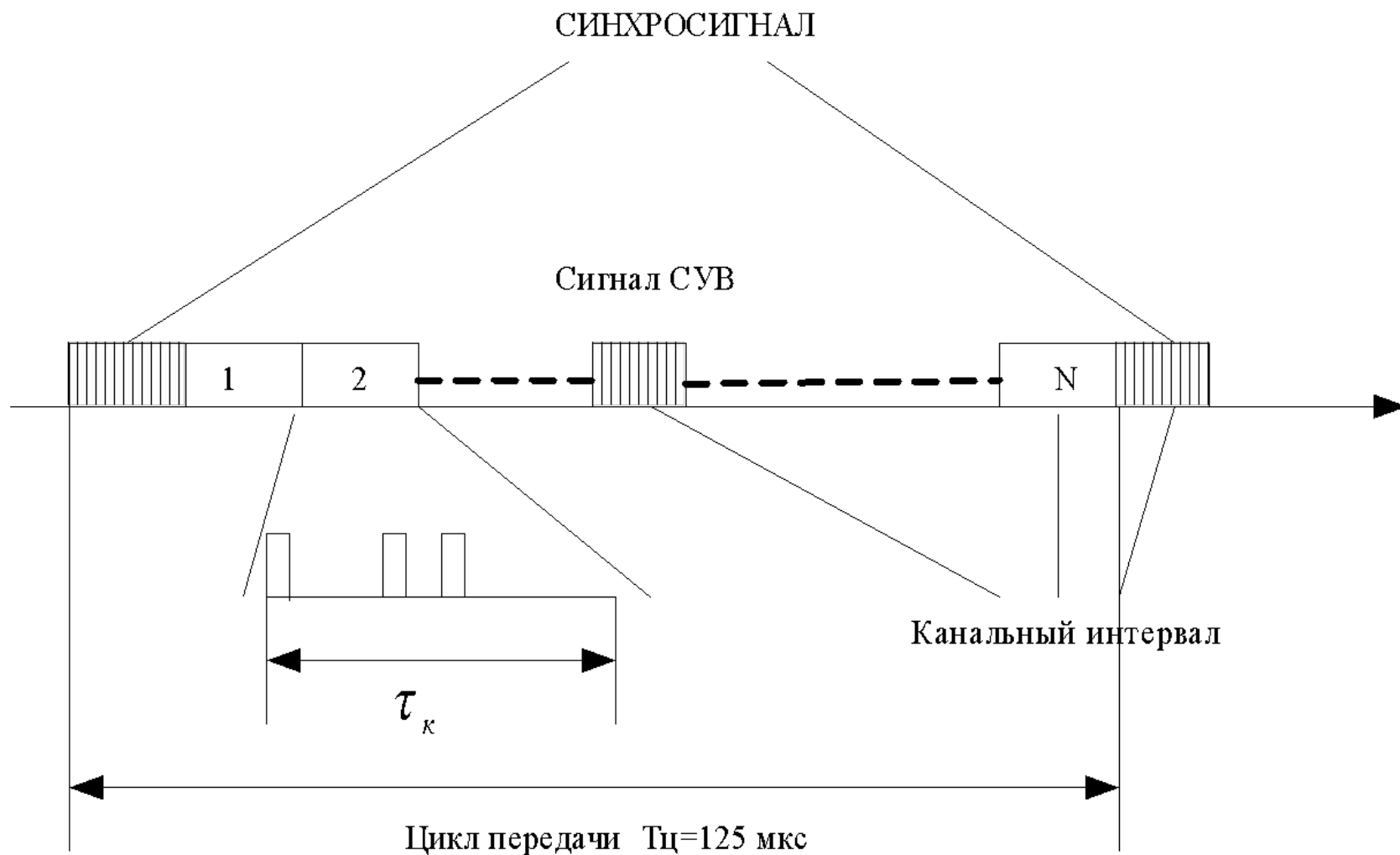
Структурная схема ГО передачи

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



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

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 КИ0** 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 КИ0 нечетных циклов не регламентируются и их занимают символами «1».

Позиция **P1** в КИ0 и в четных и в нечетных циклах используется для передачи дискретной информации со скоростью 8 кбод.

