

## ПРИНЦИП ВРЕМЕННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ КАНАЛОВ

**Система передачи (transmission system)** – это совокупность технических средств, обеспечивающих образование линейного тракта, типовых групповых трактов и каналов первичной сети

**Системы передачи разделяют:**

*- по способу передачи сигналов:*

**ВРК** - с временным разделением каналов

**ЧРК** – с частотным разделением каналов

*- по среде их распространения:*

– проводные

– радио и т. д.

**Все системы передачи являются многоканальными!!!!!! (МСП)**

т.е. позволяют по одной линии связи организовать передачу 2 и > независимых сообщений **ОДНОВРЕМЕННО**

*МСП позволяют увеличить пропускную способность линий связи и сэкономить на дорогостоящих линейных сооружениях*

## Принцип ВРК:

сигналы различных каналов передаются по общей линии поочередно во времени путем периодического подключения передающего и соответствующего ему приемного устройства каждого из каналов к общей линии на определенный промежуток времени

Принцип ВРК основан на теореме В.А.Котельникова:

*Непрерывный сигнал с ограниченным спектром частот полностью определяется своими дискретными отсчетами, взятыми через интервалы времени  $T_D \leq \frac{1}{2F_B}$ , где  $F_B$  – это верхняя граничная частота спектра непрерывного сигнала*

Интервал следования дискретных отсчетов называют периодом дискретизации -  $T_D$

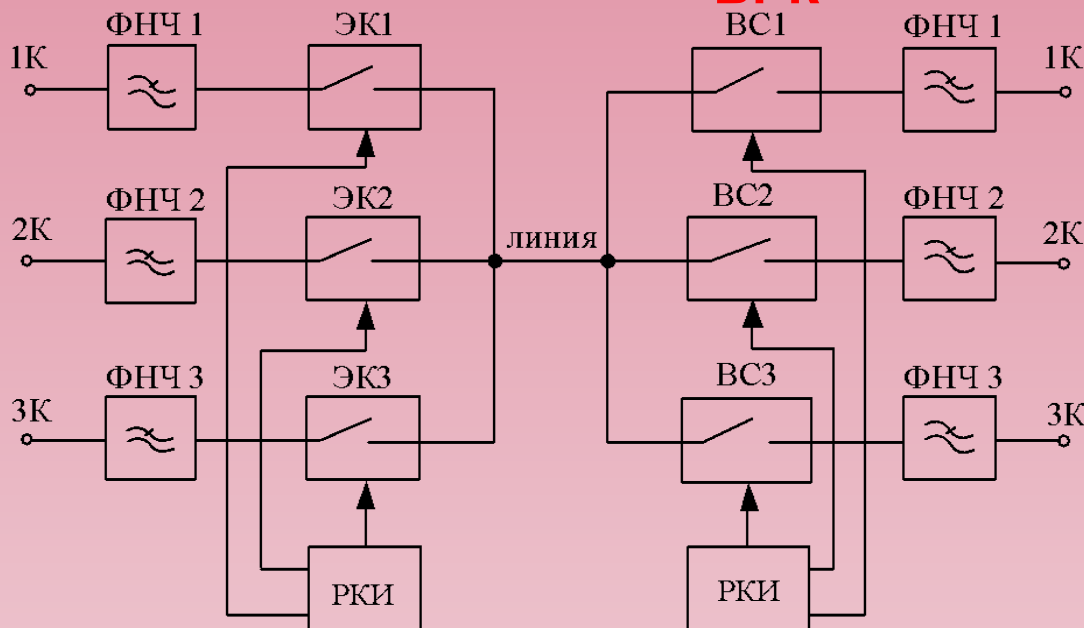
Периоду дискретизации соответствует частота дискретизации  $F_D \geq 2F_B$   
для *телефонного сигнала* со спектром 0,3 ÷ 3,4 кГц ( $F_B = 3,4$  кГц)

$$T_D = 125 \text{ мкс}$$

$$F_D = 8 \text{ кГц}$$

# СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ С

## ВРК



ФНЧ на передаче ограничивают спектр исходного непрерывного сигнала до значения 3,4 кГц

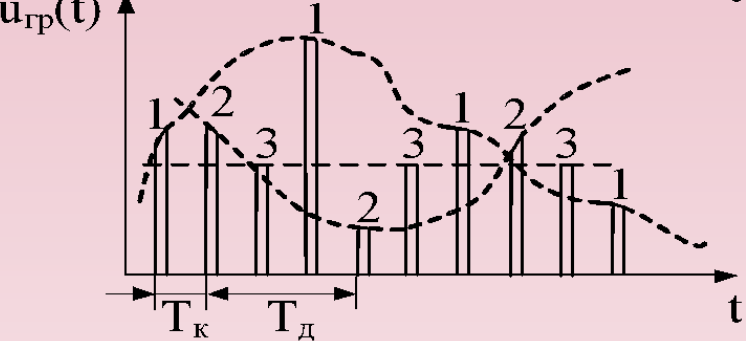
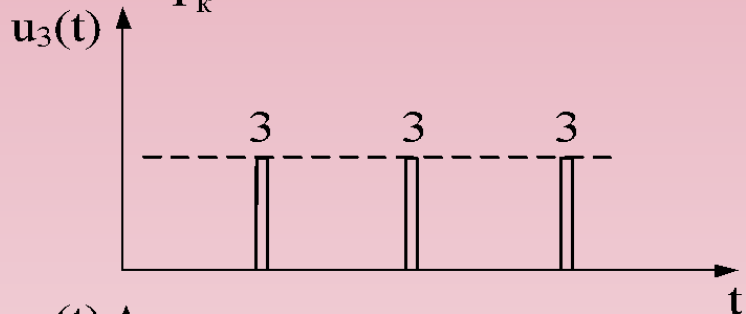
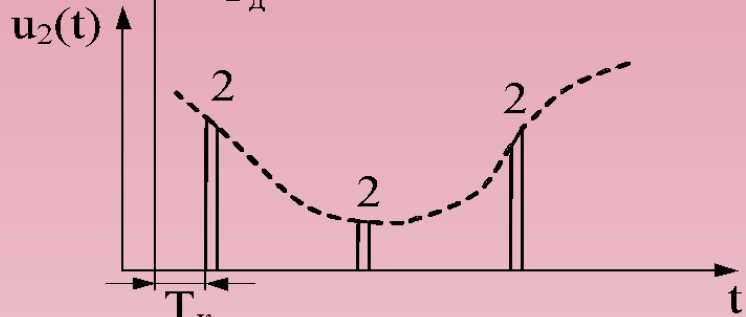
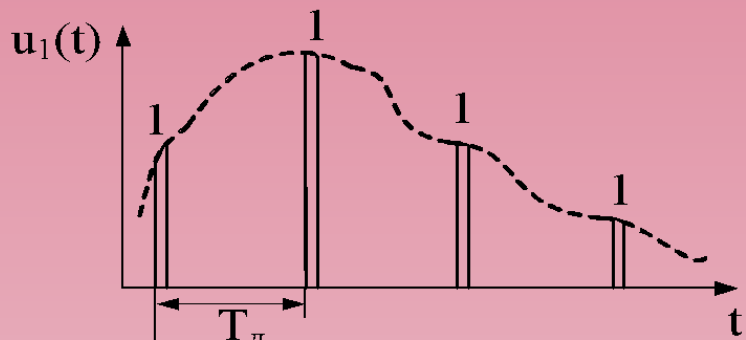
Электронные ключи (Эк) **одновременно** подключают передающие и приемные устройства каждого из каналов

к линии на определенный промежуток времени, в течение которого проходит импульс сигнала данного канала.

Передача непрерывного сигнала осуществляется в виде импульсов, соответствующих мгновенным значениям непрерывного сигнала в момент открывания Эк.

Последовательность импульсов на выходах Эк – это **дискретизированный сигнал** или **сигнал АИМ**

Эк передачи - это **модуляторы АИМ**



**Эк приема** – это **временные селекторы**, они выделяют из последовательности отсчетов группового АИМ-сигнала отсчеты своего канала

**РКИ** - распределители канальных импульсов, они формируют импульсы, которые управляют работой Эк на передаче и приеме.

**РКИ приема и РКИ передачи должны быть синхронизированы**

В этом случае при передаче сигнала по 1-му каналу замыкаются Эк только этого канала, при передаче сигнала 2-го канала срабатывают электронные ключи 2-го канала и т. д.

