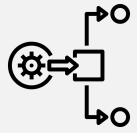


## Цифровые системы связи.

Особенности построения цифровых систем передачи. Формирование группового сигнала. Принципы синхронизация, регенерация цифровых сигналов. Мультиплексирование первичных цифровых потоков. Помехоустойчивое кодирование.

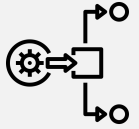


## 1. Особенности построения цифровых систем передачи

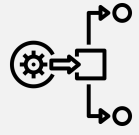
Основной тенденцией развития телекоммуникаций во всем мире является *цифровизация* сетей связи, предусматривающая построение сети на базе цифровых методов передачи и коммутации. Это объясняется следующими существенными преимуществами цифровых методов передачи перед аналоговыми.

Высокая помехоустойчивость. Представление информации в цифровой форме позволяет осуществлять регенерацию (восстановление) этих символов при передаче их по линии связи, что резко снижает влияние помех и искажений на качество передачи информации.

Слабая зависимость качества передачи от длины линии связи. В пределах каждого регенерационного участка искажения передаваемых сигналов оказываются ничтожными. Длина регенерационного участка и оборудование регенератора при передаче сигналов на большие расстояния остаются практически такими же, как и в случае передачи на малые расстояния. Так, при увеличении длины линии в 100 раз для сохранения неизменным качества передачи информации достаточно уменьшить длину регенерационного участка лишь на несколько процентов.

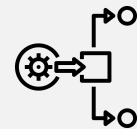


- **Стабильность параметров каналов ЦСП.** Стабильность и идентичность параметров каналов (остаточного затухания, частотной и амплитудной характеристик и др.) определяются в основном устройствами обработки сигналов в аналоговой форме. Поскольку такие устройства составляют незначительную часть оборудования ЦСП, стабильность параметров каналов в таких системах значительно выше, чем в аналоговых. Этому также способствует отсутствие в ЦСП влияния загрузки системы на параметры отдельных каналов.
- **Эффективность использования** пропускной способности каналов для передачи дискретных сигналов. При вводе дискретных сигналов непосредственно в групповой тракт ЦСП скорость их передачи может приближаться к скорости передачи группового сигнала. Если, например, при этом будут использоваться временные позиции, соответствующие только одному каналу ТЧ, то скорость передачи будет близка к 64 кбит/с, в то время как в аналоговых системах она обычно не превышает 33,6 кбит/с.
- **Возможность построения цифровой сети связи.** Цифровые системы передачи в сочетании с цифровыми системами коммутации являются основой цифровой сети связи, в которой передача, транзит и коммутация сигналов осуществляются в цифровой форме. При этом параметры каналов практически не зависят от структуры сети, что обеспечивает возможность построения гибкой разветвленной сети, обладающей высокими надежностными и качественными показателями.



## 2. Принципы синхронизации в ЦСТП, тактовая синхронизация управляющих устройств.

В ЦСТП с ВРК (временным разделением каналов) правильное восстановление исходных сигналов на приеме возможно только при синхронной и синфазной работе генераторного оборудования на передающей и приемной станциях (ГОпер и ГОпр). Учитывая принципы формирования цифрового группового сигнала, для нормальной работы ЦСТП должны быть обеспечены следующие виды синхронизации: тактовая, цикловая и сверхцикловая.

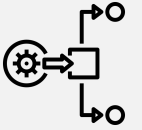


**Тактовая синхронизация** обеспечивает равенство скоростей обработки цифровых сигналов в линейных и стационарных генераторах, кодеках и др. устройствах ЦСТП, осуществляющих обработку сигнала с тактовой частотой  $F_t$ .

**Цикловая синхронизация** обеспечивает правильное разделение и декодирование кодовых групп цифрового сигнала и распределение декодированных отсчетов по соответствующим каналам в приемной части аппаратуры.

**Сверхцикловая синхронизация** обеспечивает на приеме правильное распределение СУВ по соответствующим телефонным каналам.

Нарушение хотя бы одного из видов синхронизации приводит к потере связи по всем каналам ЦСТП. Рассмотрим случаи нарушения цикловой и сверхциклового синхронизации (при наличии тактовой).

