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 $T_Д \leq \frac{1}{2F_В}$, ***где*** $F_В$ ***– это верхняя граничная частота спектра непрерывного сигнала***

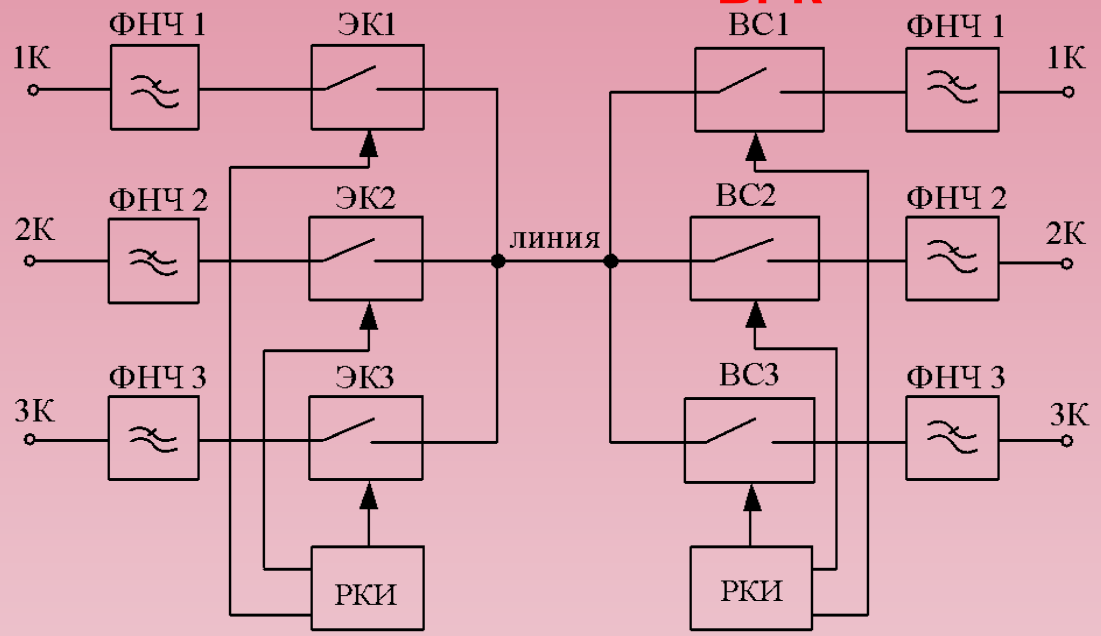
Интервал следования дискретных отсчетов называют периодом дискретизации - $T_Д$

Периоду дискретизации соответствует частота дискретизации $F_Д \geq 2F_В$

для ***телефонного сигнала*** со спектром 0,3 ÷ 3,4 кГц ($F_В$ = 3,4 кГц)

$T_Д$ = 125 мкс $F_Д$ = 8 кГц

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ С ВРК



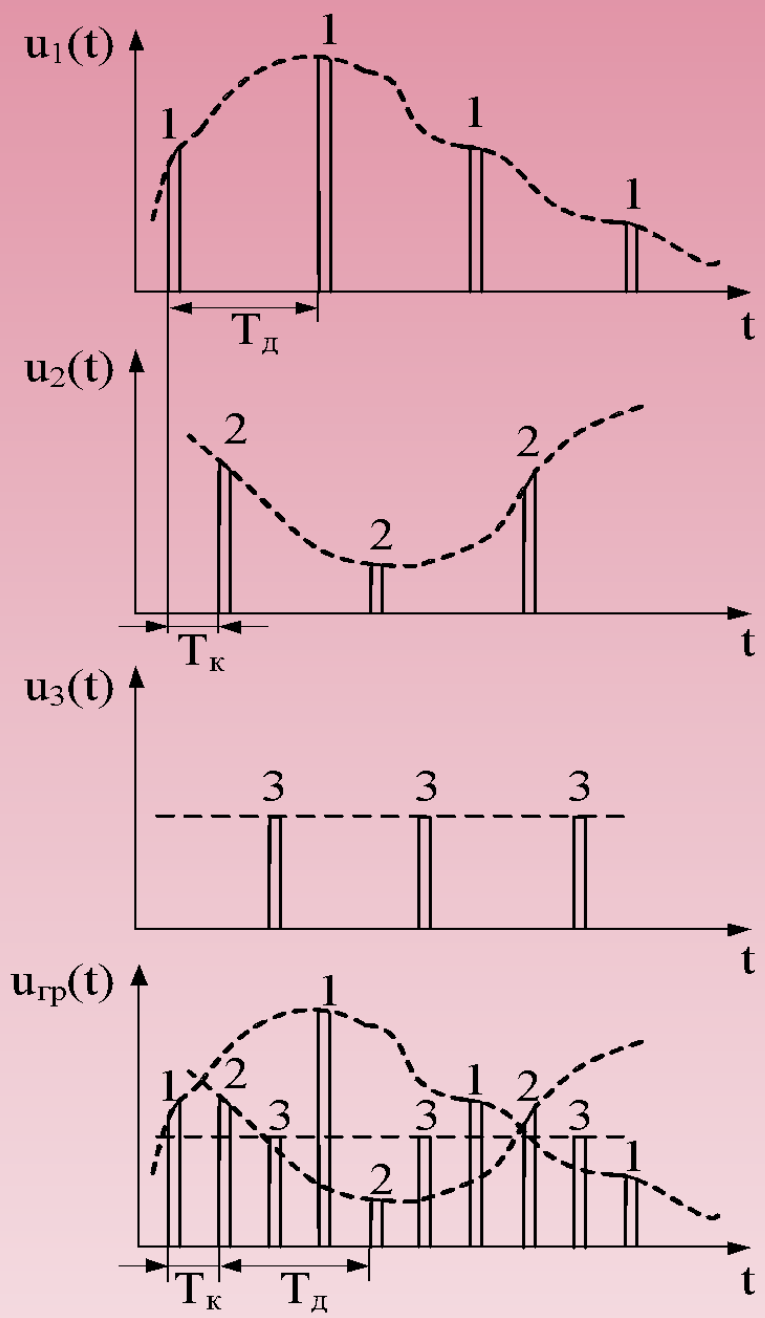
ФНЧ на передаче ограничивают спектр исходного непрерывного сигнала до значения 3,4 кГц

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.