**ФНЧ** на приеме – это демодуляторы АИМ-сигнала, они преобразуют последовательность АИМ-отсчетов в исходный непрерывный сигнал

Интервал времени между ближайшими импульсами группового сигнала  $T_k$  называется канальным интервалом или тайм-слотом (Time Slot)

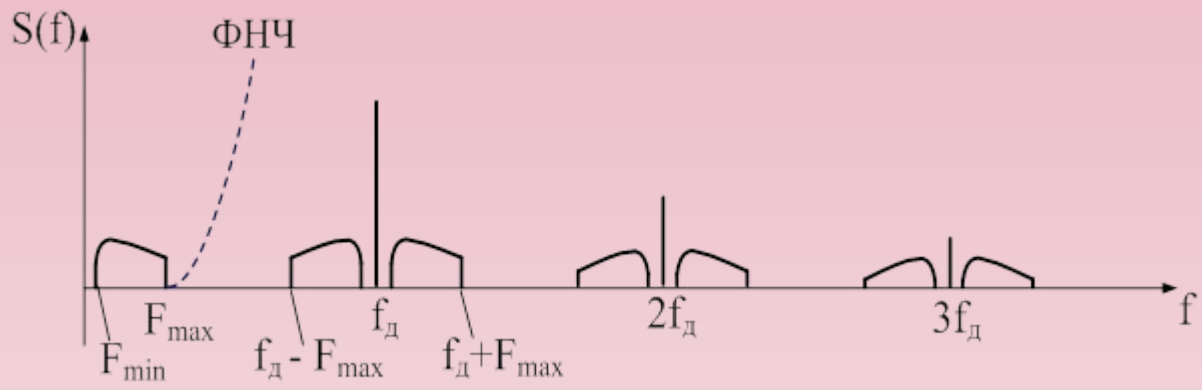
Из принципа временного объединения сигналов следует, что передача в таких системах осуществляется циклами, то есть периодически в виде групп из

$$N_{гр} = N + n \text{ импульсов,}$$

где  $N$  – количество информационных сигналов,

$n$  – количество служебных сигналов

При временном разделении каналов возможно использование следующих видов импульсной модуляции: АИМ – амплитудно-импульсная модуляция, ШИМ – широтно-импульсная модуляция, ФИМ – фазо-импульсная модуляция.



Характерной особенностью спектров сигналов при импульсной модуляции является наличие составляющих с частотами  $F_{min} \dots F_{max}$  исходного сигнала

Для передачи непрерывных сообщений цифровыми методами необходимо произвести преобразования:

- дискретизация непрерывных сигналов во времени
- квантование их по уровню,
- преобразование квантованных отсчётов в цифровой сигнал

**Квантование** - замена отсчётов мгновенных значений сигнала АИМ дискретными значениями ближайших разрешённых уровней

Интервал между ближайшими разрешёнными уровнями квантования называют **шагом квантования  $\Delta U$**

Если амплитуда отсчета в пределах двух соседних разрешенных уровней превышает половину шага квантования, то амплитуда отсчета изменяется в большую сторону, если меньше половины шага квантования – в меньшую сторону. При этом возникает ошибка квантования. Ошибкой квантования называется разность между истинным значением отсчета и его квантованным значение:

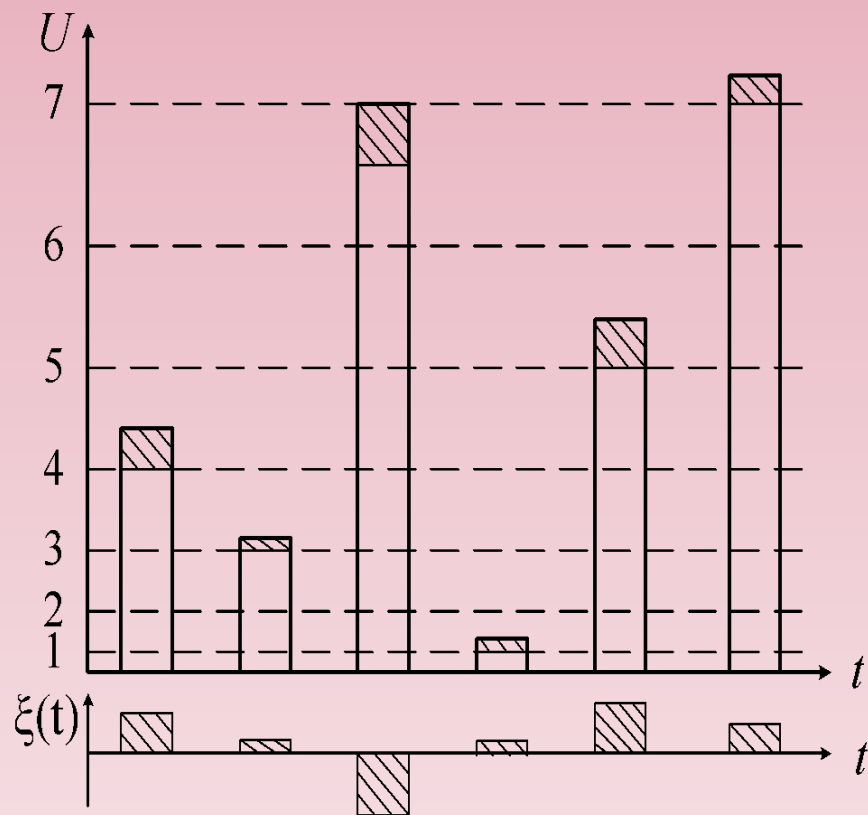
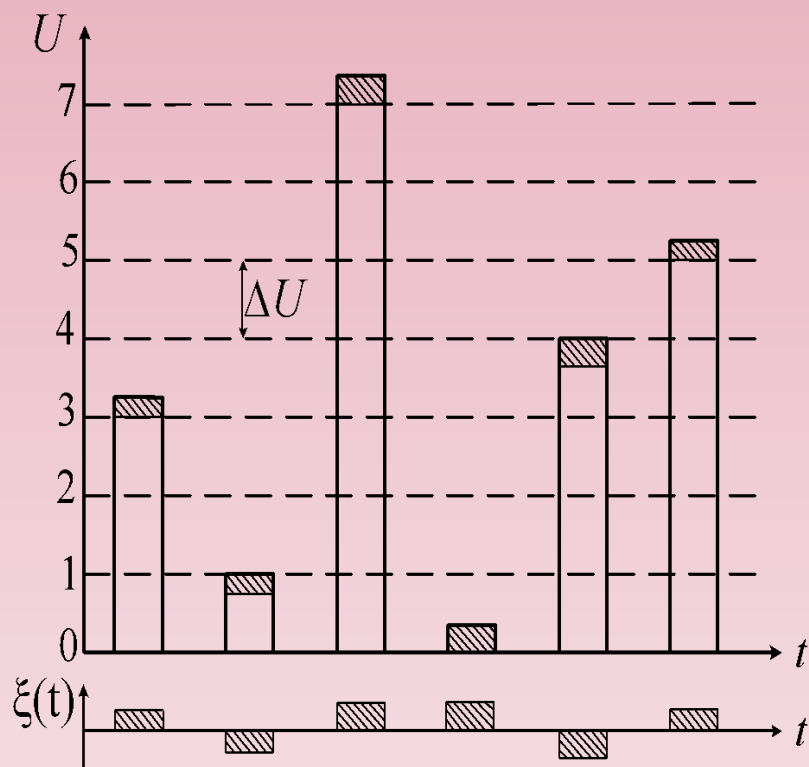
$$\xi(t) = U(t) - U_{\text{кв}}(t).$$

Ошибка квантования лежит в пределах:

$$-\frac{\Delta}{2} \leq \xi \leq \frac{\Delta}{2}.$$

## Различают квантование

- **равномерное**, если шаг квантования не изменяется. При равномерном квантовании ошибка квантования различна для слабых и сильных сигналов.
- **неравномерное**: шаг квантования изменяется пропорционально изменению амплитуды входного сигнала. Ошибка квантования для слабых сигналов уменьшается, а для сильных – увеличивается.