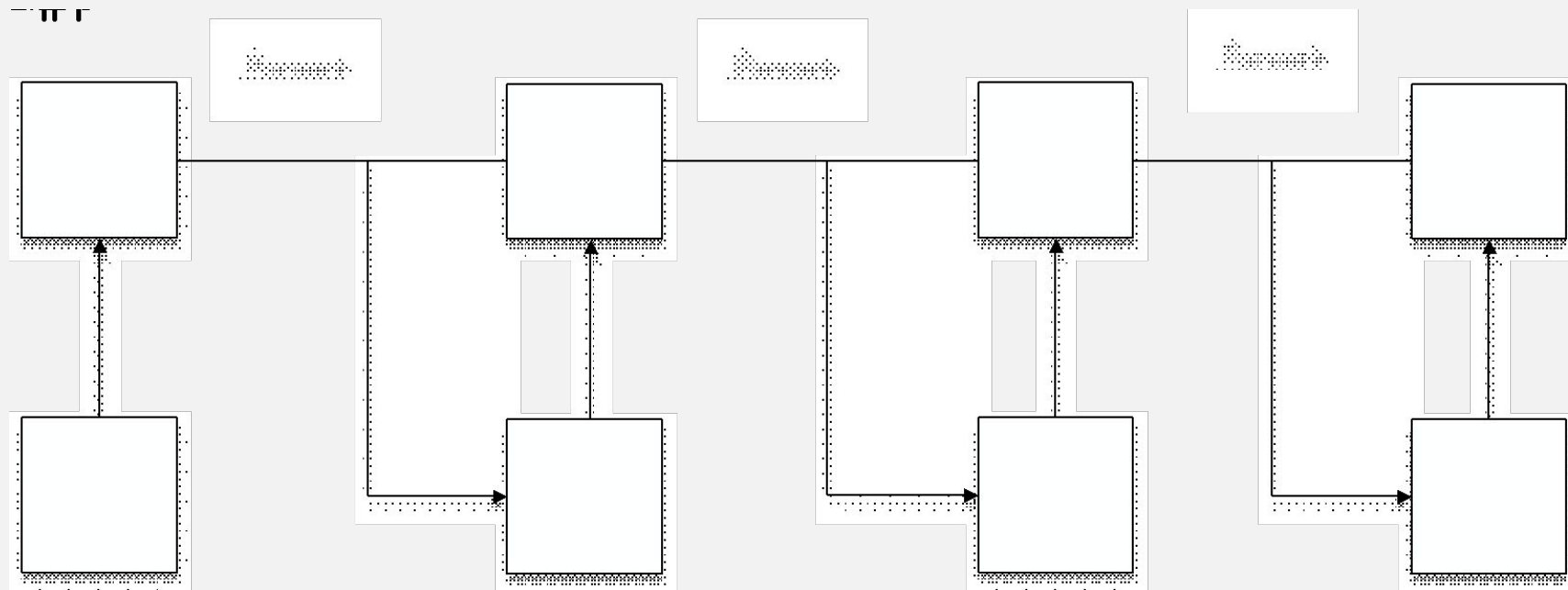


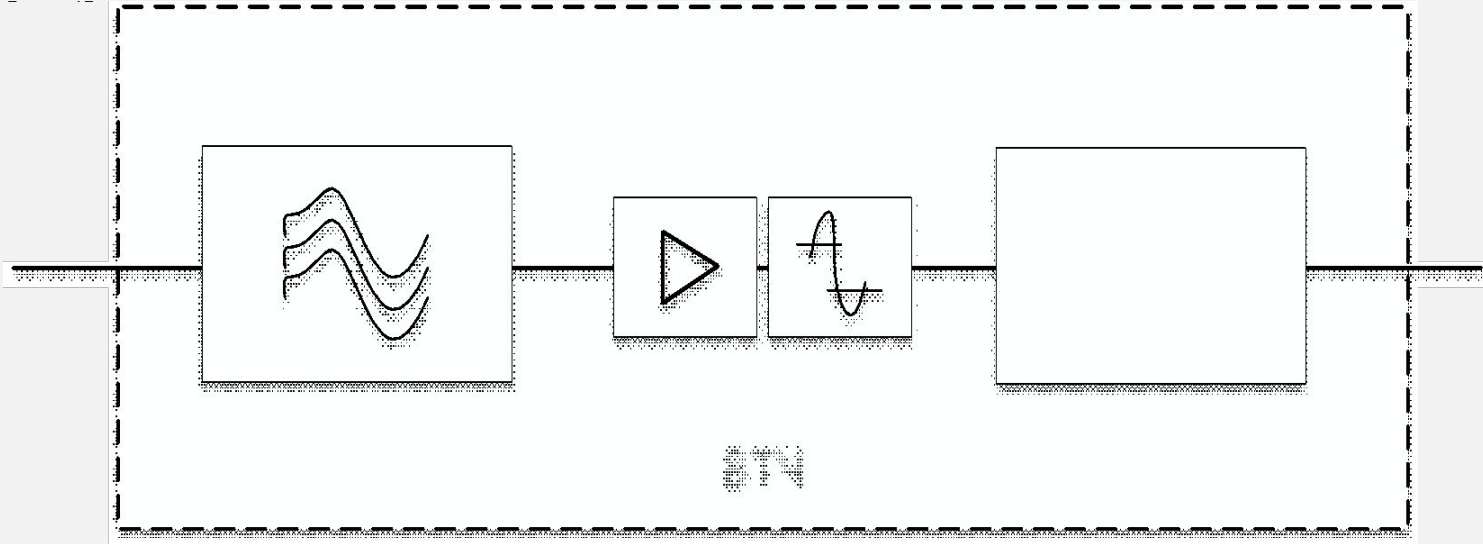
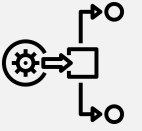
- При нарушении цикловой синхронизации границы циклов на приём произвольно смещаются по отношению к границам циклов группового сигнала, поступающего на выход приемного оборудования. Это приводит к неправильному разделению каналовых сигналов и СУВ, т.е к потере связи по всем каналам. В частном случае может произойти переадресация информации, при которой на выход какого либо из каналов будет поступать информация, относящаяся к некоторому другому каналу. Очевидно, что нарушение цикловой синхронизации неизбежно приведет к нарушению сверхцикловой синхронизации.
- При нарушении сверхцикловой цикловой синхронизации границы циклов на приеме произвольно смещаются по отношению к границам циклов группового сигнала, поступающего на вход приемного оборудования. Это приводит к неправильному разделению каналовых сигналов и СУВ, т. е. к потере связи по всем каналам. В частном случае (если временной сдвиг  $T$  окажется кратным  $T_{ки}$ ) может произойти переадресация информации, при которой на выход  $i$ -го канала будет поступать информация, относящаяся к некоторому  $j$ -му каналу. Очевидно, что нарушение цикловой синхронизации неизбежно приведет к нарушению сверхцикловой синхронизации.

Очевидно, что нарушение тактовой синхронизации сделает невозможным установление цикловой и сверхцикловой синхронизации, так как обработка символов цифрового группового сигнала с частотой, отличной от тактовой  $F_t$ , приведет к недопустимому возрастанию числа ошибок.

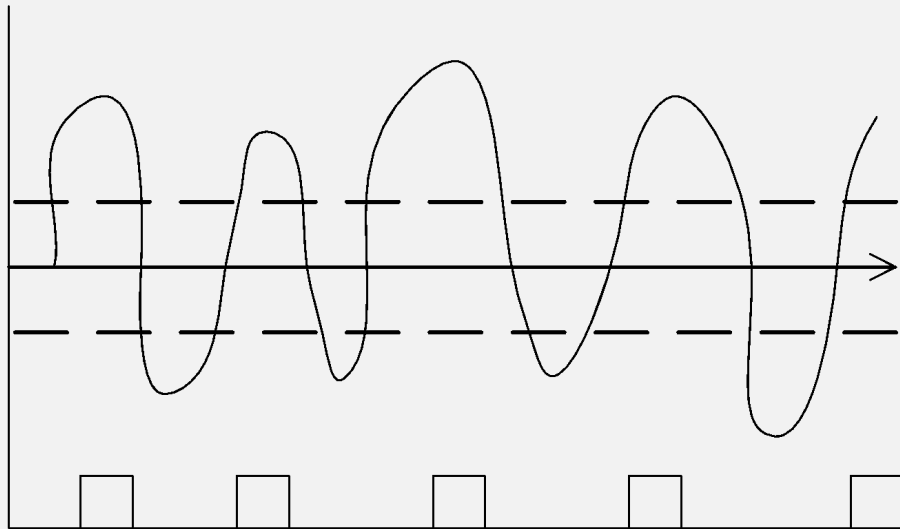
Система тактовой синхронизации включает в себя (Рисунок ниже) задающий генератор (ЗГ), входящий в состав ГО передающего оборудования оконечной станции (Пер) и вырабатывающий импульсную последовательность с тактовой частотой  $F_t$ , и устройства выделения тактовой частоты (ВТЧ), устанавливаемые в том оборудовании, где осуществляется обработка сигнала с частотой  $F_t$ : в линейных регенераторах (ЛР), приемном оборудовании (Пр) оконечной станции и др.