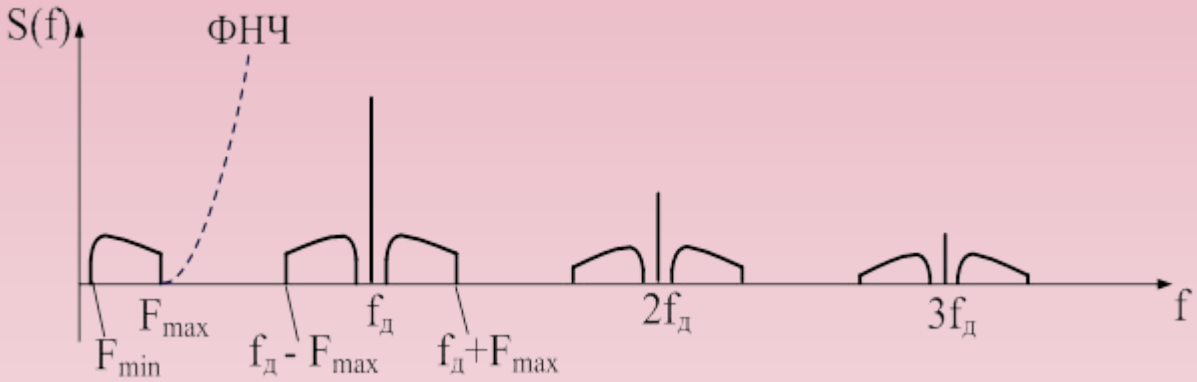
ФНЧ на приеме – это демодуляторы АИМ-сигнала, они преобразуют последовательность АИМ-отсчетов в исходный непрерывный сигнал

Интервал времени между ближайшими импульсами группового сигнала Тк 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

$$Nгр = N + n \quad \text{импульсов,}$$

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 $F_{min} \ldots F_{max}$ 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 ΔU**

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:

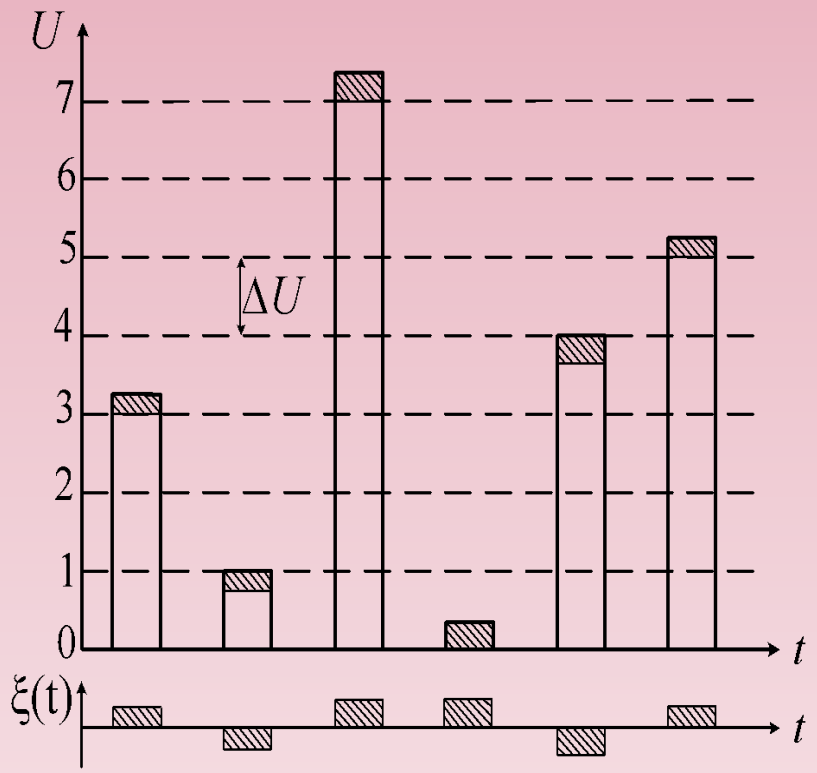
$$\xi(t) = U(t) - U_{кв}(t).$$

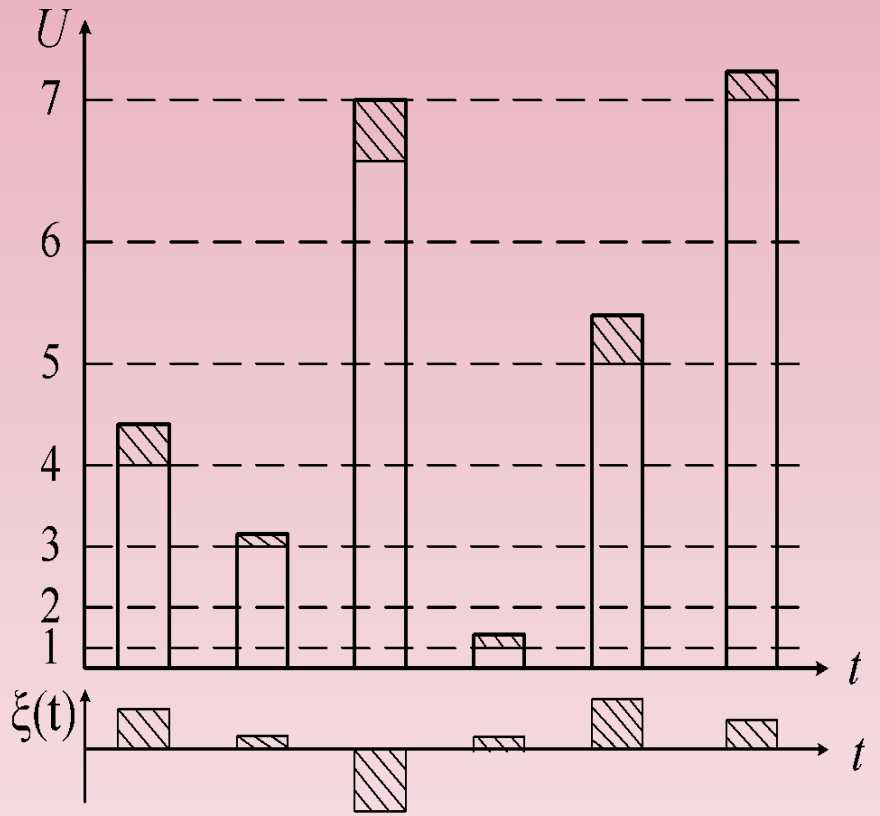
Ошибка квантования лежит в пределах:

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

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 компандирования типа А-87,6/13.