Неравномерное квантование может быть получено с помощью сжатия (**компрессии**) динамического диапазона (ДД) сигнала с последующим равномерным квантованием. На приеме осуществляется обратная операция – **экспандирование** (расширение) ДД

В ЦСП применяется логарифмическая характеристика **командирования** типа **A-87,6/13**.

A-87,6 - параметр компрессии

Характеристика содержит положительную и отрицательную ветви

Ветвь состоит из восьми сегментов

Сегмент - это 16 уровней квантования

Общее число уровней характеристики 256

Квантование внутри сегмента – равномерное

Каждый сегмент начинается с определенного эталонного сигнала - **основного** эталона

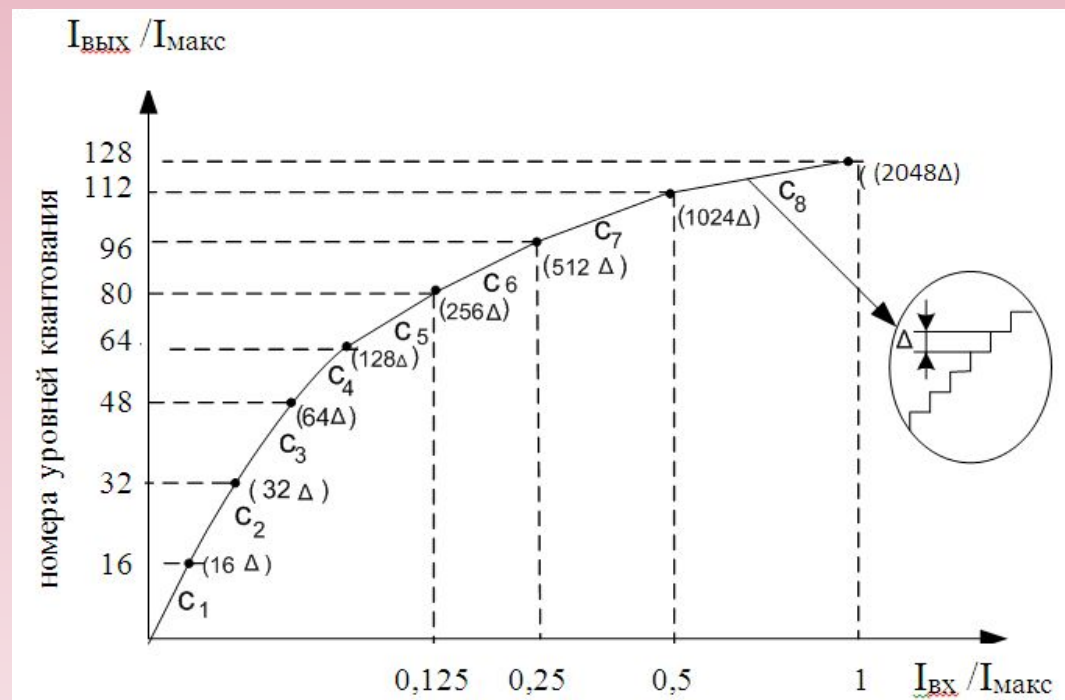
Каждый из 16 уровней внутри сегмента может быть сформирован с помощью сочетания четырех **дополнительных эталонов**



Номер сегмента	Кодовая комбинация номера сегмента	Эталонные токи					Шаг квантования	Эталонные сигналы коррекции
		основ-ной	дополнительные					
1	000	–	8	4	2	1	1	0,5
2	001	16	8	4	2	1	1	0,5
3	010	32	16	8	4	2	2	1
4	011	64	32	16	8	4	4	2
5	100	128	64	32	16	8	8	4
6	101	256	128	64	32	16	16	8
7	110	512	256	128	64	32	32	16
8	111	1024	512	256	128	64	64	32

Четыре центральных сегмента образуют один сегмент, так как шаг квантования равен  $1\Delta$ .

Число сегментов характеристики с различными шагами квантования равно 13. При переходе к следующему сегменту шаг квантования увеличивается в 2 раза.



**Кодирование** - это преобразования квантованных импульсов АИМ-сигнала в  $m$ -разрядные группы двоичных символов,  $m = 8$

Для кодирования **телефонных сигналов** применяют симметричный двоичный код:

символ первого разряда определяется знаком АИМ-отсчета,

остальные разряды – это значение отсчета, выраженное в двоичной системе

исчисления

Кодирование осуществляется в нелинейных **кодерах взвешивающего типа**

Кодирование осуществляется в **три этапа**:

1. определение и кодирование полярности отсчета (такт 1)

2. определение и кодирование номера сегмента, в котором заключен кодируемый отсчет (такты 2, 3, 4)

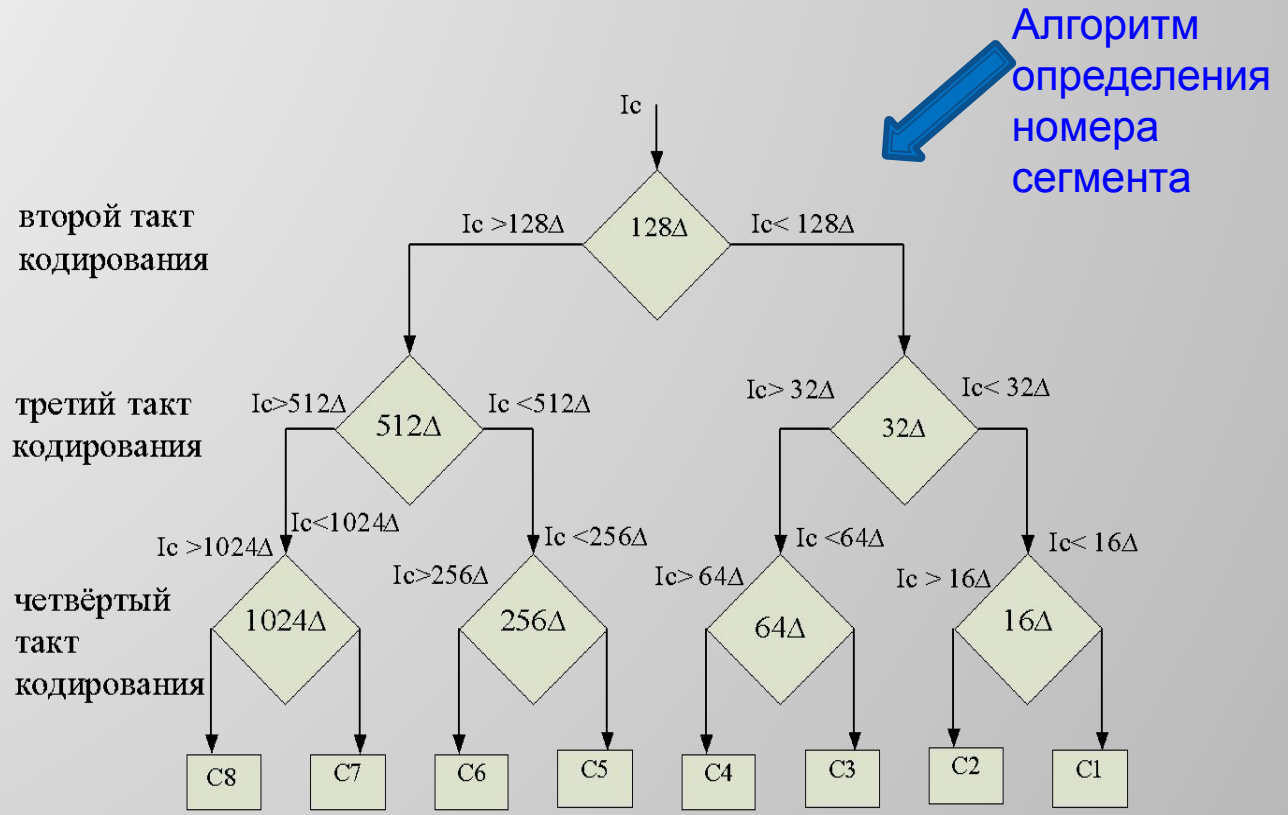
3. определение и кодирование номера уровня квантования внутри сегмента (такты 5, 6, 7, 8)

**1 этап:**

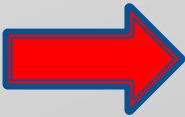


Если АИМ-отсчет **положительный** - в первом разряде «**1**»,  
отсчет **отрицательный** - в первом разряде «**0**».