Сущность одного из наиболее распространенных методов выделения тактовой частоты состоит в том, что из спектра группового цифрового сигнала с помощью ВТЧ, содержащего высокочастотные резонансные контуры, фильтры-выделители или избирательные усилители, выделяется тактовая частота.



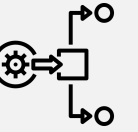


Упрощенная схема ВТЧ, которая содержит полосовой фильтр, усилитель ограничитель, схему формирования тактовых импульсов



Временные диаграммы формирования тактовых импульсов



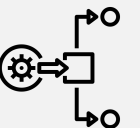
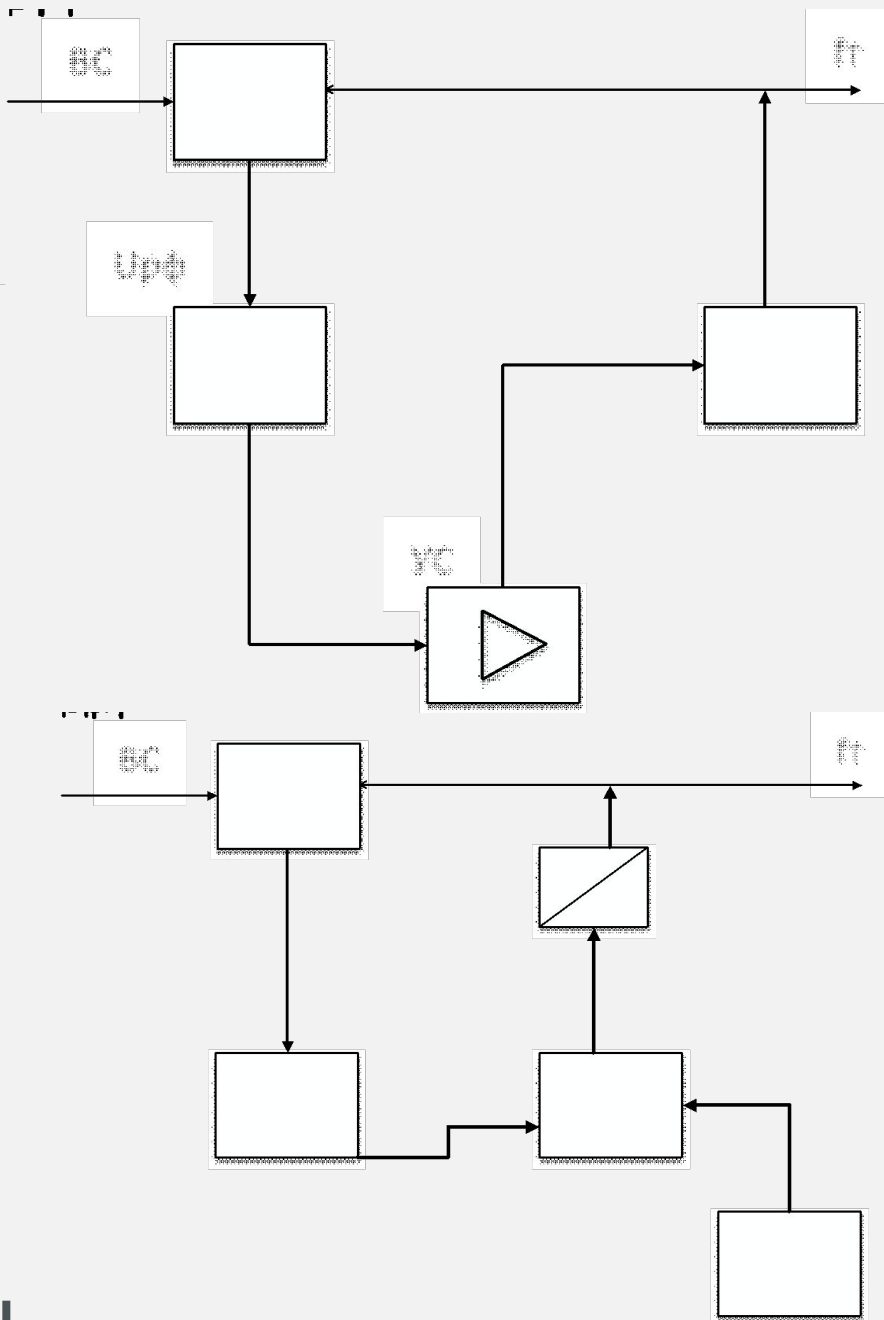


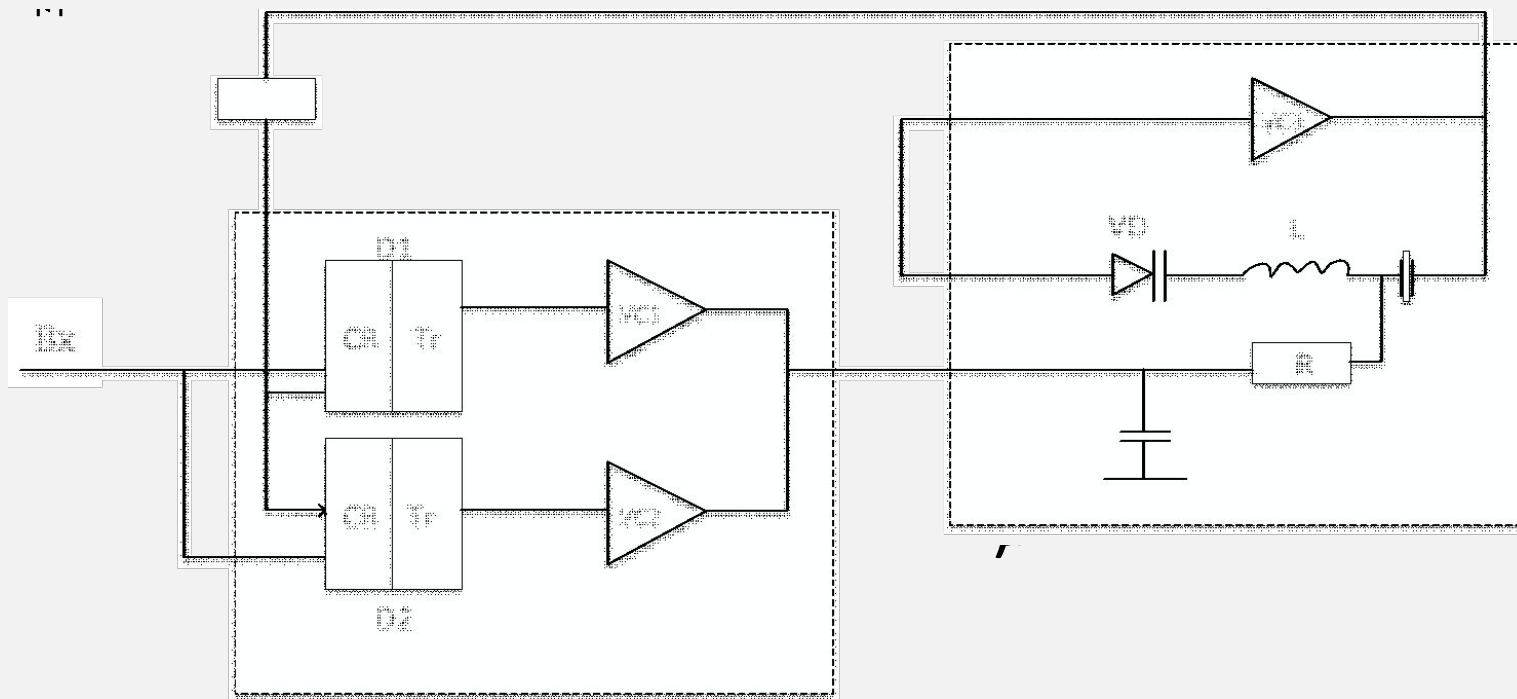
Такой способ выделения тактовой частоты называется способом пассивной фильтрации (или резонансным). Этот способ характеризуется простотой реализации ВТЧ, но имеет существенный недостаток: стабильность выделения тактовой частоты зависит от стабильности параметров фильтра-выделителя и структуры цифрового сигнала (при появлении длинных серий нулей или кратко временных перерывах связи затрудняется процесс выделения тактовой частоты).