А-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

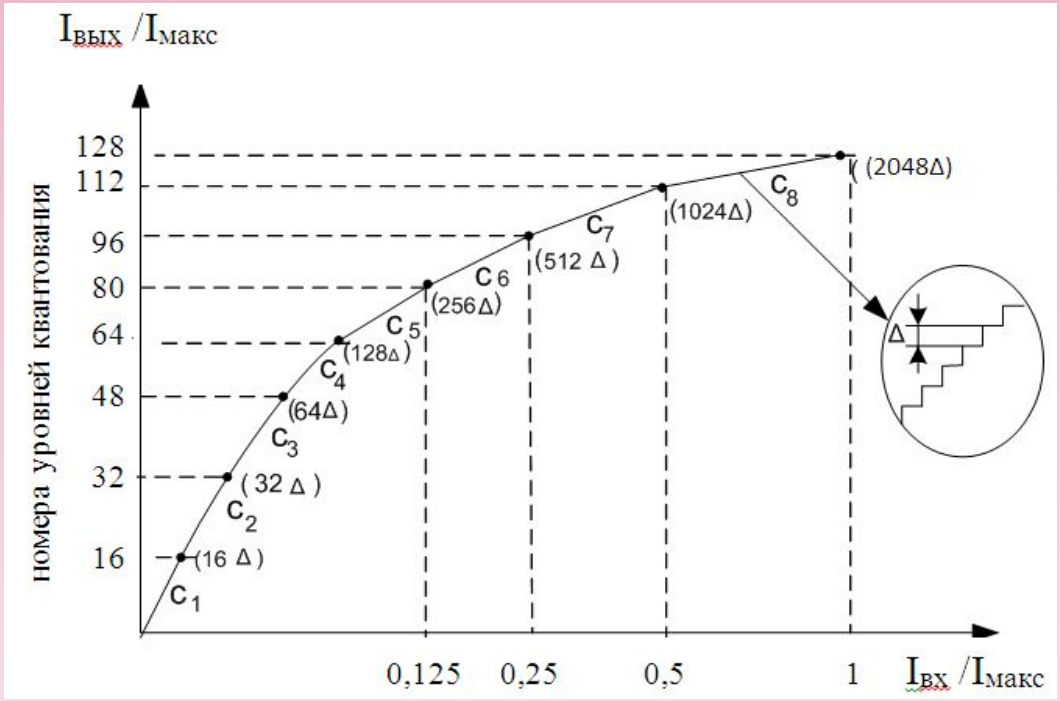
Каждый сегмент начинается с определенного эталонного сигнала - **основного** эталона

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

Номер сег-мента	Кодовая комбинация номера сегмента	Эталонные токи					Шаг кванто-вания	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 1Δ.

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)

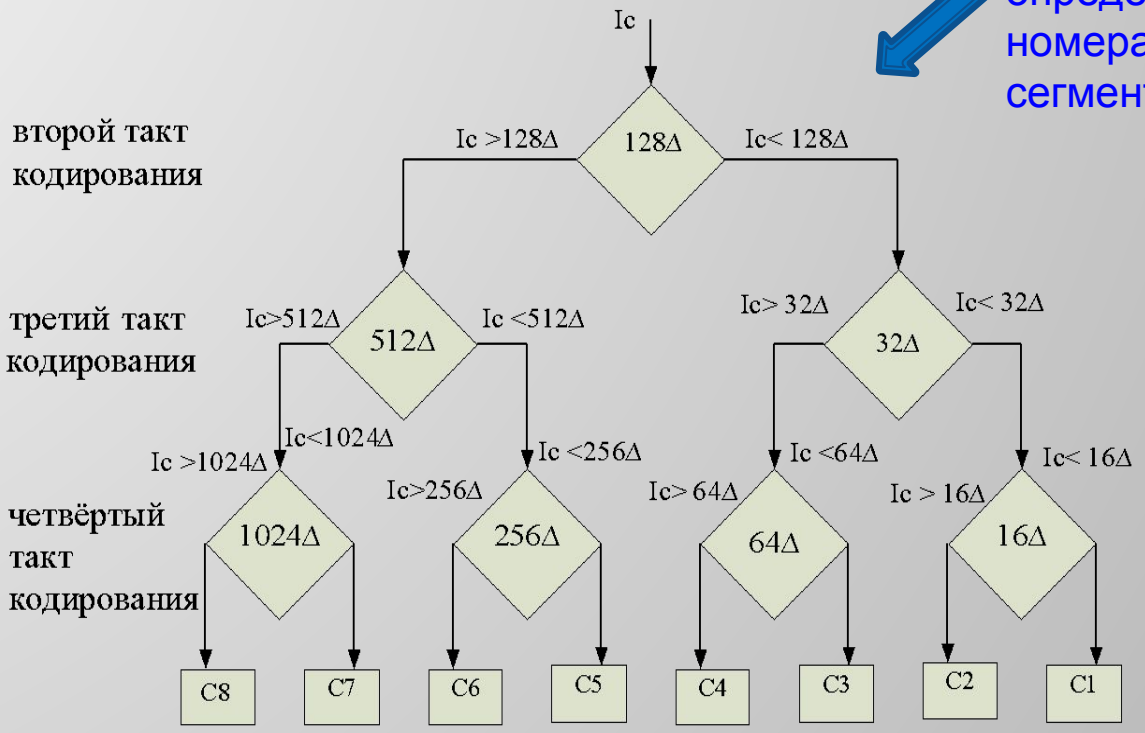
1 этап:

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

отсчет отрицательный - в первом разряде «**0**».