**2 этап:**

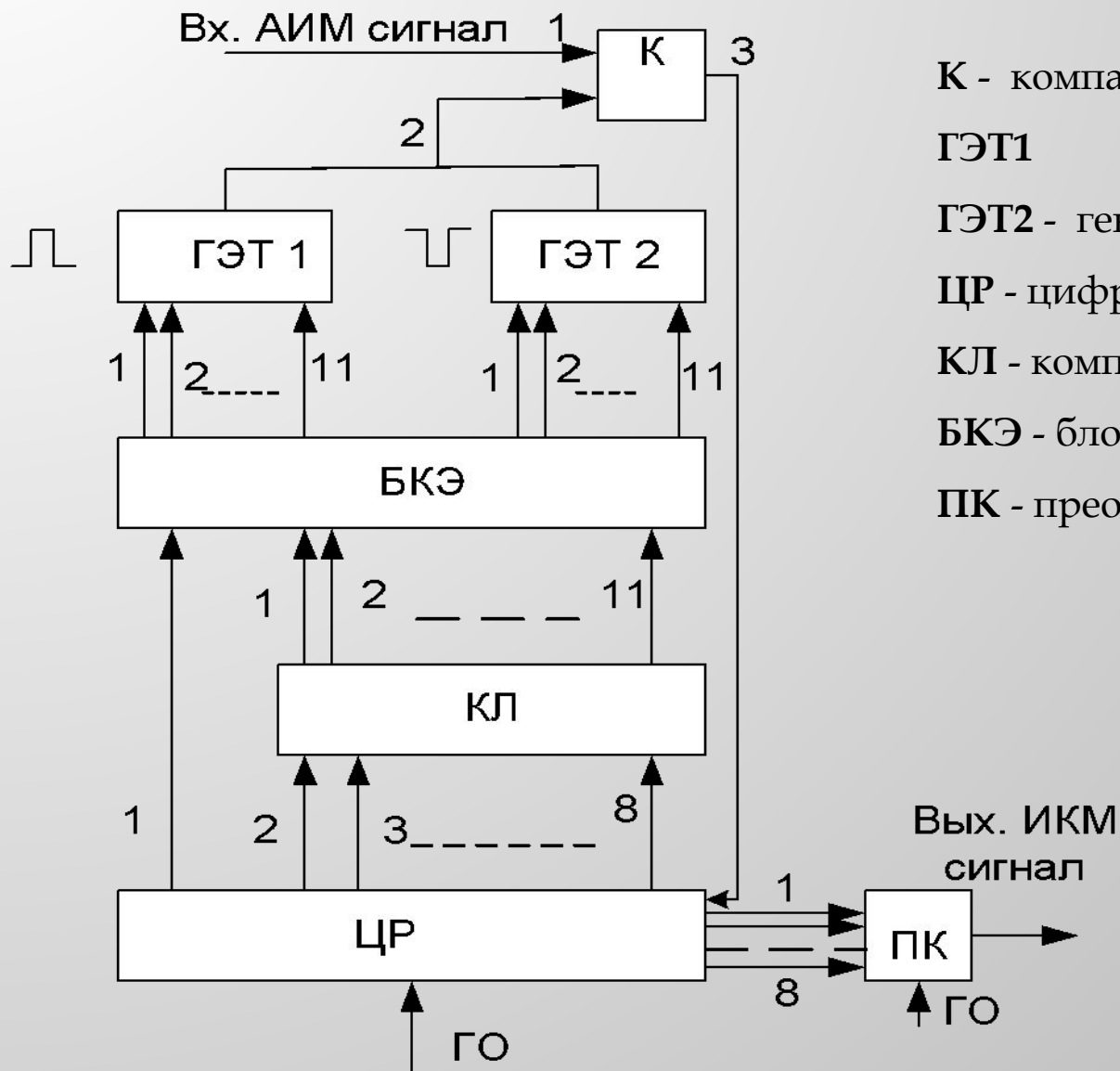


**3 этап:**



Дополнительные эталоны выбираются в соответствии с определенным номером сегмента.  
Подключаются дополнительные эталоны в порядке убывания

# СТРУКТУРНАЯ СХЕМА НЕЛИНЕЙНОГО КОДЕРА ВЗВЕШИВАЮЩЕГО ТИПА



К - компаратор

ГЭТ1

ГЭТ2 - генераторы эталонных токов

ЦР - цифровой регистр

КЛ - компрессирующая логика

БКЭ - блок коммутации эталонов

ПК - преобразователь кода

## Пример кодирования АИМ-отсчета

Такты	Эталонные токи	Разность $I_{\text{сигн}} - \sum I_{\text{эт}}$	Решение компаратора	Запись решения в цифровой регистр
1	0	$+410\Delta - 0 > 0$	0	1
2	128	$+410\Delta - 128\Delta > 0$	0	1
3	512	$+410\Delta - 512\Delta < 0$	1	0
4	256	$+410\Delta - 256\Delta > 0$	0	1
Основной эталонный ток $I_{\text{эт осн.}} = 256\Delta$				
5	128	$+410\Delta - (256\Delta + 128\Delta) > 0$	0	1
6	64	$+410\Delta - (256\Delta + 128\Delta + 64\Delta) < 0$	1	0
7	32	$+410\Delta - (256\Delta + 128\Delta + 32\Delta) < 0$	1	0
8	16	$+410\Delta - (256\Delta + 128\Delta + 16\Delta) > 0$	0	1

Ошибка квантования:  $I_{\text{ош}} = I_{\text{сигн}} - \sum I_{\text{эт}}$

для рассмотренного примера она составит:  $I_{\text{ош}} = 410\Delta - 400\Delta = 10\Delta$

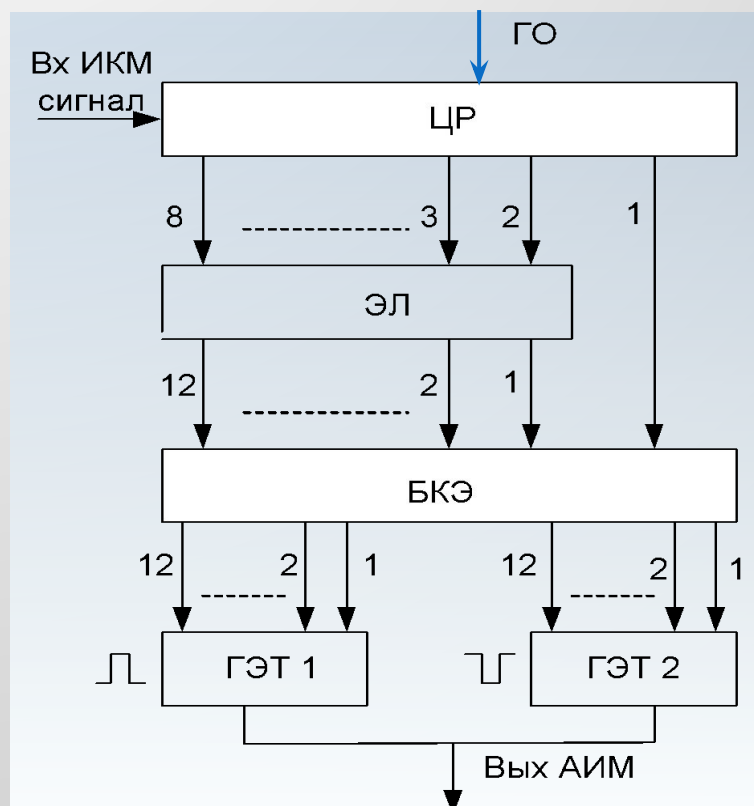
# ДЕКОДИРОВАНИЕ

Е

**Декодирование** – это формирование сигнала АИМ-П из кодовых комбинаций ИКМ сигнала.

Амплитудная характеристика декодера является обратной функцией характеристики кодера, то есть **общая характеристика тракта кодер-декодер должна быть линейна.**