Перспективным для высокоскоростных ЦСП, но более сложным, является способ тактовой синхронизации с применением устройств авто подстройки частоты генератора тактовой частоты приемного оборудования (способ активной фильтрации). Структурные схемы устройств тактовой-синхронизации с активной фильтрацией тактовой частоты представлены на следующем слайде

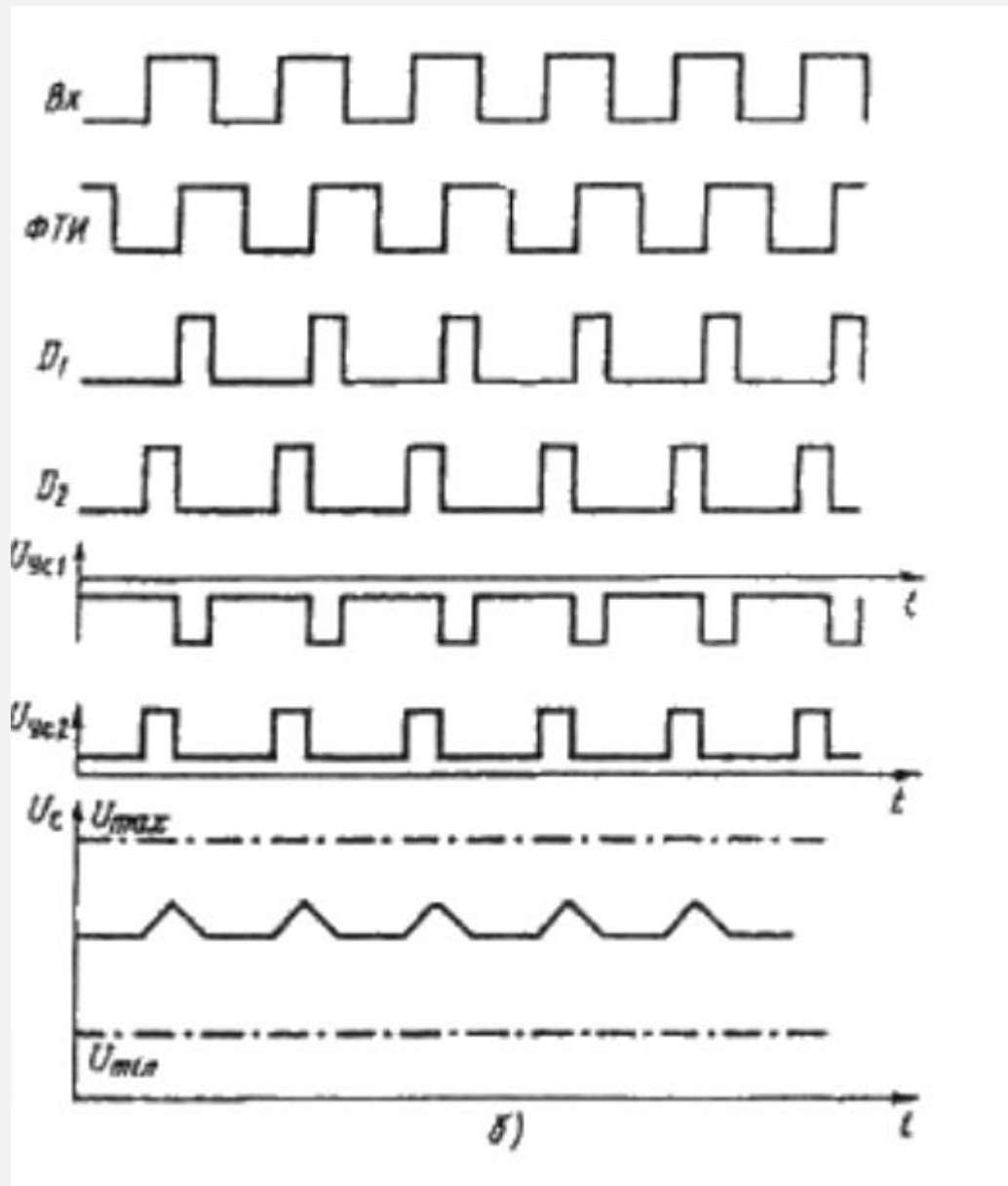
УТС с активной фильтрацией тактовой частоты подразделяются на две группы:

- 1) С непосредственным воздействием на местный ЗГ тактовой частоты.
- 2) С воздействием на промежуточный преобразователь тактовой последовательности. В схеме с непосредственным воздействием на ЗГ (Рис.а) подстройка тактовой частоты под частоту принимаемых импульсов осуществляется по управляющему напряжению УРФ, снимаемому с фазового дискриминатора ФД, значение и знак которого зависят от значений и знака разности фаз входных сигналов ФД. Так как напряжение УРФ на выходе ФД имеет дискретный характер, непрерывное регулирование частоты ЗГ можно осуществить, пропуская напряжение УРФ через интегратор (сглаживающую цепочку). Во втором случае (Рис.б) изменение тактовой частоты осуществляется изменением числа импульсов, поступающих на вход делителя частоты ДЧ через схему управления СУ. Управление осуществляется от сигнала с выхода ФД, пропущенного через цифровой интегратор на основе реверсивного счетчика РС.