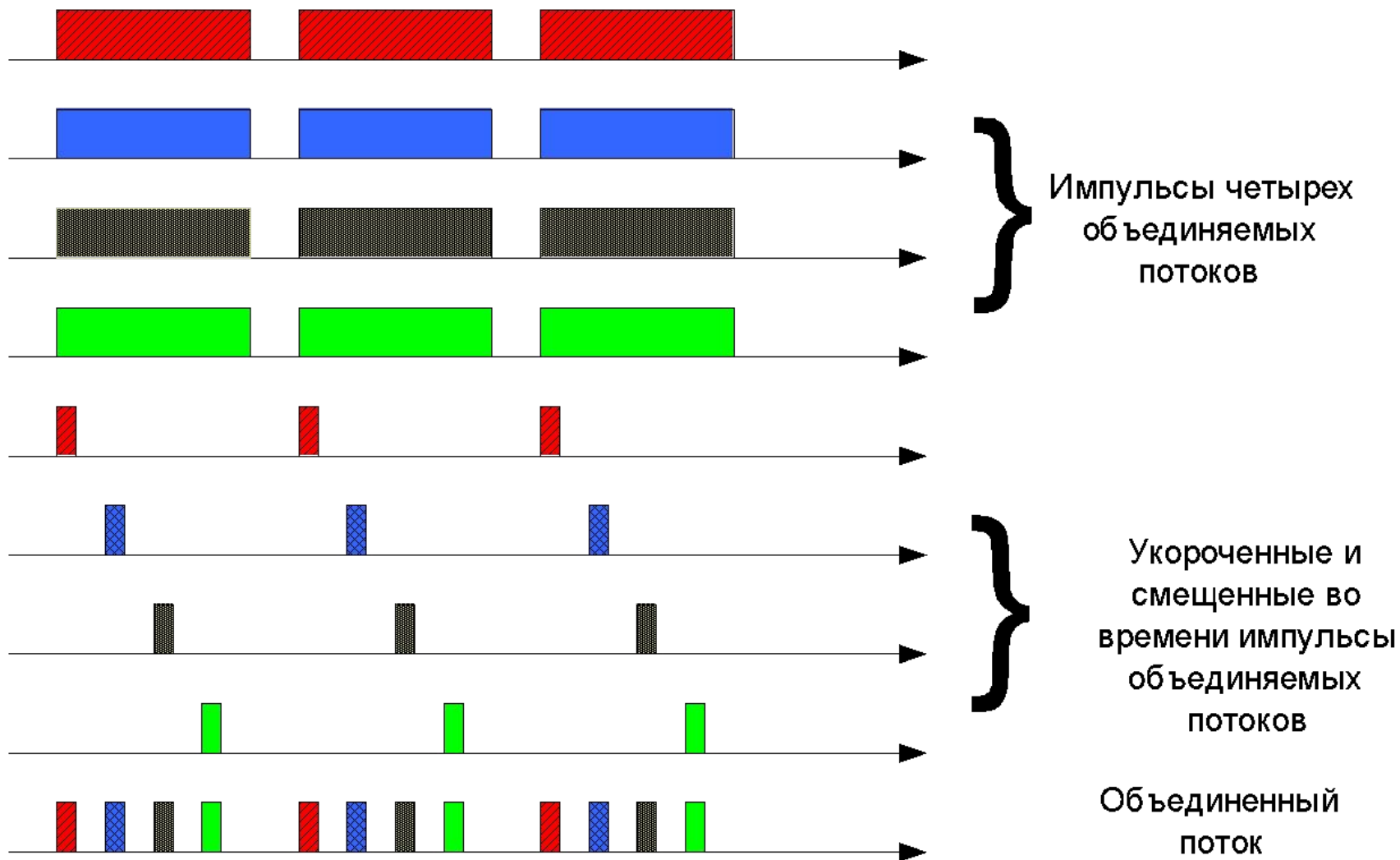


# Принцип временного объединения потоков

- 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



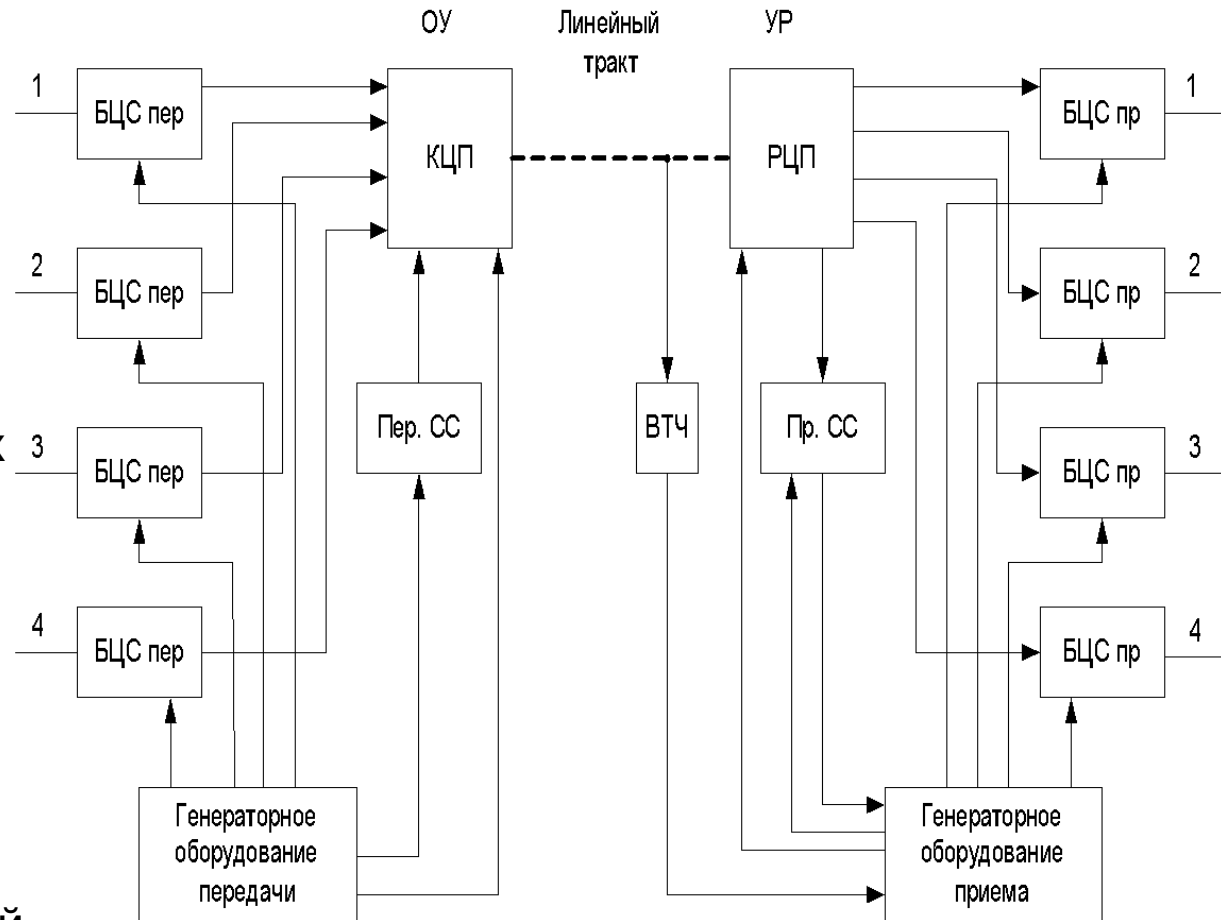
# Принцип временного объединения потоков