**нелинейный декодер взвешивающего типа**



**ГЭТ1**

**ГЭТ2** - генераторы эталонных  
ТОКОВ

**ЦР** - цифровой регистр

**ЭЛ** - экспандирующая логика

**БКЭ** - блок коммутации эталонов

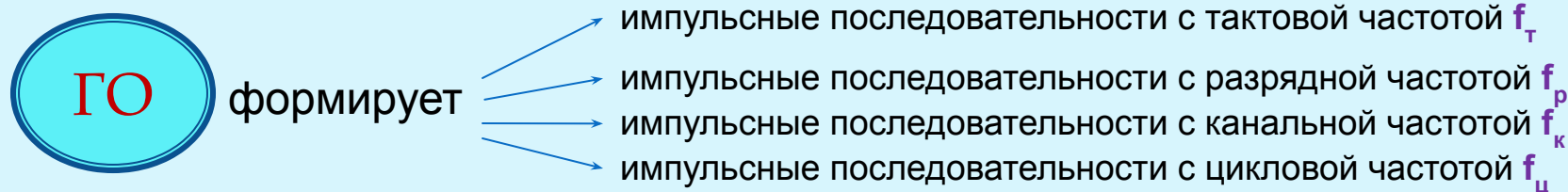
**ПК** - преобразователь кода

## Пример декодирования

	Определение полярности	Подключение эталонных токов							Сумма эталонных токов
		основного	дополнительных				коррекции		
			1	2	3	4			
Кодовая комбинация	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	
Значения эталонных токов	«-»	32	16	4	1				- 53Δ

## ГЕНЕРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЦСП

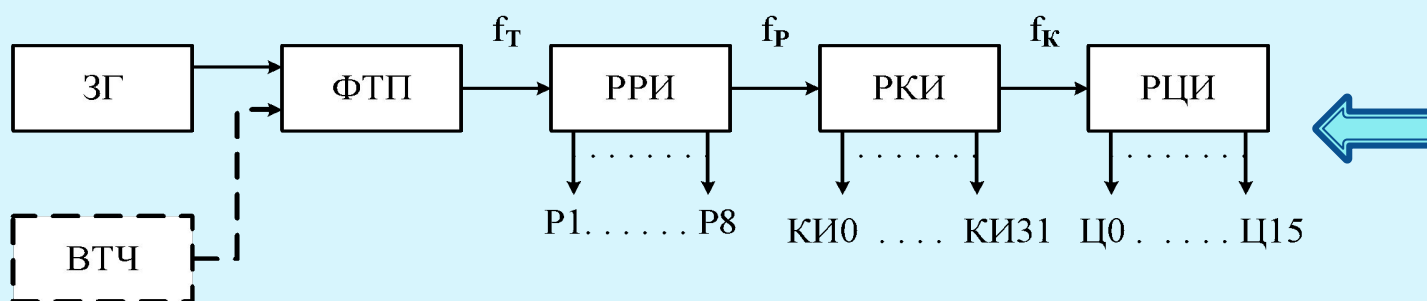
Генераторное оборудование (ГО) предназначено для формирования и распределения во времени импульсных последовательностей, управляющих работой всех узлов аппаратуры и служащих для формирования/расформирования первичного цифрового потока.



Тактовая частота определяет частоту следования битов информации в первичном потоке. Ее значение определяется по формуле:

$$f_T = f_d \cdot m \cdot N_{ки}'$$

Для первичного цифрового потока  $f_T = 8 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 32 = 2048 \text{ кГц}$



Структура генераторного оборудования передающей и приемной частей аппаратуры

ФТП - формирователь тактовой последовательности

РР - распределитель разрядный

РК - распределитель канальный

РЦ - распределитель цикловой

ВТЧ – выделитель тактовой частоты



# ГЕНЕРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЦСП

## Распределитель разрядных импульсов

формирует 8 импульсных последовательностей ( $m=8$ ) от P1 до P8 с частотой

$$f_p = \frac{f_m}{m} = \frac{2048 \cdot 10^3}{8} = 256 \text{ кГц}$$

## Распределитель канальных импульсов

формирует 32 импульсные последовательности ( $N_{ки} = 32$ ) с частотой

$$f_k = \frac{f_p}{N_{ки}} = \frac{256 \cdot 10^3}{32} = 8 \text{ кГц}$$

## Распределитель цикловых импульсов

формирует 16 импульсных последовательностей ( $S_{ц} = 16$ ) с частотой

$$f_u = \frac{f_k}{S} = \frac{8 \cdot 10^3}{16} = 0,5 \text{ кГц}$$

## Синхронизация в цифровых системах передачи

В ЦСП с ВРК правильное восстановление исходных сигналов на приеме возможно только при синхронной и синфазной работе генераторного оборудования на передающей и приемной станции

### ВИДЫ СИНХРОНИЗАЦИИ:

- ✓ **ТАКТОВАЯ (ТС)** - обеспечивает равенство скоростей обработки цифровых сигналов в линейных и станционных регенераторах, кодеках и других устройствах ЦСП, осуществляющих обработку сигналов с тактовой частотой
- ✓ **ЦИКЛОВАЯ (ЦС)** - обеспечивает правильное разделение и декодирование кодовых групп цифрового сигнала и распределение декодированных отсчетов по соответствующим каналам
- ✓ **СВЕРХЦИКЛОВАЯ (СЦС)** - обеспечивает на приеме правильное распределение СУВ по соответствующим телефонным каналам

Нарушение хотя бы одного из видов синхронизации приводит к потере связи по всем каналам ЦСП

В цифровых телекоммуникационных системах используется два основных метода выделения тактовой частоты:

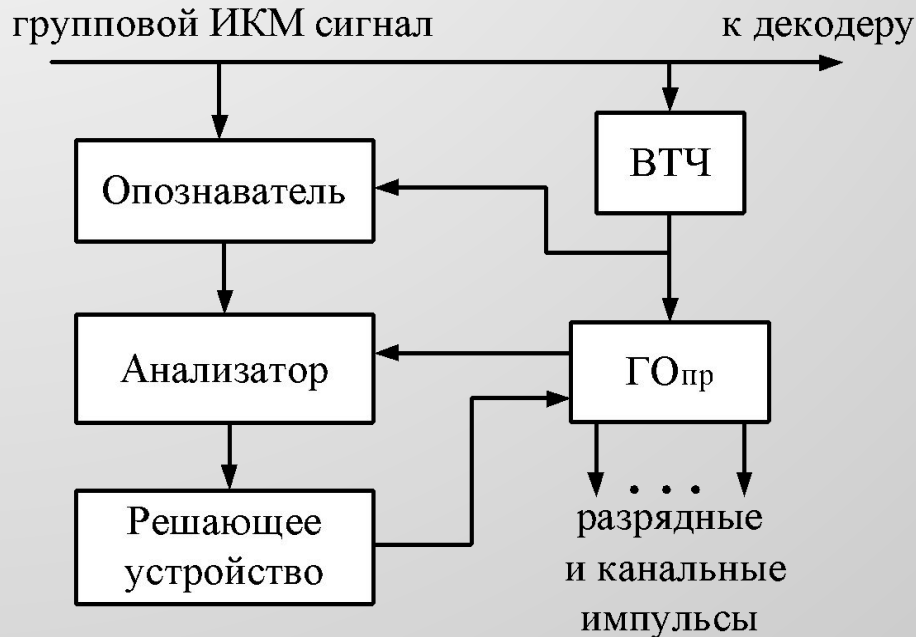
- метод пассивной фильтрации (или резонансный метод)
- метод активной фильтрации



В высокоскоростных ЦСП используют **метод активной фильтрации:**  
с применением устройств фазовой автоподстройки частоты

## Требования к системе ЦС:

- среднее время удержания синхронизма между его двумя сбоями должно быть максимально
- среднее время восстановления синхронизма при его нарушении должно быть минимальным
- количество разрядов в синхросигнале и частота его повторения должны быть минимальными