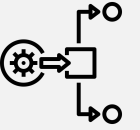




Рассмотрим принципы построения узлов UTC с активной фильтрацией тактовой частоты и непосредственным воздействием на генератор тактовой частоты ГТЧ. На Рис. (а) представлена функциональная схема UTC такого типа. Последовательность входных импульсов поступает на ФД, состоящий из двух триггеров D1 и D2 соединенных с ними усилителей Ус1 и Ус2. На второй вход ФД поступают импульсы с выхода формирователя тактовых импульсов ФТИ. При совпадении частот следования этих импульсов интервал времени между их фронтами равен четверти периода. Фронтом импульсов ФТИ устанавливается триггер D2 и сбрасывается триггер D1, фронтом входных импульсов состояние триггеров меняется на противоположное. При этом на выходах триггеров формируются импульсы длительностью  $T/4$ , следующие до и после фронта ФТИ. Поступая на входы Ус1 и Ус2, эти импульсы формируют на выходах усилителей одинаковые по величине и противоположно направленные напряжения. При этом исходное напряжение Ус2 заряжает конденсатор С, выполняющий роль интегратора, а выходное напряжение Ус1 разряжает его.



При совпадении частоты ГТЧ с тактовой интервалы времени заряда и разряда конденсатора одинаковы, при этом напряжение на конденсаторе сохраняется неизменным. Снимаемое с конденсатора напряжение обеспечивает смещение варикапа  $V_D$ , устанавливая определенные значения его емкости и частоты кварцевого ГТЧ. Несовпадение частот следования входных импульсов и импульсов  $\Phi_{ТИ}$  вызывает изменение фазового сдвига между ними, что приводит к неравенству длительностей импульсов на выходах  $D_1$  и  $D_2$ . Напряжение на конденсаторе изменяется, изменяя емкость варикапа  $V_D$  и частоту ГТЧ. Происходящие при этом в схеме процессы поясняет Рис. б.



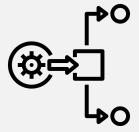
Тактовая синхронизация в ЦСП выполняется по рабочим импульсам группового цифрового сигнала, т.к. применение специальных синхроимпульсов снижает пропускную способность системы.

В ЦСП к устройствам тактовой синхронизации предъявляются следующие требования:

Высокая точность подстройки частоты и фазы управляющего сигнала ЗГ приемной части.

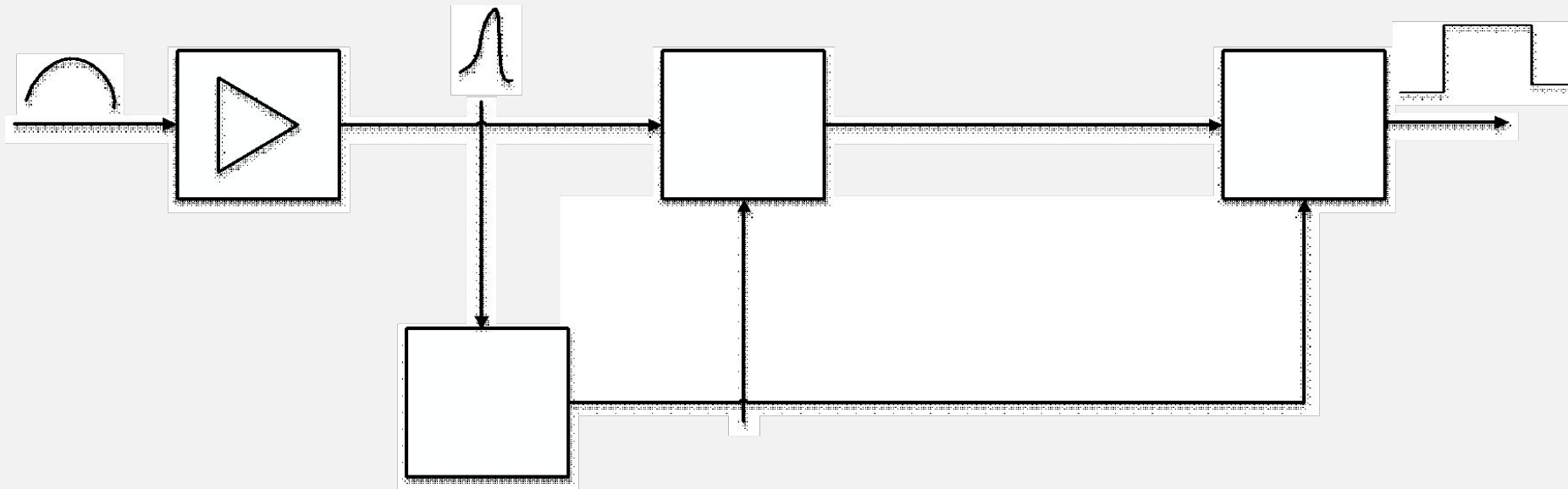
Малое время вхождения в синхронизм.

Сохранение состояния синхронизма при кратковременных перерывах связи.



### 3. Регенерация цифровых сигналов

Проходя через среду распространения, цифровой сигнал ослабляется и подвергается искажению и воздействию помех, что приводит к изменению формы и длительности импульсов, изменению случайным образом временных интервалов между импульсами, уменьшению амплитуды импульсов. Задача регенитора - восстановить амплитуду, форму, длительность каждого импульса цифрового сигнала, а также величину временных интервалов между соседними символами. В кабельных ЦСТП линейный сигнал чаще всего передается в виде комбинаций импульсов постоянного тока и пробелов что упрощает реализацию регенераторов. В то же время регенераторы кабельных систем являются наиболее распространенным элементом современных цифровых сетей. Исходя из сказанного выше рассмотрим регенерацию цифрового сигнала, представляющего собой комбинацию импульсов и пробелов (единиц и нулей). Структура регенератора представлена на следующем слайде:

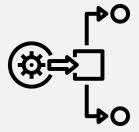


Искаженный цифровой сигнал из кабельной цепи поступает на усилитель-корректор (УК), обеспечивающий частичную или полную коррекцию формы импульсов, и регистрируется решающим устройством (РУ). Решающее устройство представляет собой пороговую схему, которая срабатывает, если уровень сигнала на его входе 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.