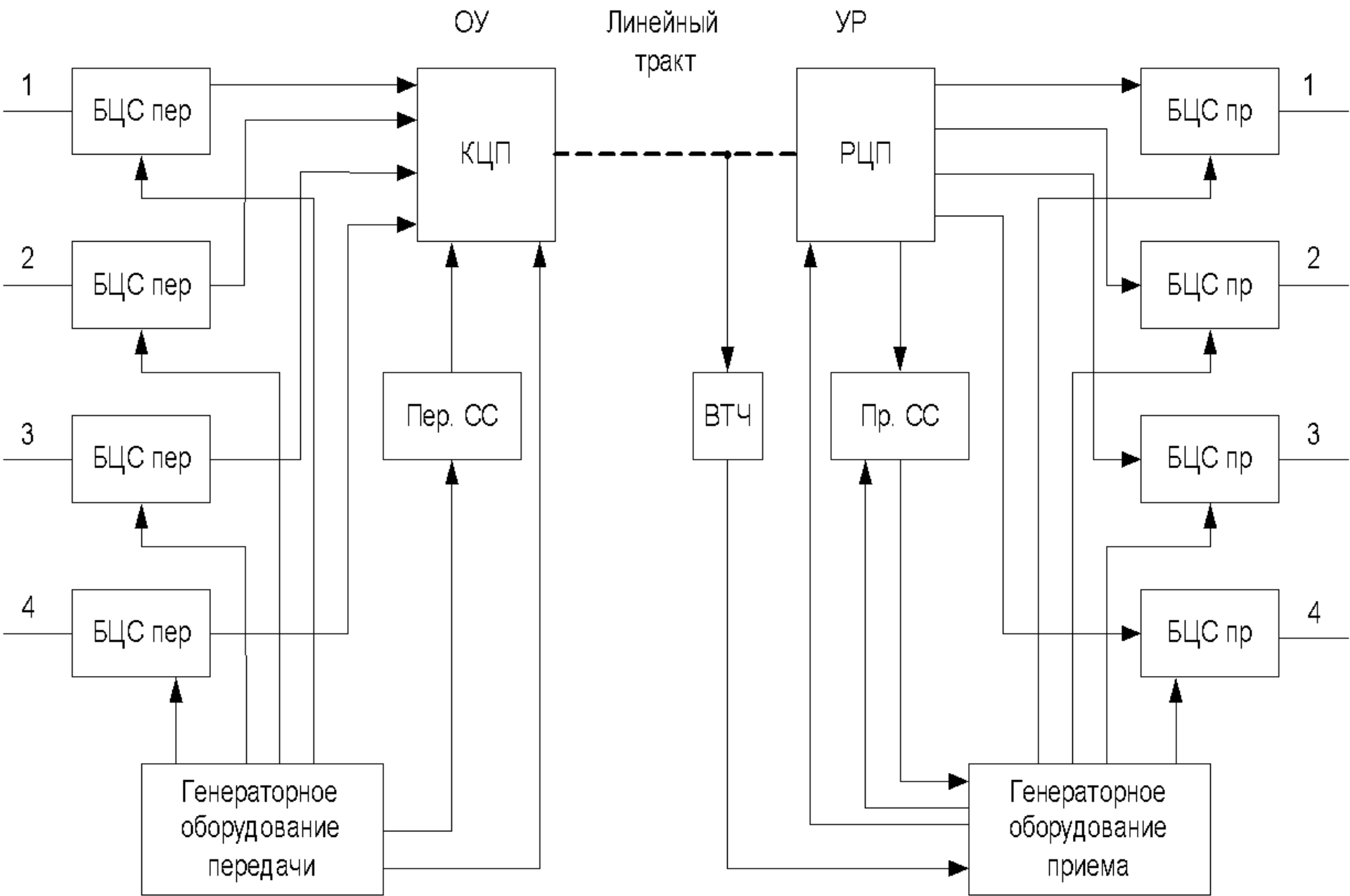
- **БЦСпер** и **БЦСпр** – блоки цифрового сопряжения тракта передачи и приема. БЦСпер укорачивает и распределяет во времени импульсы каждой из объединяемых систем.

- **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.