## Решающее устройство определяет:

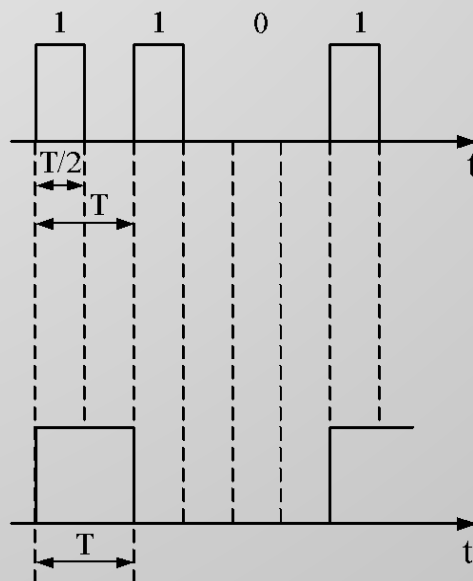
- состояние синхронизма
- момент выхода из синхронизма
- управляет работой соответствующих узлов ГО в режиме поиска синхронизма

# ФОРМИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ

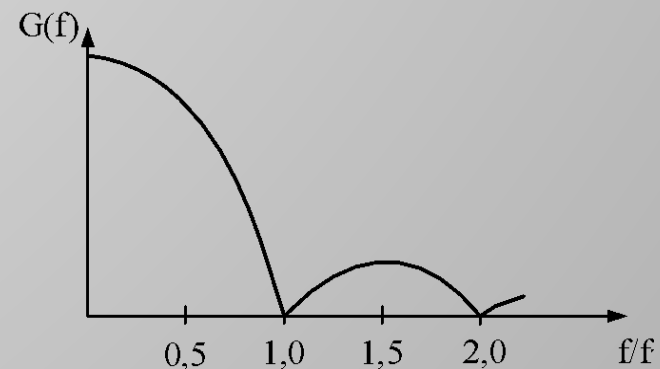
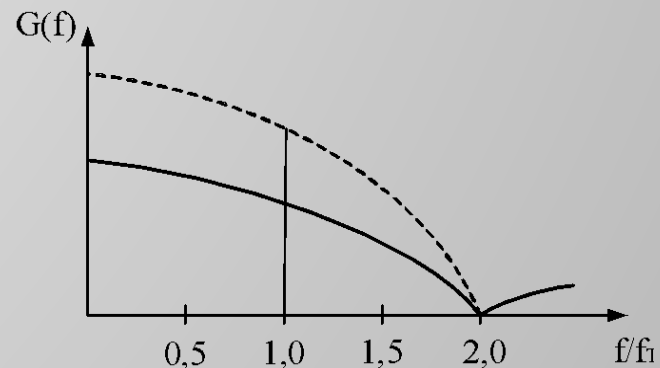
Требования к кодам ЦСП, используемым для передачи сигнала по линии:

- энергетический спектр сигнала должен ограничиваться снизу и сверху, быть достаточно узким, располагаться на сравнительно низких частотах и не содержать постоянной составляющей.
- структура сигнала должна позволять достаточно просто выделять из него сигнал тактовой частоты;
- код должен обладать информационной избыточностью, позволяющей осуществлять контроль верности передачи.

**ВН (RZ)** –  
симметричный код с  
возвращением к нулю



**МБВН** –  
модифицированный  
без возвращения к  
нулю



для передачи цифрового сигнала в линию используют следующие коды:

1. **МБВН** – модифицированный без возвращения к нулю

- код МБВН формируется с помощью счетного триггера

- спектр в два раза уже, чем спектр кода ВН, поэтому затухание сигнала меньше, а, следовательно, и меньше МСИ II рода.

- низкочастотные составляющие спектра и постоянная составляющая мощные, поэтому величина МСИ I достаточно велика

- код не обладает избыточностью

- в спектре нет тактовой частоты, по этой причине устройство выделения тактовой компоненты из линейного сигнала будет сложнее, чем для кода ВН

- при появлении серии нулей возможен сбой тактовой синхронизации

**код МБВН применяют крайне редко**

2. код ЧПИ (AMI) - с чередованием полярности импульсов, квазитроичный

код ЧПИ (AMI) формируется по следующему алгоритму:

символу «0» соответствует пауза,  
символу «1» - последовательные импульсы положительной и отрицательной полярности

Чередование полярности импульсов позволяет достаточно хорошо компенсировать межсимвольные искажения I и II рода.

Спектр кода ЧПИ ограничен как сверху, так и снизу относительно спектра исходной последовательности и не имеет постоянной составляющей

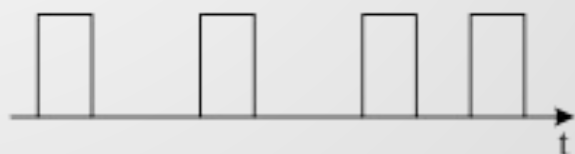
Наиболее мощные частотные компоненты в сигнале кода ЧПИ расположены в области частот, прилегающих к  $0,5f_T$ , поэтому условия прохождения сигналов по линии связи рассматриваются на полутактовой частоте

В сигнале ЧПИ возможен контроль ошибок, так как пропадание импульса или появление ложного приводит к нарушению чередования полярности

Выделение тактовой частоты из спектра линейного сигнала несложно

**!** если в исходной последовательности присутствуют большие пакеты нулей, выделение тактовой частоты затрудняется

## Временные диаграммы формирования из кода ВН кода ЧПИ

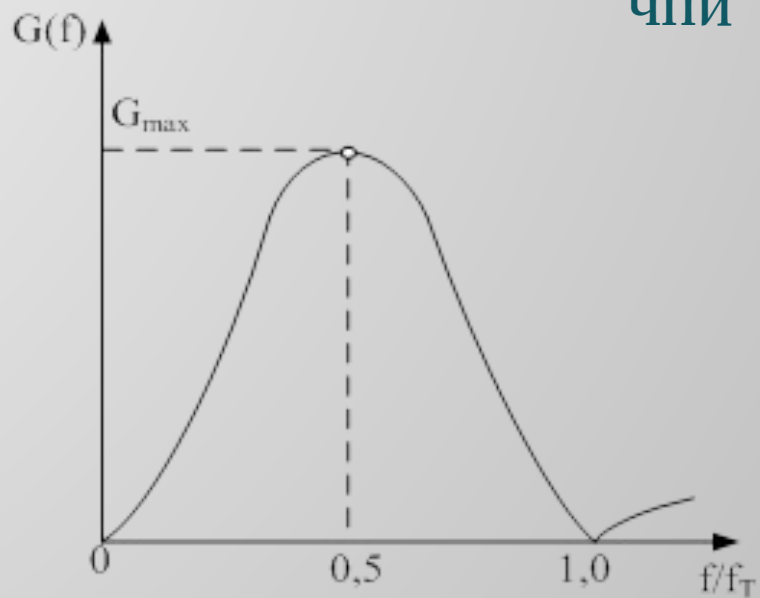


а)



б)

## энергетический спектр кода ЧПИ



в)



**3. код КВП-3 (HDB-3) – код высокой плотности единиц, не допускающий более трех нулей подряд. Код КВП-3 также называют модифицированным с чередованием полярности импульсов - МЧПИ.**

**В коде КВП-3 (HDB-3) или МЧПИ:**

- устранена трудность выделения тактовой частоты при наличии в исходной последовательности пакетов нулей;
- каждая серия из четырех нулей заменяется вставками вида «000V» и «B00V»