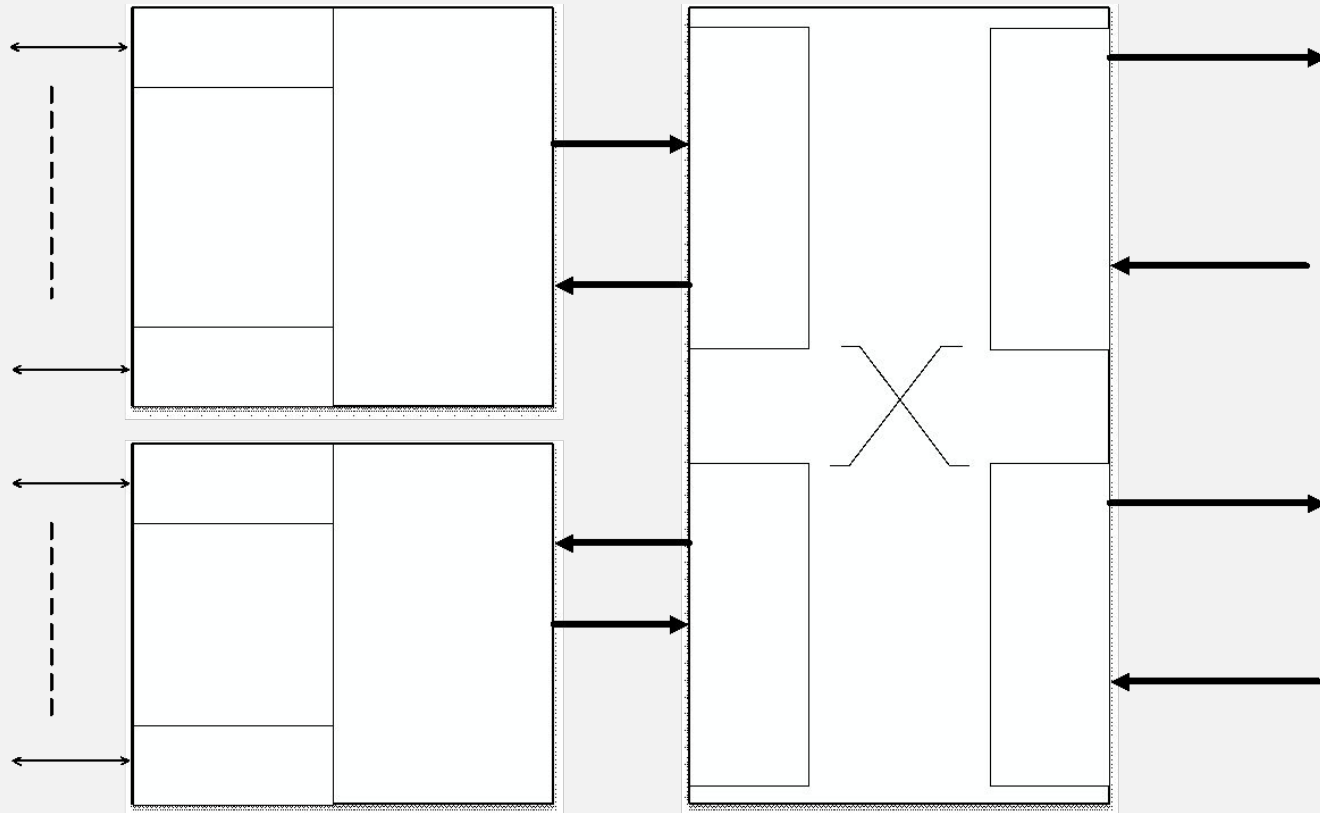
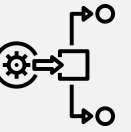
В приведенной выше схеме, характерной для современных регенераторов, регистрация входящего сигнала и принятие решения о его значении осуществляются по каждому символу в отдельности (возможно принятие решений по всей кодовой комбинации или по циклу, так называемый «прием в целом»), что значительно упрощает реализацию схемы регенератора. Однако 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, так как выбор момента регистрации в менее искаженной части импульса гарантирует верность принятия решения РУ. Верность принимаемых РУ решений зависит, в первую очередь, от способа обнаружения двоичного сигнала и качества работы УТС. При безошибочной работе РУ каждому входному импульсу соответствует выходной, а каждому «пробелу» на входе - «пробел» на выходе. Однако из-за присутствия на входе РУ различных помех, несовершенства устройства тактовой синхронизации и других причин в процессе регенерации возможны ошибки, выражающиеся в преобразовании 1 на входе регенератора в 0 на выходе и наоборот входного 0 в выходную 1.





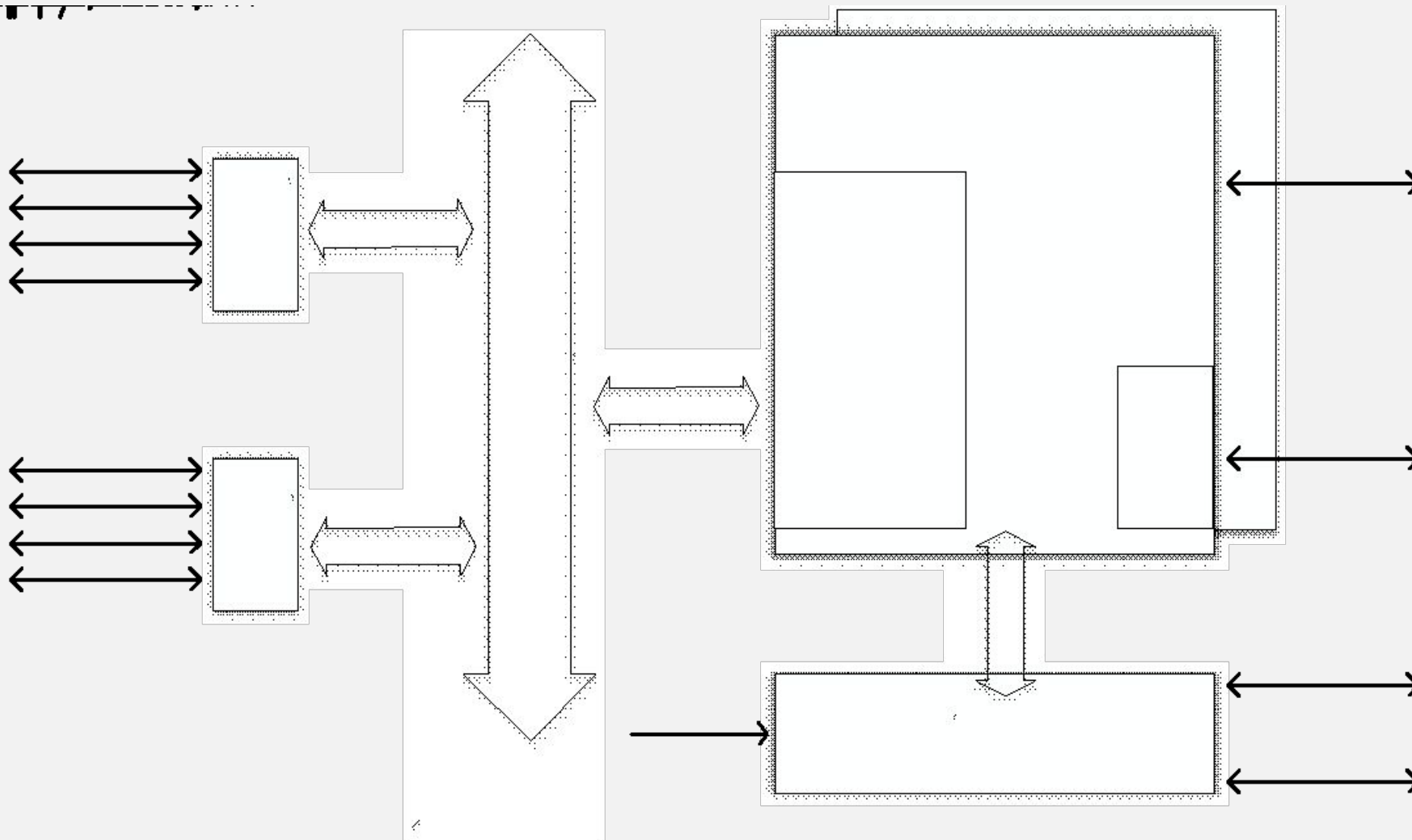
#### 4. Мультиплексирование первичных цифровых потоков.