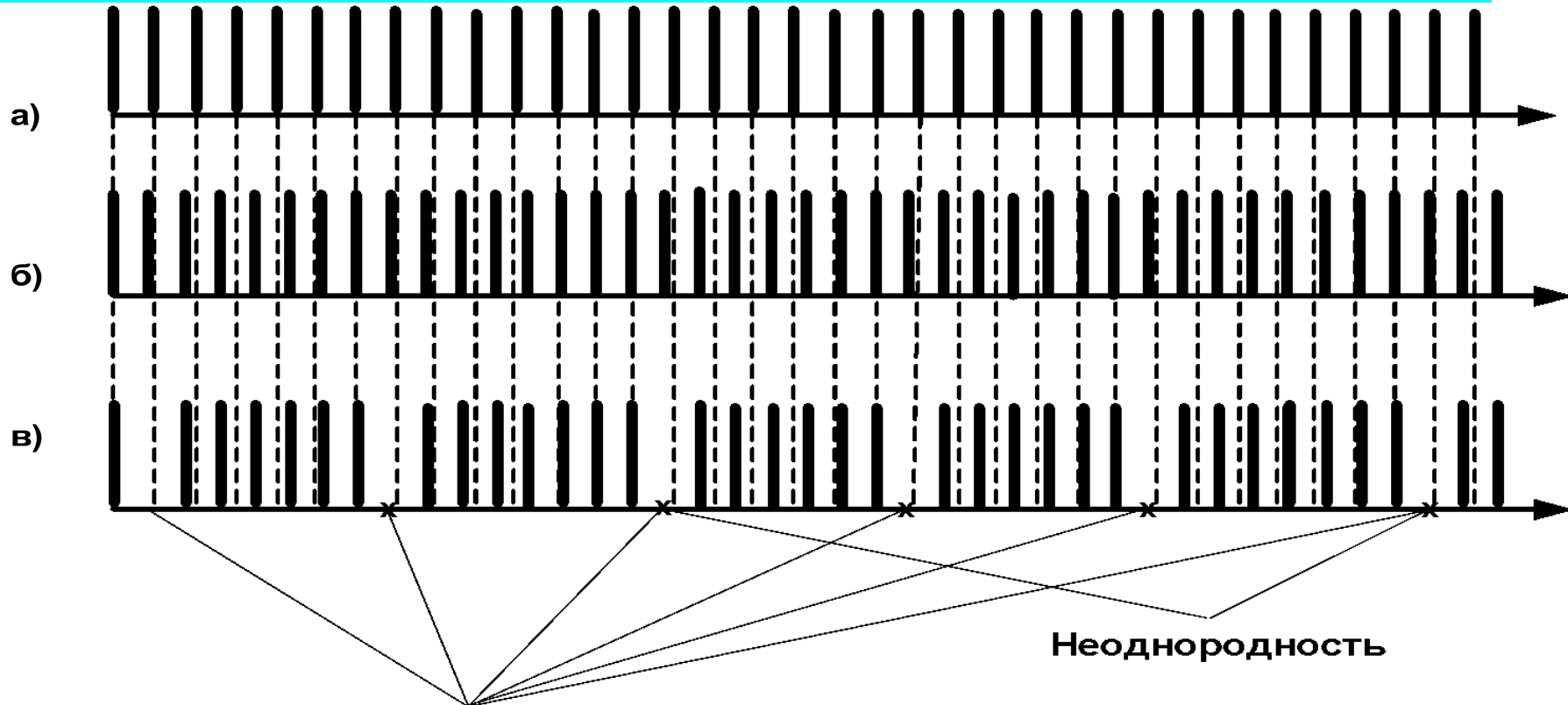
При  $f_{сч} > f_z$  наступают моменты, когда ячейки памяти будут свободны от информационных импульсов и появятся нулевые символы, которые называются *временными сдвигами*. В таком случае производится положительное согласование скоростей: в считанную последовательность вводится дополнительный балластный 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

# Синхронизация в ЦСП

## Тактовая синхронизация

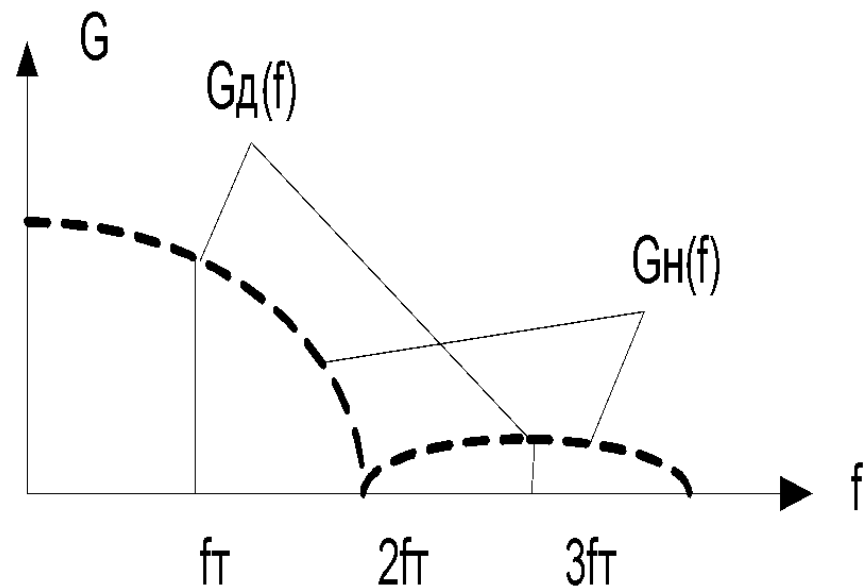
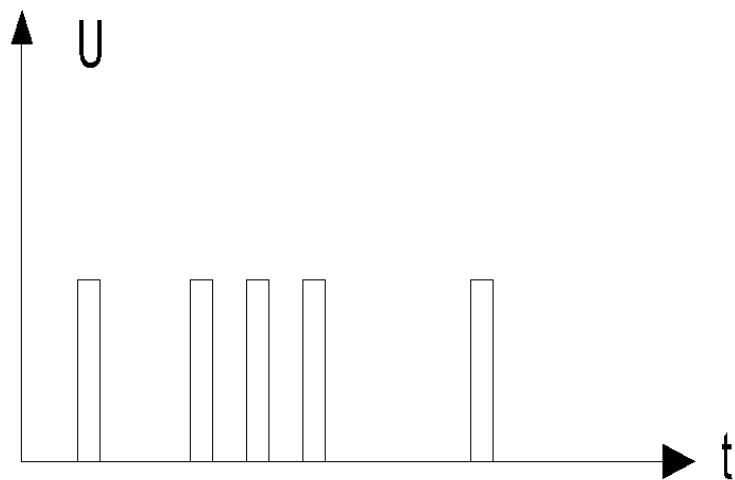
К устройствам тактовой синхронизации предъявляются следующие требования:

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:

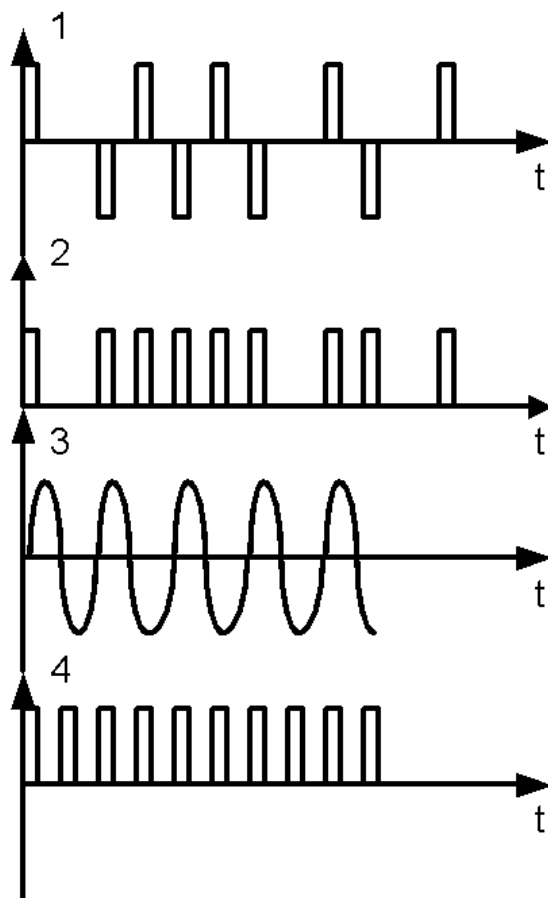
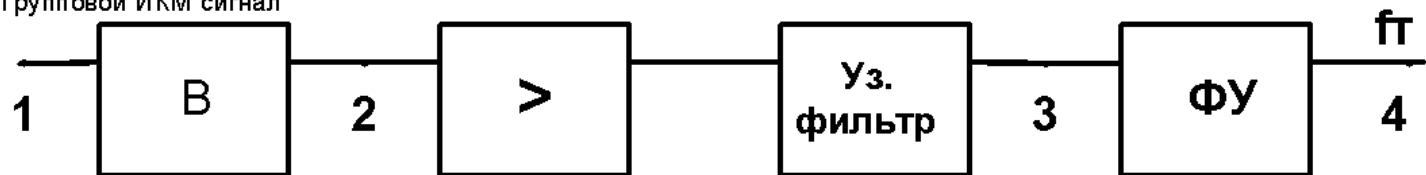
- Синхронизация по *специальному синхросигналу*. При этом усложняется оборудование линейного тракта и ГО, точность установки синхронизма будет зависеть от нелинейных искажений и неравномерности частотной характеристики линейного тракта. Снижается пропускная способность системы передачи.
- Подстройка 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:*

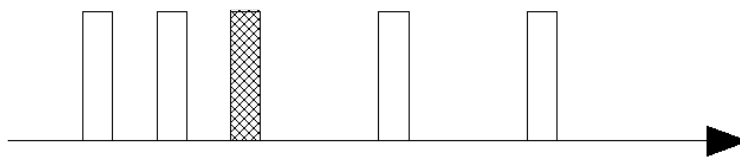
1. Его периодичность, или повторяемость на одних и тех же позициях через каждый период передачи синхросигнала.
2. Постоянство структуры кодовой комбинации.

По числу разрядов синхросигнал различают:

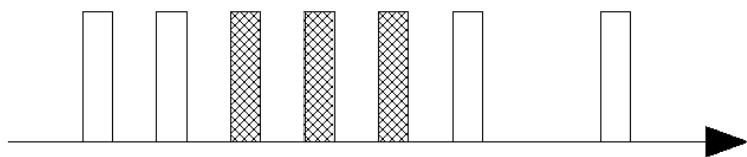
- *одноразрядный*;
- *многоразрядный*.