**В вставках «000V» и «B00V»:**

**символ «B»** - импульс, полярность которого противоположна полярности предшествующего кодового символа

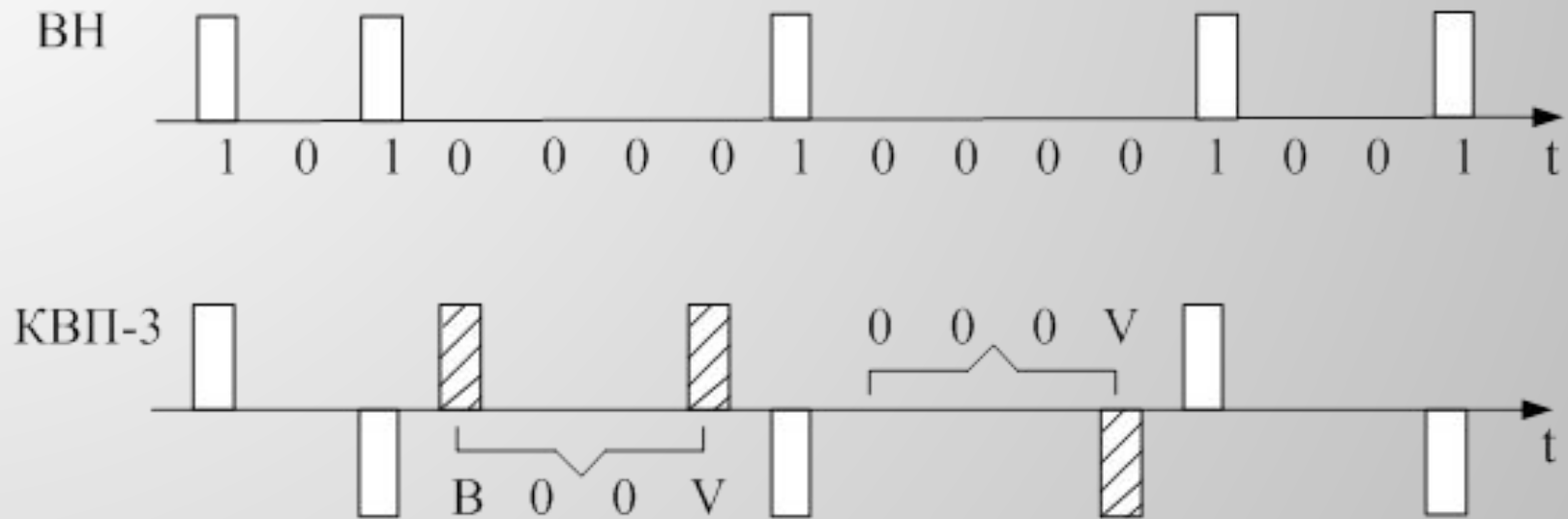
**импульс «V»** - импульс, полярность которого повторяет полярность предшествующего импульса

**вставка «B00V»** применяется, если после предыдущей вставки было передано четное число единиц

**вставка «000V»** применяется, если после предыдущей вставки было передано нечетное число единиц

**В коде КВП-3 (HDB-3) или МЧПИ обнаруживается одиночная ошибка при нарушении чередования полярности сдвоенных импульсов**

## формирование кода КВП-3 из сигнала в коде ВН



# ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ КОДА

## передачи

ПК<sub>пер</sub> осуществляет преобразование исходной двоичной последовательности цифрового сигнала в код ВН в один из линейных кодов, в данном случае в код ЧПИ

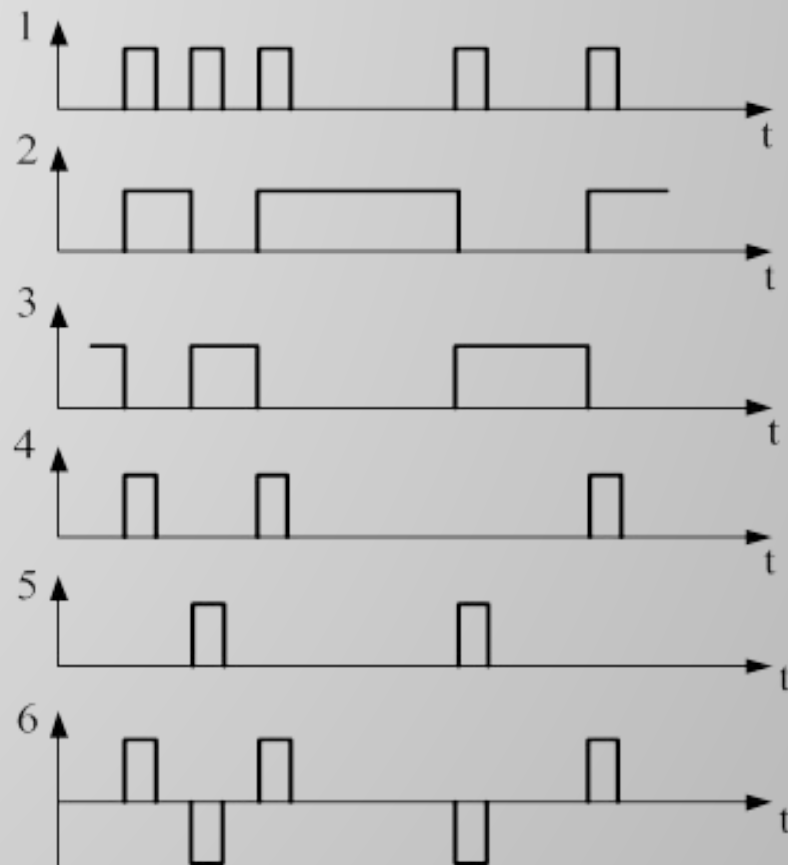
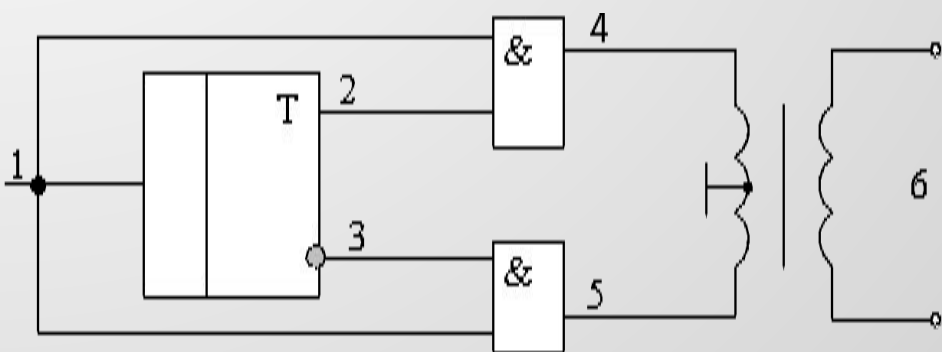
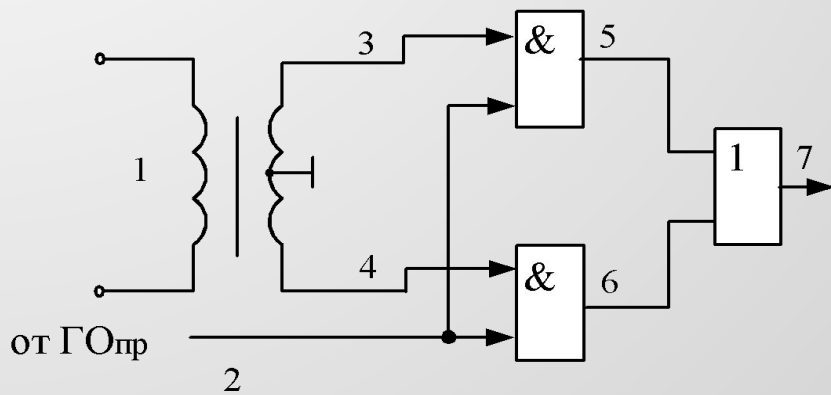


Схема преобразователя кода передачи включает в себя счетный триггер, две логические схемы «И» и трансформатор с заземленной средней точкой