На современных сетях первичные цифровые телекоммуникационные системы находят широкое применение. В частности, они используются как элементы универсальных систем первичного мультиплексирования. Основными элементами таких систем являются кроссконнекторы основных цифровых каналов (КК ОЦК) и первичные мультиплексоры (ПМ), которые называют также «гибкими» мультиплексорами, чтобы подчеркнуть их универсальность. На рис. (следующий слайд) показаны названные элементы системы; комбинация первичных мультиплексоров и кроссконнектора представляет собой универсальный сетевой узел. Сигналы от абонентов поступают на линейные платы ЛП первичных мультиплексоров ПМ, преобразуются в сигналы основных цифровых каналов ОЦК (64 кбит/с) и объединяются в стандартные первичные цифровые потоки (2 Мбит/с). Первичные цифровые потоки поступают на кроссконнектор КК ОЦК, который может осуществлять коммутацию как первичных потоков, так и их составляющих — основных цифровых каналов (ОЦК).



Соединения в кроссконнекторе устанавливаются как между портами первичных потоков, так и временными интервалами внутри первичного потока. Кроме того, кроссконнектор обычно может обеспечивать конференц-связь и многоточечное соединение абонентов. Кроссконнектор поддерживает различные способы передачи сигналов взаимодействия и управления.

Структурная схема КК ОЦК представлена на рис. 1.11. В его состав входят: центральный блок, платы портов 2 Мбит/с (ПП), блок интерфейсов управления и системная шина.



Основное назначение центрального блока: коммутация сигналов, подготовленных портами 2 Мбит/с, и переданных на коммутационную матрицу блока по системной шине. Кроме этого, центральный блок имеет в своем составе генераторное оборудование, обеспечивающее необходимыми сигналами все системы кроссконнектора. Генераторное оборудование может быть синхронизировано от внутреннего генератора, внешнего источника и от сигнала, выделенного из потока 2 Мбит/с. Синхросигнал от генераторного оборудования выводится на внешний выход. Кроме интерфейса синхросигнала центральный блок имеет обычно внешние интерфейсы для передачи сервисной информации. Во-первых, это интерфейс встроенного канала управления (ВКУ), для которого занимается один из информационных ОЦК. Во-вторых, это интерфейсы каналов, организуемых на тех позициях циклов первичных потоков, которые предназначены для передачи извещения о срочной и отложенной авариях. В третьих, это интерфейсы каналов, образуемых на позициях цикла, зарезервированных для нужд национальной сети. Обычно в состав центрального блока входит также блок питания КК ОЦК. Как правило, с целью повышения надежности центральный блок дублируется (100% «горячий» резерв).

Помимо системной шины в состав кроссконнектора входит также шина контроля, через которую центральный блок связан с блоком поддержки интерфейсов управления (ИУ). Блок ИУ обеспечивает связь кроссконнектора с внешней сетью управления телекоммуникациями TMN. К блоку ИУ подключается также терминал оператора.

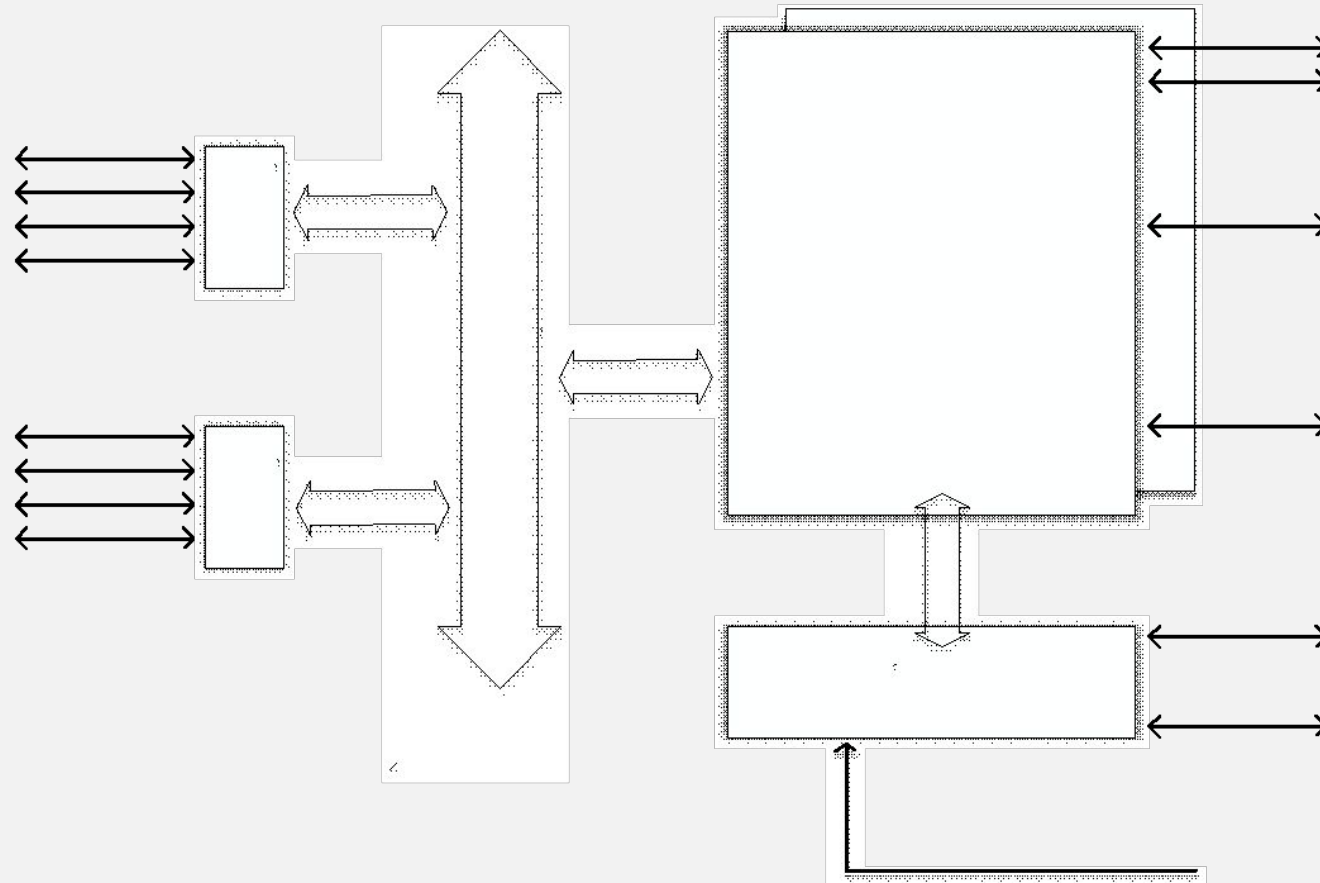
Процессор, который установлен в центральном блоке, контролирует работу всех блоков кроссконнектора, выводит аварийные сигналы и регистрирует параметры качества принимаемых сигналов.