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

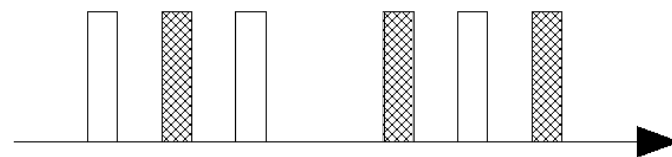
Одноразрядный  
синхросигнал



Многоразрядный  
сосредоточенный  
синхросигнал



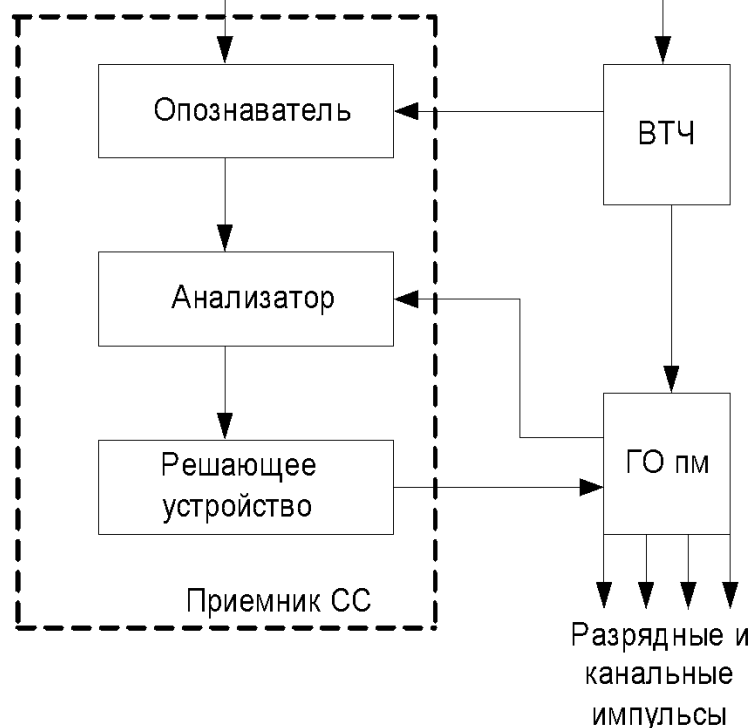
Многоразрядный  
распределенный  
синхросигнал



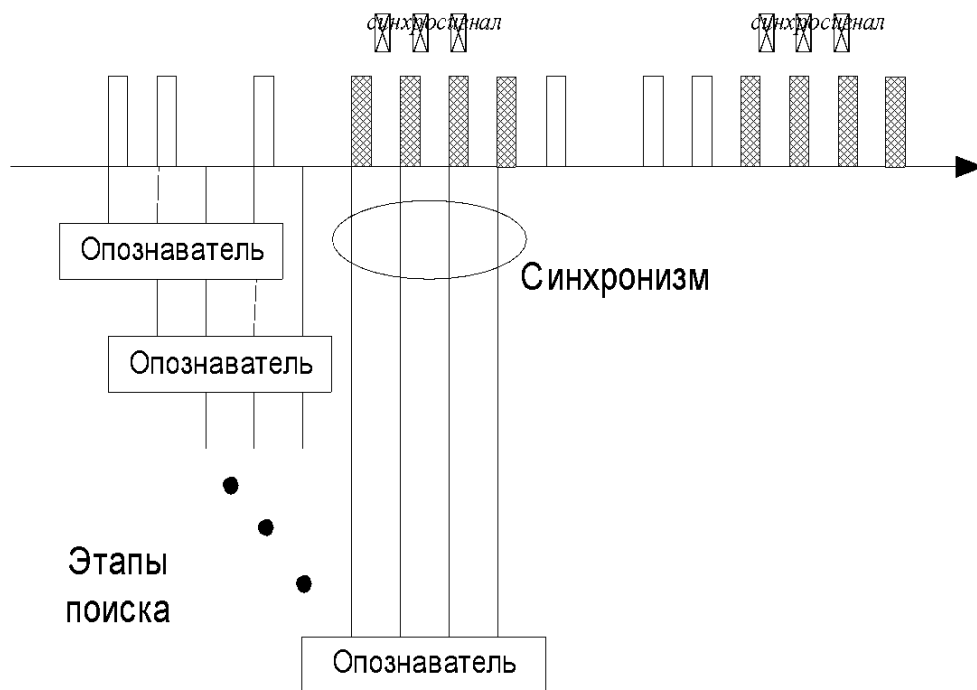
*Кодовая комбинация синхросигнала должна выбираться такой, чтобы вероятность ее появления при передаче информационных символов была наименьшей.*