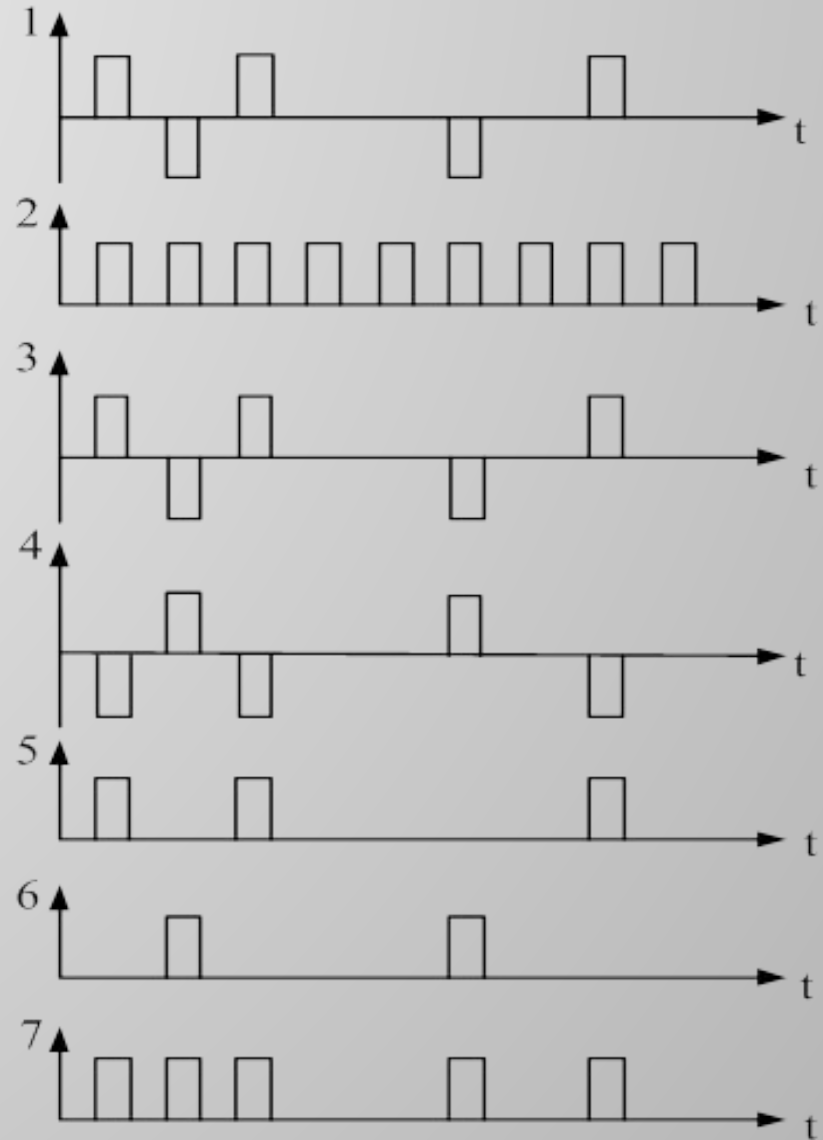
# ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ КОДА

приема

ПК<sub>пр</sub> приема осуществляет обратное преобразование – восстановление исходной двоичной последовательности из линейного кода



В состав преобразователя кода приема входит трансформатор с заземленной средней точкой, две логические схемы «И» и одна схема «ИЛИ»



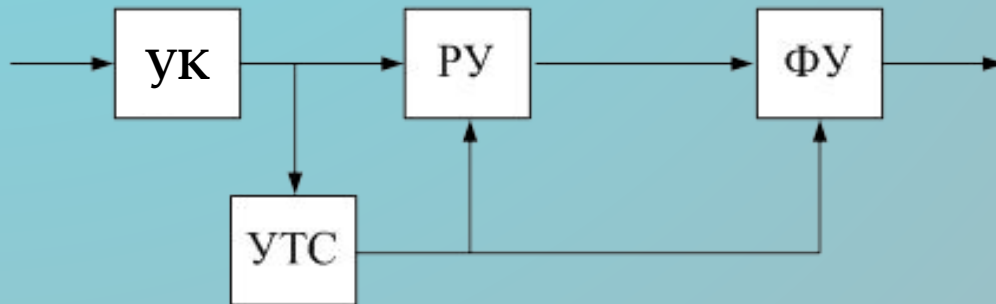
# РЕГЕНЕРАТОРЫ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ

**РЕГЕНЕРАТОР** восстанавливает амплитуду, форму и временные соотношения импульсов цифровой последовательности, поступающих на его вход.

Включение регенераторов в линейный тракт необходимо для компенсации воздействия на сигнал искажений и помех, возникающих в линейном тракте.

Линейные регенераторы (РЛ), устанавливаются в НРП, стационарные регенераторы (РС), устанавливаются на оконечных станциях и ОРП.

*Схема регенератора цифрового сигнала*



**УК** - корректирующий усилитель

**РУ** - решающее устройство

**ФУ** - формирующее устройство

**УТС** - устройство тактовой синхронизации

Искаженный цифровой сигнал из кабельной цепи поступает на усилитель-корректор (УК), обеспечивающий частичную или полную коррекцию формы импульсов, и регистрируется решающим устройством (РУ).

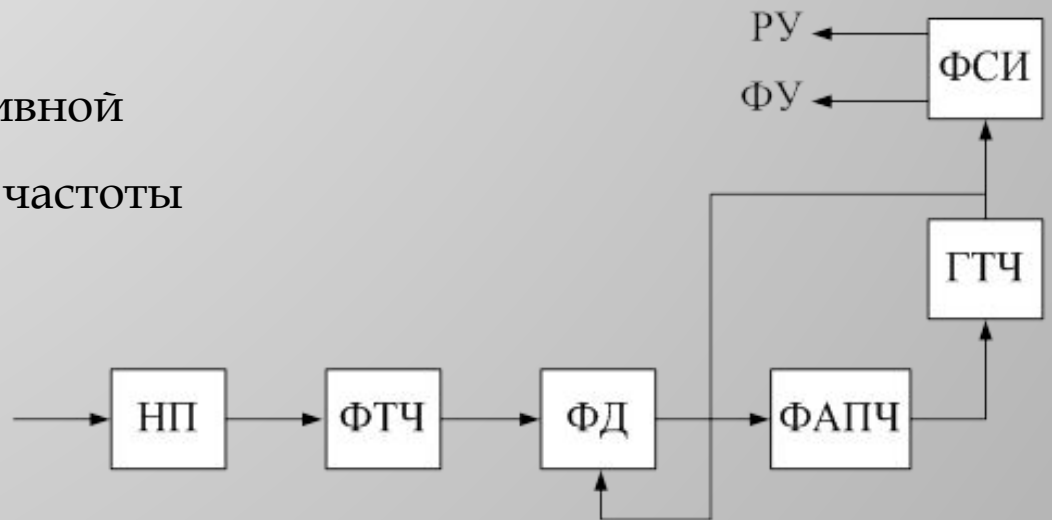
Решающее устройство представляет собой пороговую схему, которая срабатывает, если уровень сигнала на его входе превышает пороговый уровень РУ, и не срабатывает, если уровень входного сигнала меньше уровня порога.

Пороговое напряжение может подаваться извне или вырабатываться в схеме РУ. При поступлении импульса на выходе РУ появляется управляющий сигнал, а в случае 0 (пробела) состояние РУ не изменяется.

Формирующее устройство (ФУ) обеспечивает формирование по сигналам РУ импульсов с принятыми для конкретной системы стандартными параметрами.

В приведенной схеме регистрация входящего сигнала и принятие решения о его значении осуществляются по каждому символу в отдельности. При этом требуется введение устройства тактовой синхронизации (УТС), которое должно обеспечить принятие решений на определенных временных интервалах. Эти интервалы выбираются в пределах участков тактового интервала, на которых принимаемый импульс имеет минимальные искажения, это гарантирует верность принятия решения РУ. Верность принимаемых РУ решений зависит, в первую очередь, от способа обнаружения двоичного сигнала и качества работы УТС.

Структура УТС с активной  
фильтрацией тактовой частоты



## Параметры регенератора

1. **коэффициент ошибок** – отношение числа символов (бит), переданных с ошибками, к общему числу переданных символов за определенный интервал времени:

$$K_{\text{ош}} = N_{\text{ош}} / N$$

$K_{\text{ош}}$  обозначают аббревиатурой **BER** – bit error ratio)

**Нормы на коэффициент ошибок:**

- в линейном тракте не более  $10^{-6}$
- одиночного регенератора не более  $10^{-8} \div 10^{-10}$

*2. Помехоустойчивость регенератора - это минимальное отношение сигнал/помеха, при котором обеспечивается заданный коэффициент ошибок*

3. Фазовое дрожание или **джиттер** – это изменение временных положений восстановленных импульсов

4. Глаз-диаграмма - это график или картинка на экране осциллографа, состоящая из системы наложенных друг на друга всех возможных вариантов цифрового сигнала в интервале времени, равном двум тактовым интервалам