2 этап:

Алгоритм определения номера сегмента

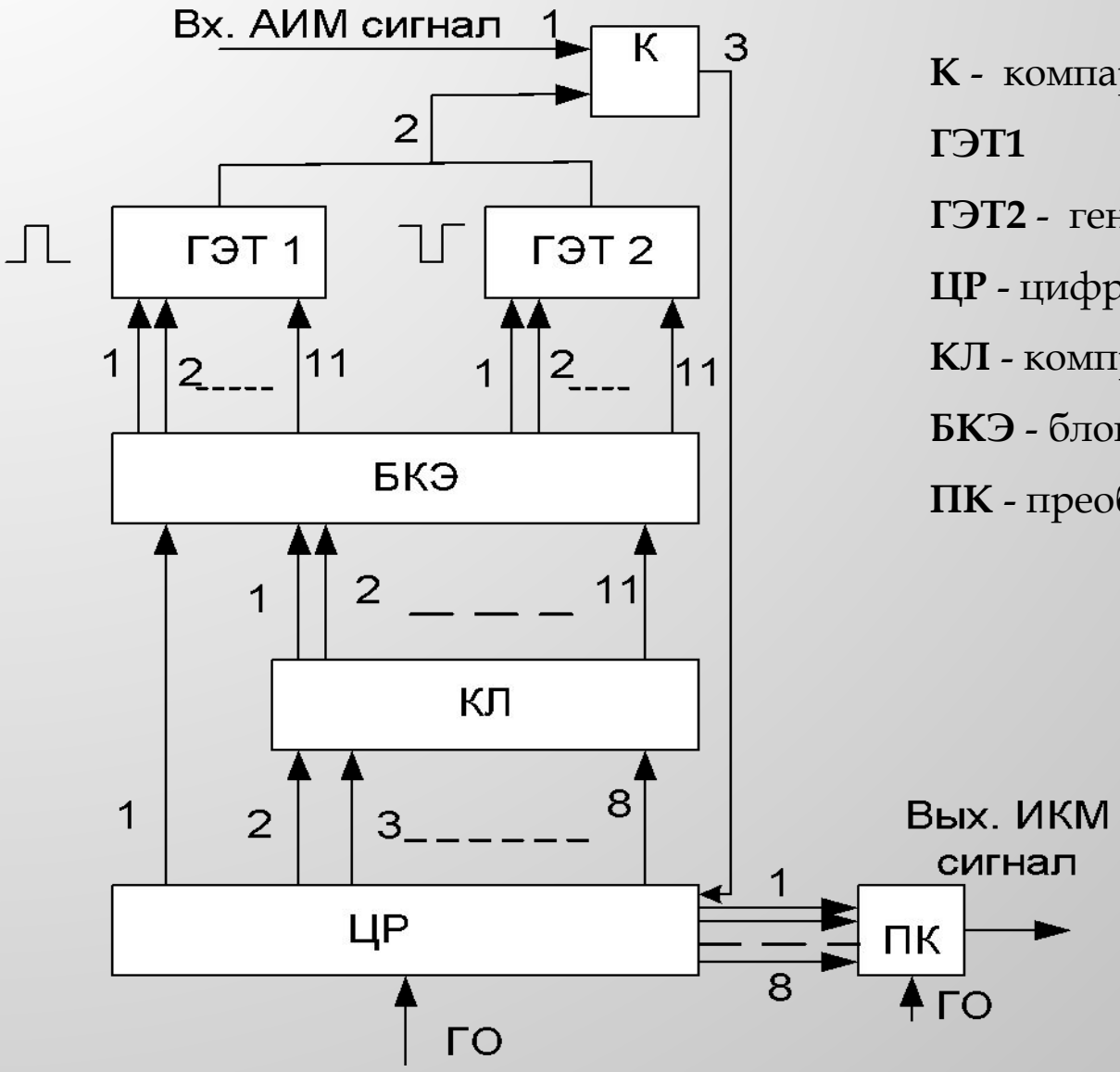


3 этап:

Дополнительные эталоны выбираются в соответствие 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 $I_{сигн} - \sum I_{эт}$	Решение компа-ратора	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 $I_{эт\ осн.} = 256\Delta$				
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: $\mathbf{I_{ош} = I_{сигн} - \sum I_{эт}}$

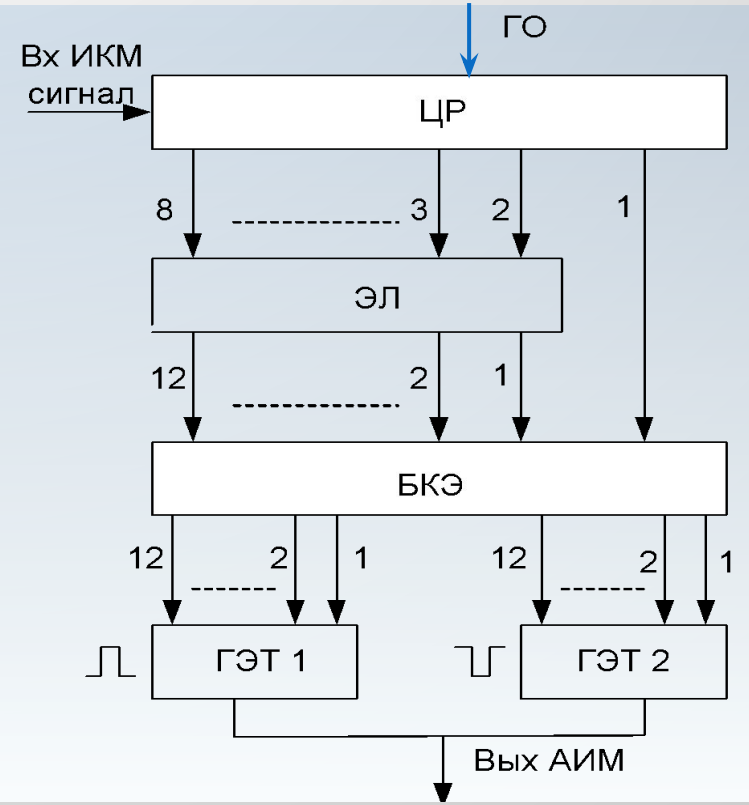
для рассмотренного примера она составит: $I_{ош} = 410\Delta - 400\Delta = 10\Delta$

ДЕКОДИРОВАНИЕ

Декодирование – это формирование сигнала АИМ-II 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

	Опреде-ление поляр-ности	Подключение эталонных токов								Сумма эталон-ных токов
		основ-ного			дополнительных				кор-рекции	
					1	2	3	4		
Кодовая комбинация	**0**	**0**	**1**	**0**	**1**	**0**	**1**	**0**		
Значения эталонных токов	«–»	32			16		4		1	-53Δ