Каждая плата портов ТПТ может содержать несколько портов трактов 2 Мбит/с. Каждый порт обеспечивает все основные функции, обеспечивающие параметры стандартного интерфейса (точки стыка) первичного цифрового тракта. К этим функциям относятся:

- преобразование кода сигнала из натурального в линейный и обратно;
- выделение тактовых сигналов из линейного;
- цикловая и сверхцикловая (при необходимости) синхронизация;
- контроль появления ошибок методом CRC-4.

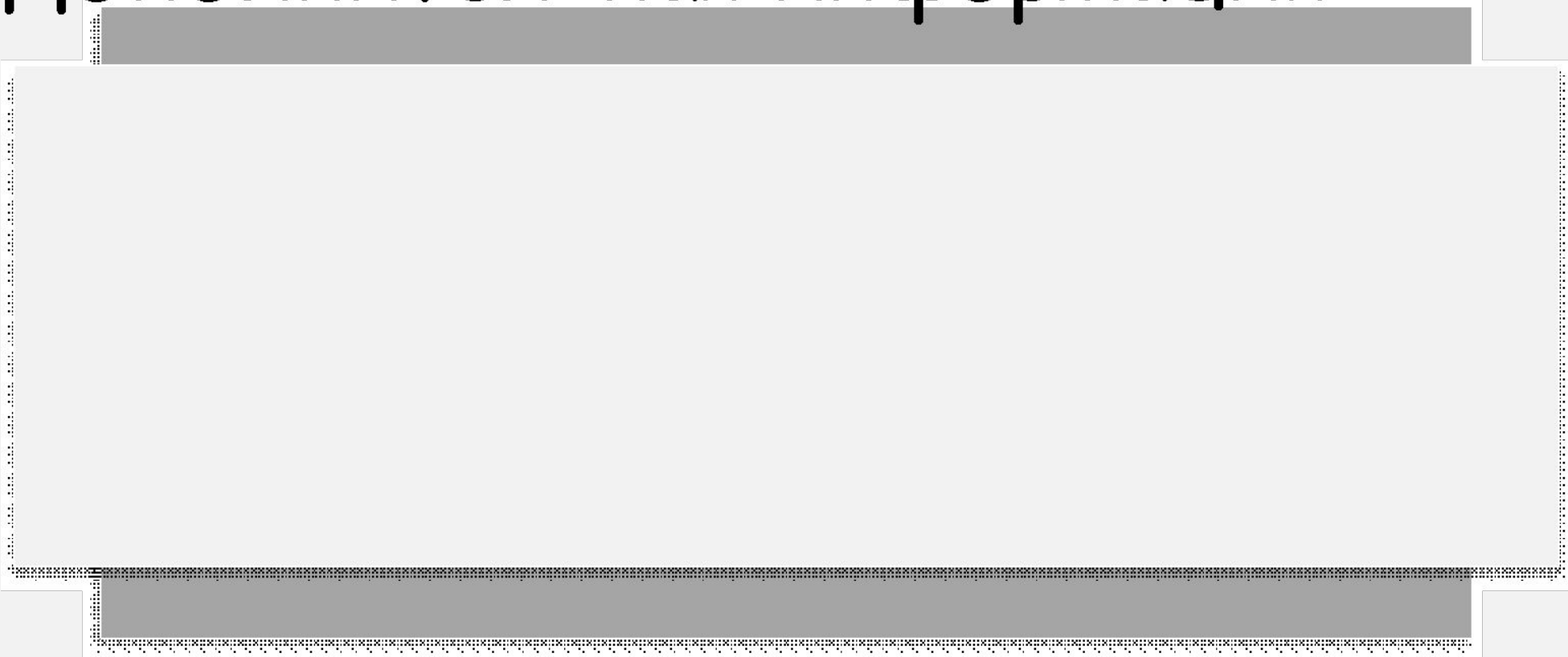
Структурная схема первичного мультиплексора ТМ представлена на рисунке. Основными узлами ТМ являются: центральный блок, линейные платы (ЛП), системная шина и шина управления и блок поддержки управляющих интерфейсов (ИУ). Универсальность («гибкость») ТМ обусловлена его модульной конструкцией и широким набором линейных плат ЛП, который позволяет поддерживать несколько десятков различных абонентских интерфейсов.

Рис. 1. Структурная схема первичного мультиплексора ТМ



Список интерфейсов включает интерфейсы аналоговых абонентских установок, интерфейсы синхронной и асинхронной передачи дискретной информации в основном цифровом канале, каналов со скоростями 64 кбит/с, интерфейсы базового и основного доступа узкополосных цифровых сетей интегрального обслуживания (УЦСИО) и другие. Помимо широкого набора интерфейсов абонентского доступа универсальность ТМ обеспечивается также возможностями центрального блока.

Возвращаясь вновь к рисунку уже на предыдущем слайде, отметим, что центральный блок мультиплексора помимо стандартных интерфейсов 2 Мбит/с обладает практически тем же набором интерфейсов, что и центральный блок кроссконнектора. Управление мультиплексором осуществляется через блок поддержки интерфейсов управления ИУ, который через шину управления соединен с центральным блоком.



<https://www.youtube.com/watch?v=nO4p6EYM2VA&list=PLSyp6Jhr6HMJKbRjet6MgsvJTDyaxdQjt>



Спасибо за внимание