Групповой ИКМ сигнал

К декодеру



Алгоритм нахождения синхросигнала  
скользящим поиском и одноразрядным сдвигом



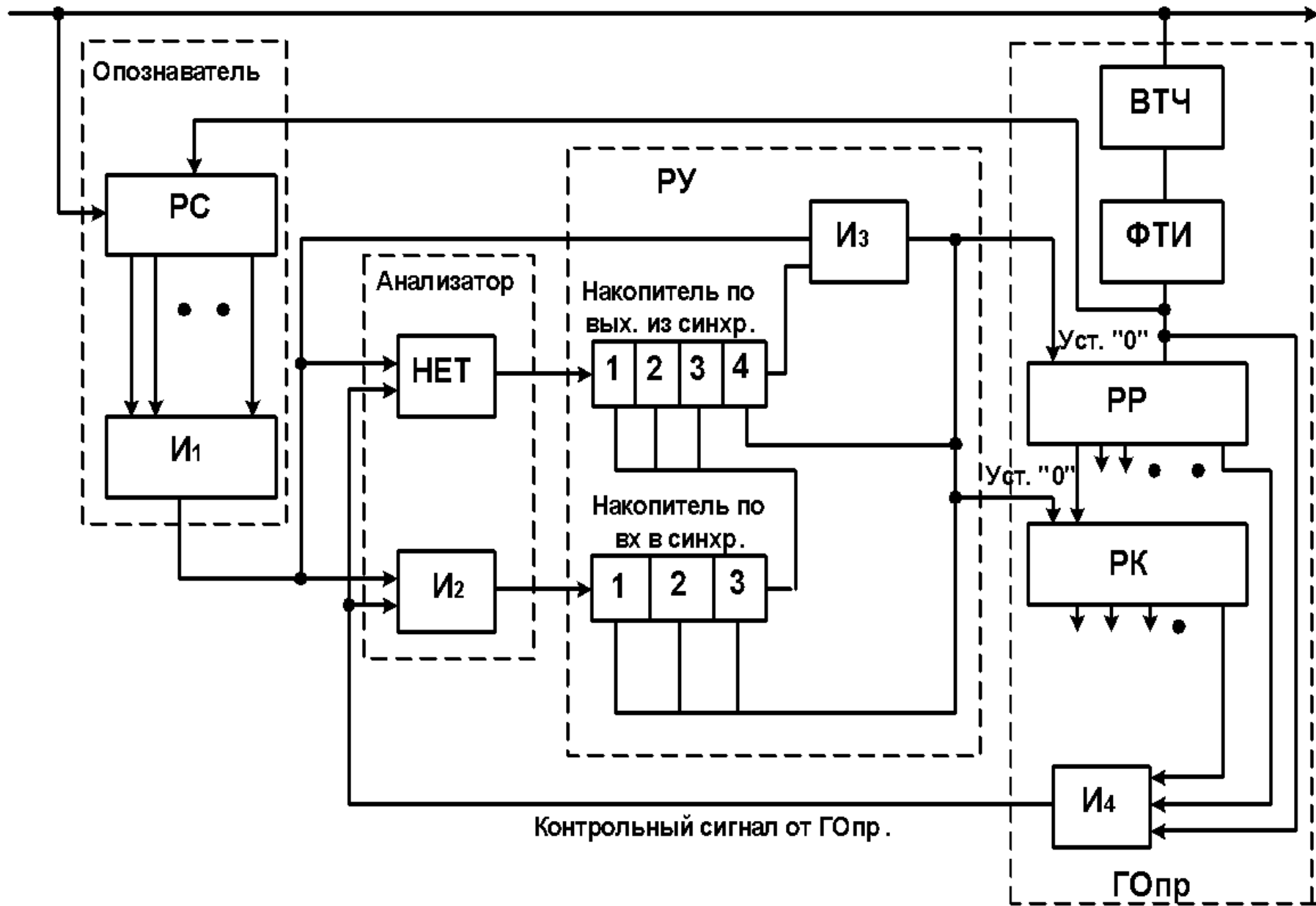
**Опознаватель** – предназначен для выделения из группового ИКМ сигнала кодовых комбинаций, совпадающих по структуре с синхросигналом.

**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 И<sub>1</sub> (выполняющей роль дешифратора). Число ячеек в РС и схеме И<sub>1</sub> совпадает с количеством разрядов синхросигнала. На выходе И<sub>1</sub> 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 И<sub>2</sub> 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 И<sub>2</sub> сигнал подтверждения синхронизма будет отсутствовать, а на выходе НЕТ появится сигнал ошибки – отсутствие синхронизма.

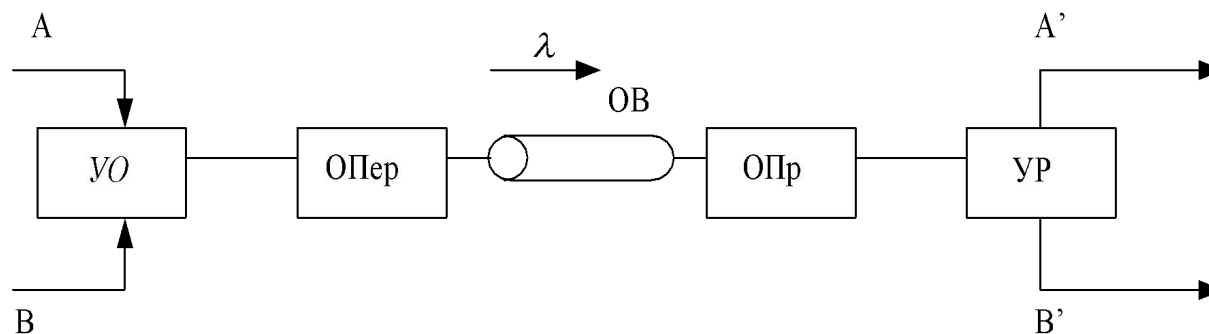
Решающее устройство содержит накопитель по входу синхронизм, накопитель по выходу из синхронизма и И3. накопители выполнены по схеме счетчика со сбросом. Накопитель по входу(2) выдает импульс, если на его вход поступает 2-3 подряд следующие импульса, накопитель по выходу (1) – когда на его входе будет 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 И<sub>3</sub> 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 И<sub>3</sub>. Первый импульс ложной синхрогруппы пройдет через И<sub>3</sub> и сбросит генераторное оборудование и схему 2. Схема перейдет в режим поиска синхронизма.