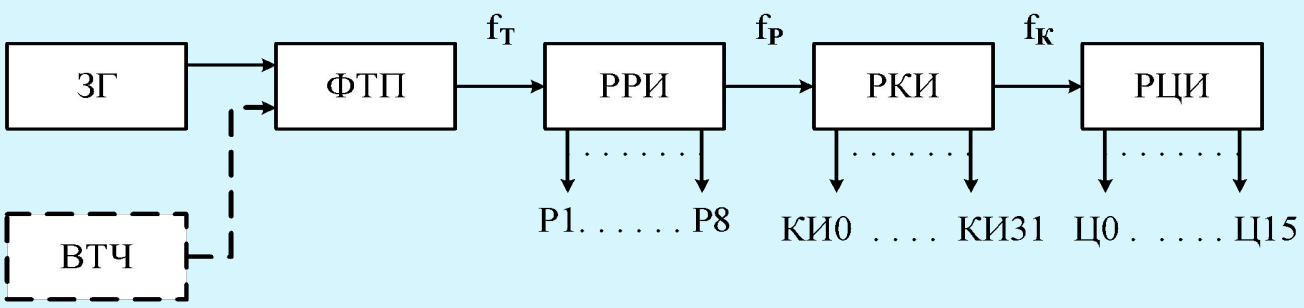
ГЕНЕРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЦСП

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.

ГО формирует
- импульсные последовательности с тактовой частотой $f_т$
- импульсные последовательности с разрядной частотой $f_р$
- импульсные последовательности с канальной частотой $f_к$
- импульсные последовательности с цикловой частотой $f_ц$

Тактовая частота определяет частоту следования битов информации в первичном потоке. Ее значение определяется по формуле: $F_т = F_д \cdot m \cdot N_{ки'}$

Для первичного цифрового потока $F_т = 8 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 32 = 2048$ 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 Р1 до Р8 с частотой

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

Распределитель канальных импульсов

формирует 32 импульсные последовательности (Nки =32) с частотой

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

Распределитель цикловых импульсов

формирует 16 импульсных последовательностей (Sц=16) с частотой

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

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:

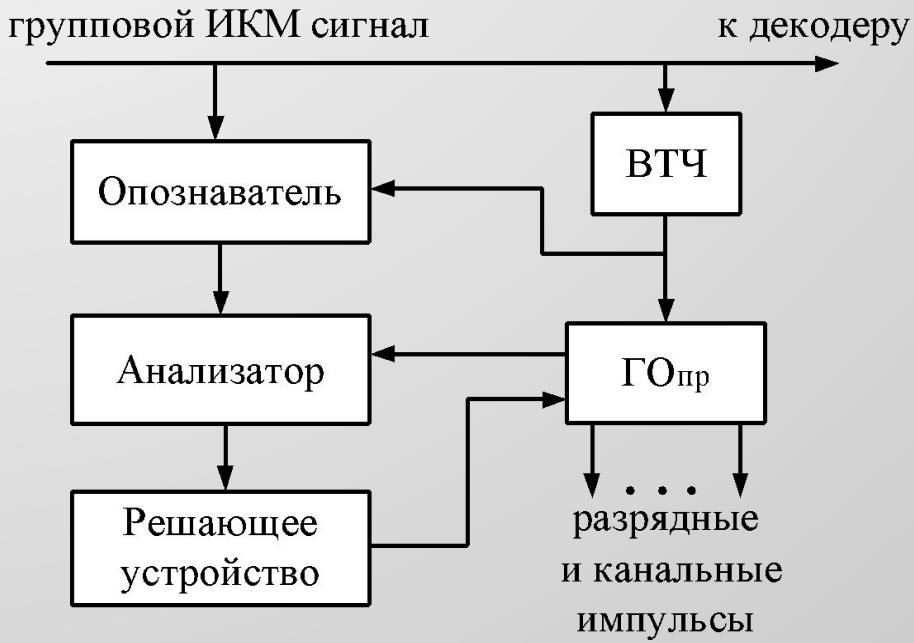
- метод пассивной фильтрации (или резонансный метод)
- метод активной фильтрации

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:

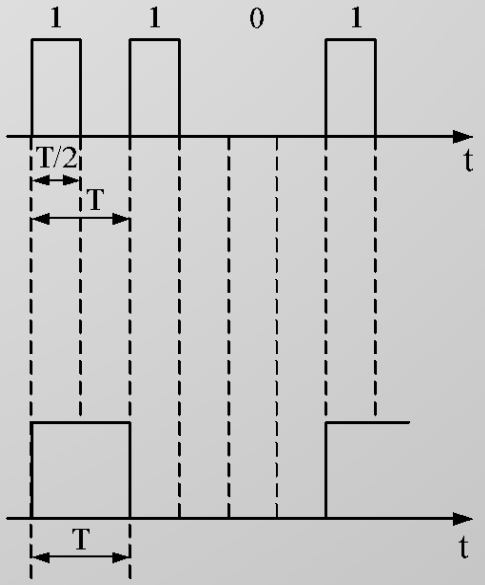
- состояние синхронизма
- момент выхода из синхронизма
- управляет работой соответствующих узлов ГО в режиме поиска синхронизма

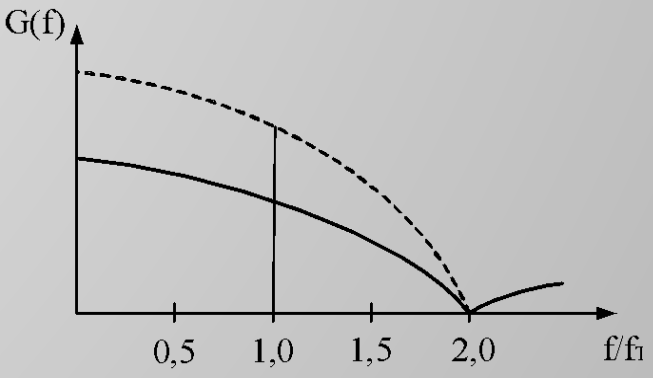
ФОРМИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ

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

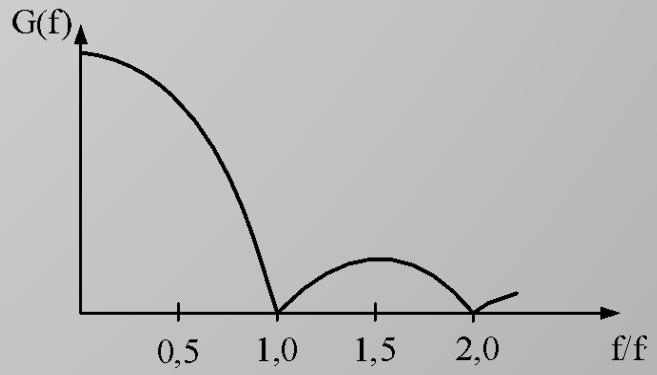
- энергетический спектр сигнала должен ограничиваться снизу и сверху, быть достаточно узким, располагаться на сравнительно низких частотах и не содержать постоянной составляющей.
- структура сигнала должна позволять достаточно просто выделять из него сигнал тактовой частоты;
- код должен обладать информационной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

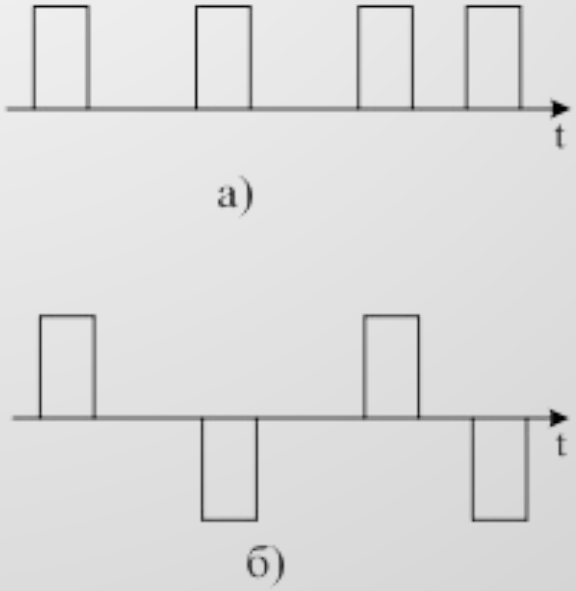
Наиболее мощные частотные компоненты в сигнале кода ЧПИ расположены в области частот, прилегающих к $0{,}5f_т$, поэтому условия прохождения сигналов по линии связи рассматриваются на полутактовой частоте

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

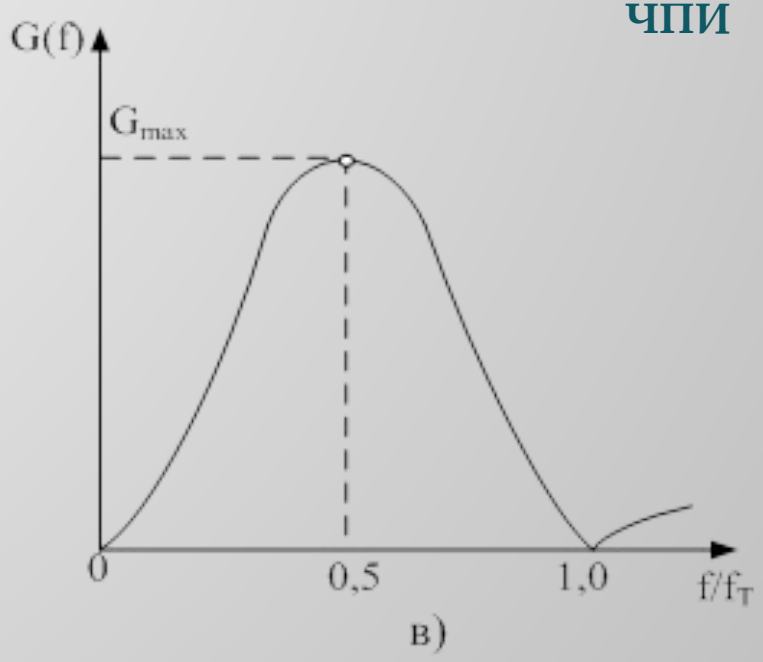
Выделение тактовой частоты из спектра линейного сигнала несложно

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

Временные диаграммы формирования из кода ВН кода ЧПИ



энергетический спектр кода ЧПИ



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:

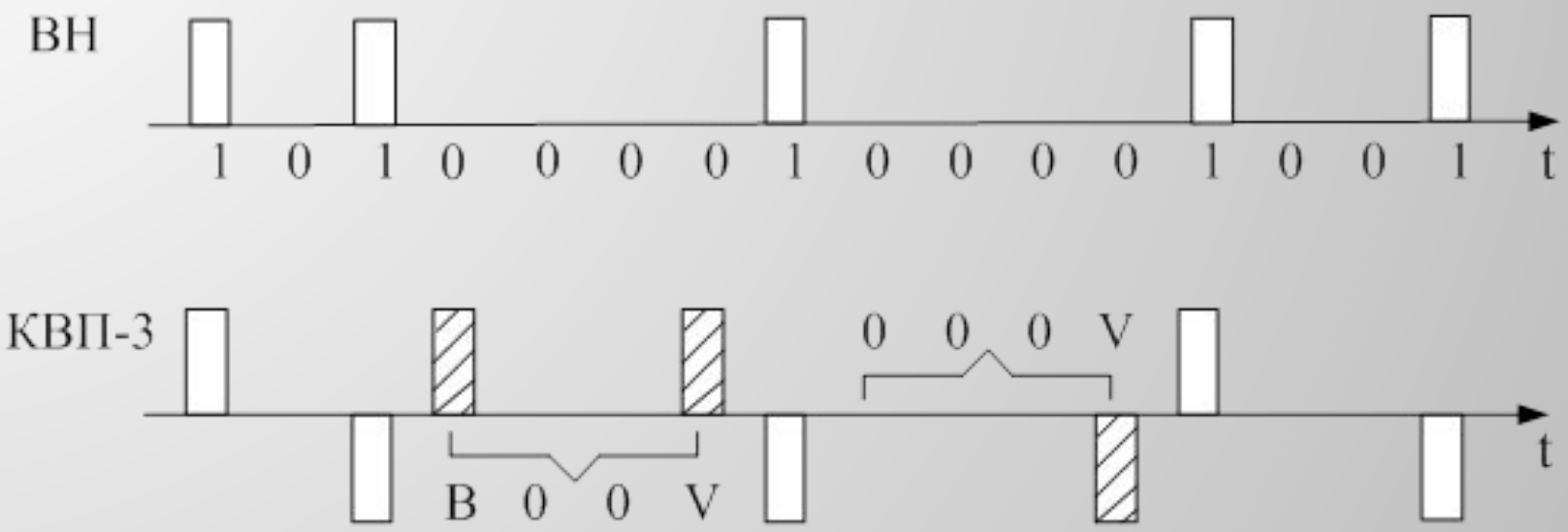
- устранена трудность выделения тактовой частоты при наличии в исходной последовательности пакетов нулей;
- каждая серия из четырех нулей заменяется вставками вида «000V» и «B00V»

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

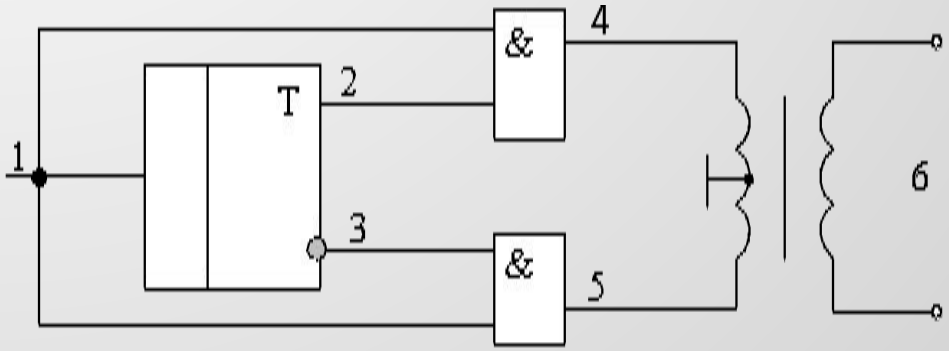
В коде КВП-3 (HDB-3) или МЧПИ обнаруживается одиночная ошибка при нарушении чередования полярности сдвоенных импульсов

формирование кода КВП-3 из сигнала в коде ВН



ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ КОДА передачи

$ПК_{пер}$ осуществляет преобразование исходной двоичной последовательности цифрового сигнала в коде ВН в один из линейных кодов, в данном случае в код ЧПИ



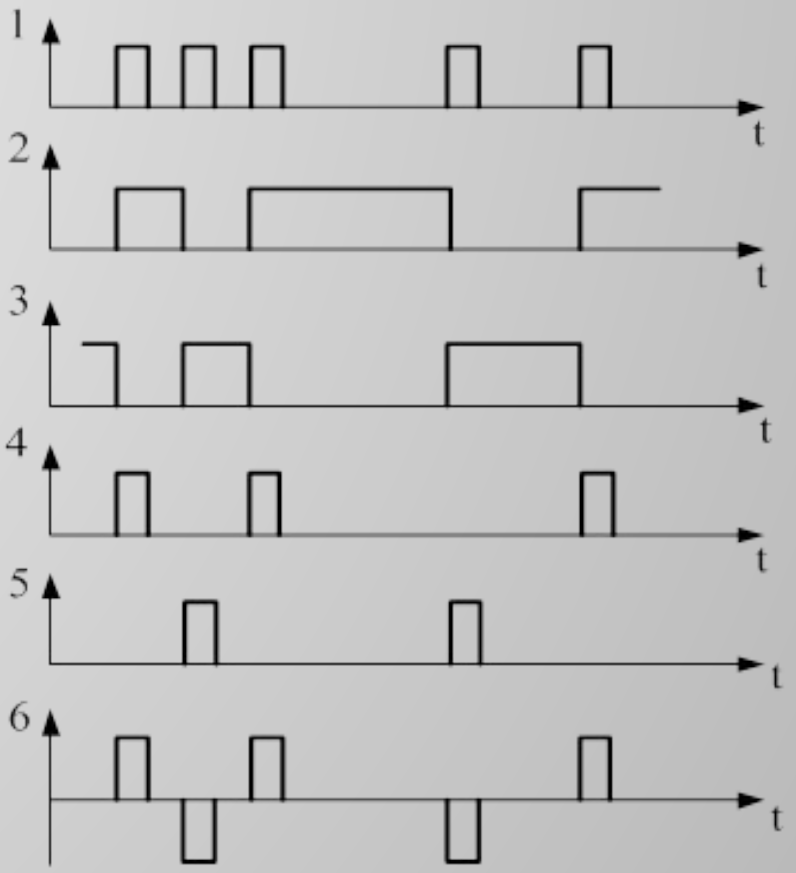
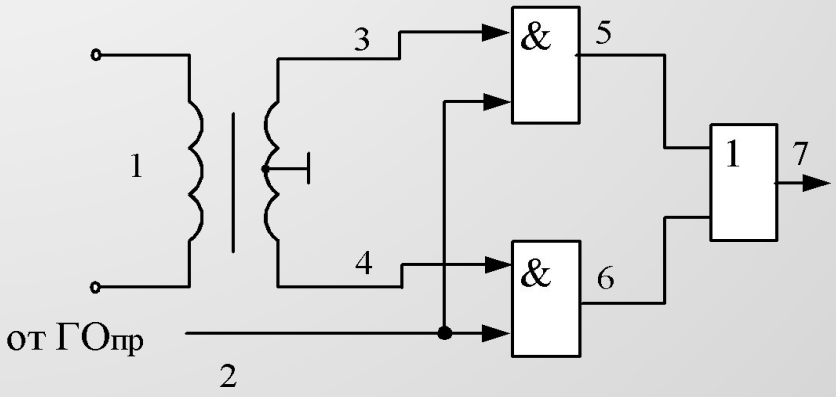