# Методы уплотнения ВОЛС

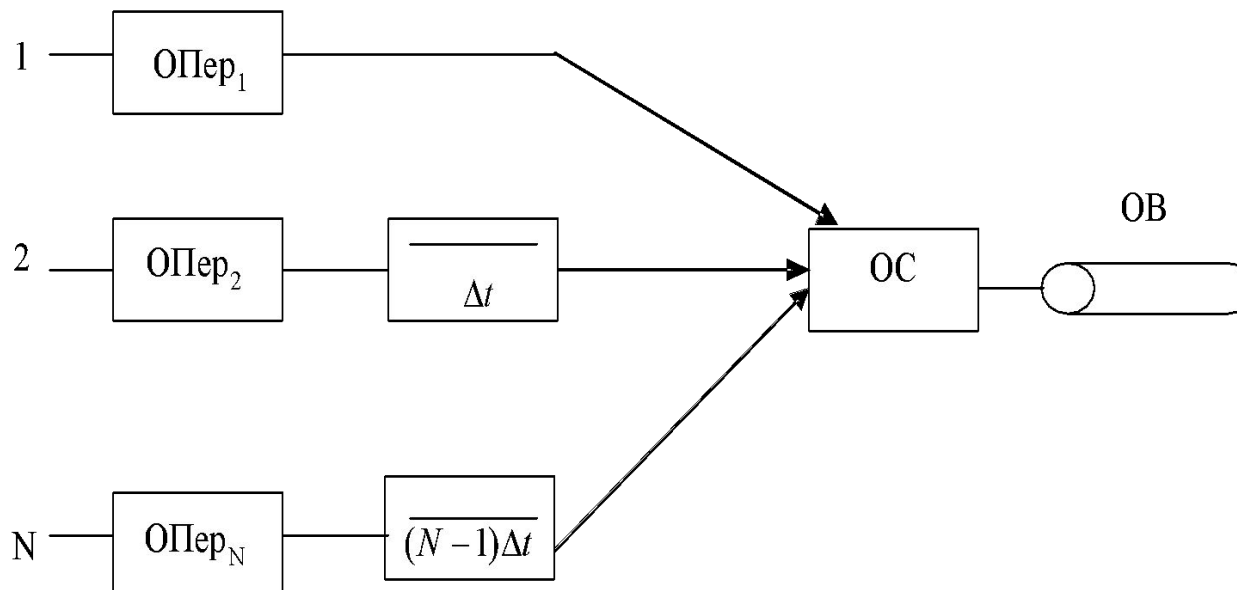
- *Временное уплотнение* (Times Division Multiplexing, TDM).
  - на уровне объединения электрических сигналов
  - на уровне объединения оптических сигналов
- *Пространственное уплотнение.*
- *Спектральное уплотнение* (Wavelength Division Multiplexing, WDM). (Frequency Division Multiplexing, FDM, ЧРК)

# Временное уплотнение

- на уровне объединения электрических сигналов

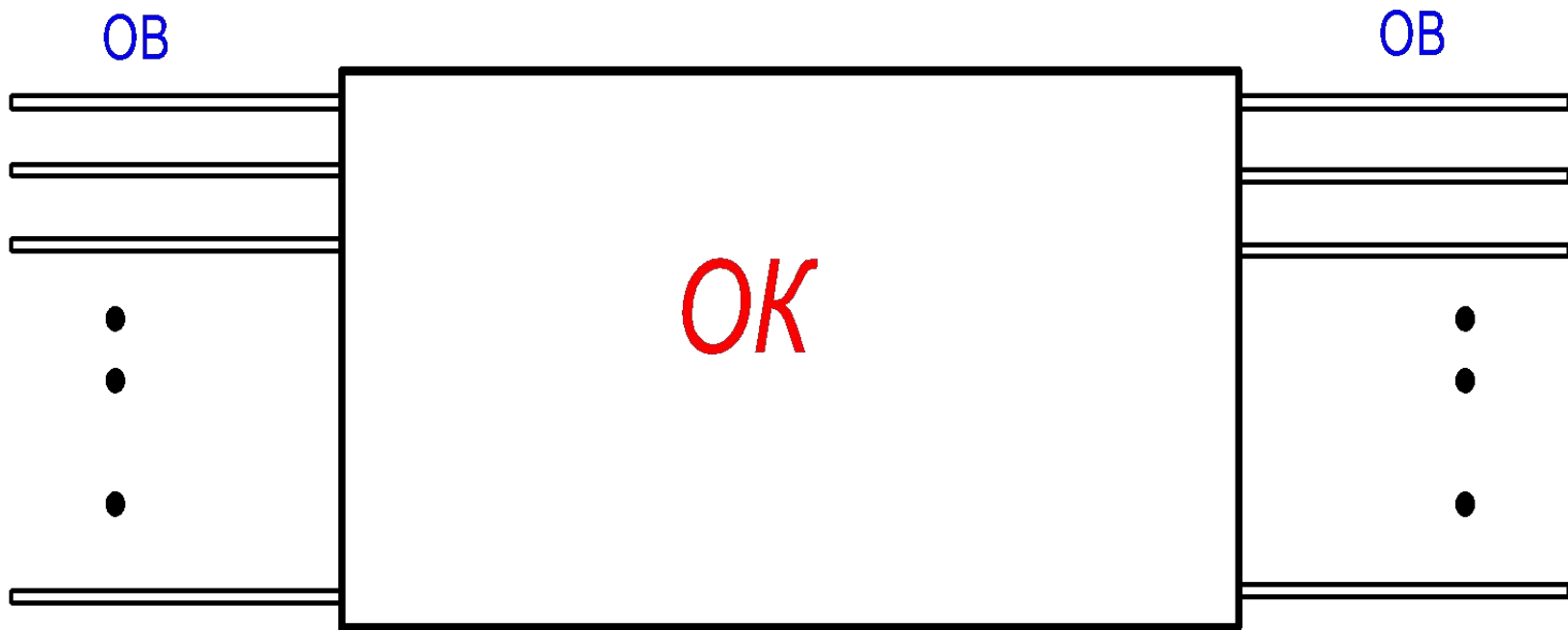


- на уровне объединения оптических сигналов





# *Пространственное уплотнение*



# Регенератор