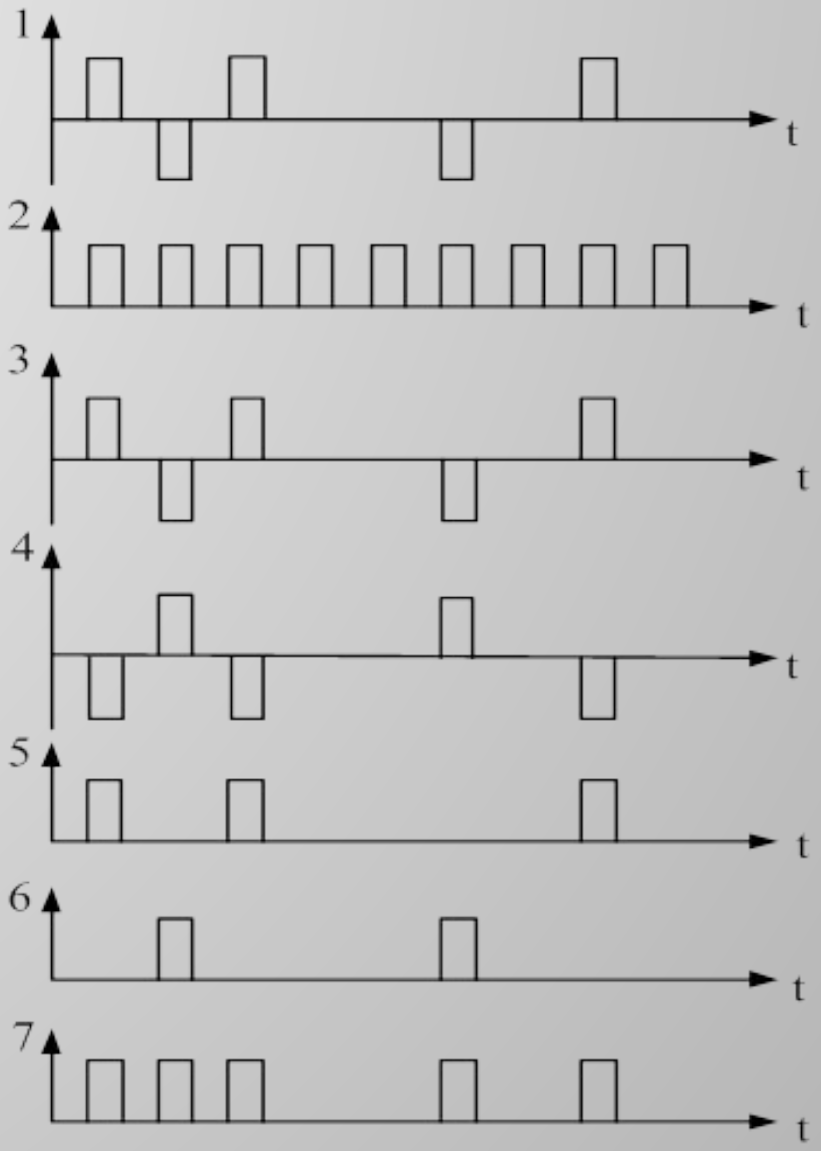
Схема **преобразователя кода передачи** включает в себя счетный триггер, две логические схемы «И» и трансформатор с заземленной средней точкой

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ КОДА приема

ПК$_{пр}$ 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»



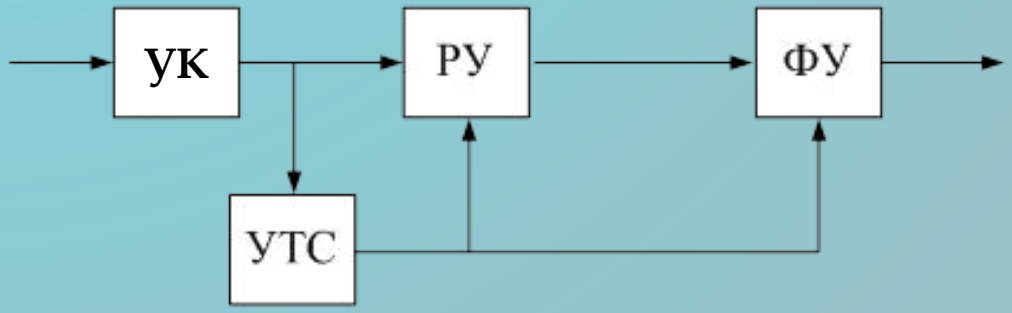
РЕГЕНЕРАТОРЫ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ

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, станционные 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).

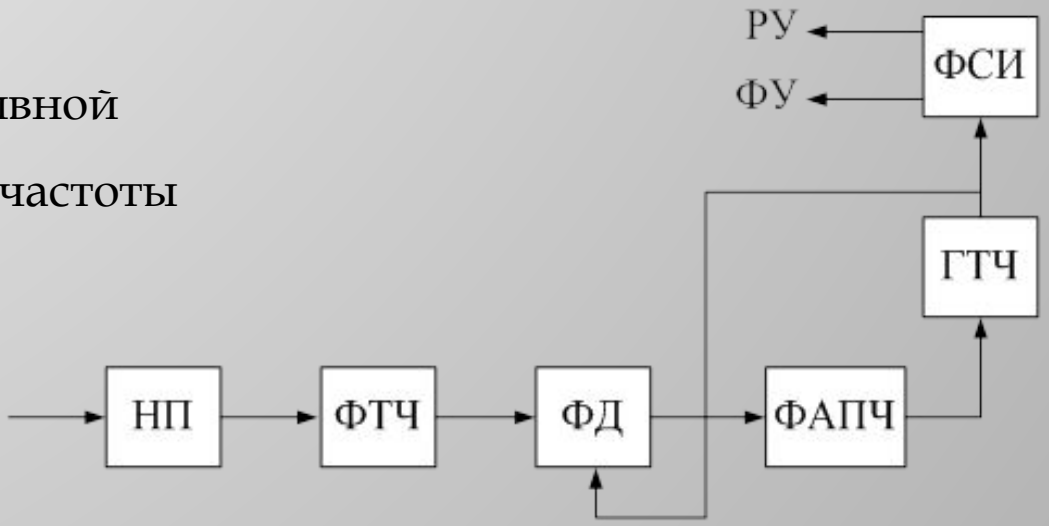
Решающее устройство представляет собой пороговую схему, которая срабатывает, если уровень сигнала на его входе превышает пороговый уровень РУ, и не срабатывает, если уровень входного сигнала меньше уровня порога.

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:

$$K_{ош} = N_{ош} / N$$

$K_{ош}$ 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