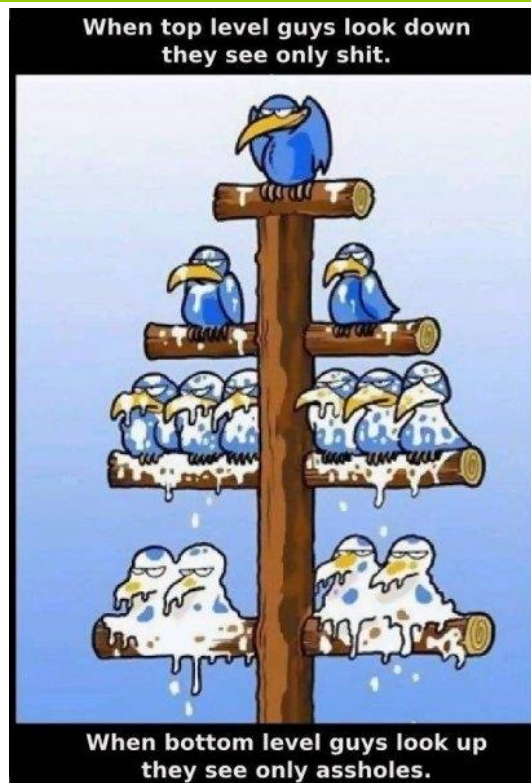


ЦИФРОВЫЕ ИЕРАРХИИ



ИЕРАРХИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП



ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

1. Передача по каналам и трактам ЦСП всех видов аналоговых, дискретных и цифровых сигналов;
2. Соответствующая кратность скоростей обработки и передачи сигналов на различных ступенях иерархии;
3. Возможность достаточно простого объединения, разделения, выделения и транзита передаваемых цифровых потоков;
4. Параметры ЦСП должны выбираться с учетом характеристик существующих и перспективных направляющих систем;
5. Возможность взаимодействия ЦСП с аналоговыми системами передачи и различными системами коммутации.

Формирование иерархии ЦСП осуществляется на основе объединения цифровых потоков низкого порядка (компонентных), в единый цифровой (групповой).

ОСНОВНОЙ ЦИФРОВОЙ КАНАЛ(DSO - DIGITAL SIGNAL OF LEVEL 0)

- частота дискретизации (f_d)- 8000 Гц.

Нелинейное квантование:

число разрешенных значений сигнала - 128 (без учёта знака)
- 256 (с учётом знака)

- кодовая комбинация – $B=8$ разрядов

- скорость передачи цифрового потока одного канала

$$C_k = F_d \times B = 8000 \times 8 = 64000 \text{ бит / с}$$

Используется как основной в плезиохронной цифровой иерархии.

СИНХРОННЫЕ И АСИНХРОННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ПОТОКИ

При **синхронном** объединении цифровых потоков скорости записи и считывания постоянны и кратны (задаются одним и тем же ГО).

При **асинхронном** объединении цифровых потоков возможно некоторое расхождение между скоростями записи и считывания.

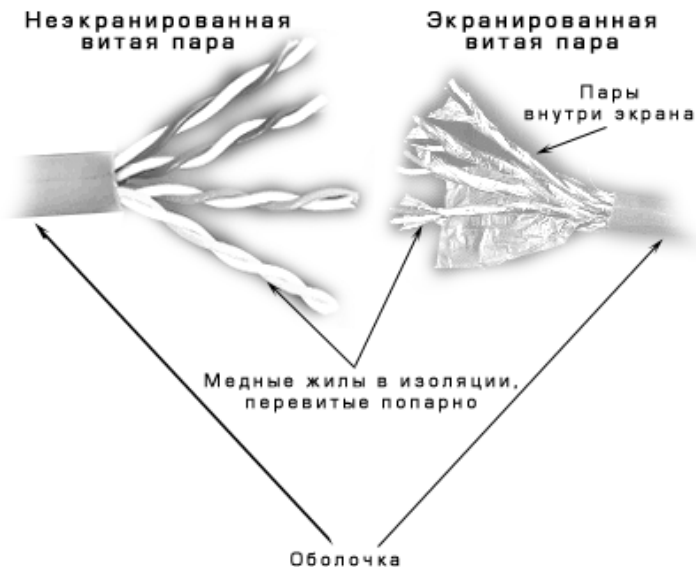
Виды **иерархии** ЦСП:

- плезиохронная (почти синхронная) цифровая иерархия (ПЦИ), или Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH);
- синхронная цифровая иерархия (СЦИ), или Synchronous Digital Hierarchy (SDH);

ПЛЕЗИОХРОННАЯ ЦИФРОВАЯ ИЕРАРХИЯ



ЛИНИИ СВЯЗИ. ВИТАЯ ПАРА



Витая пара - длина сегмента кабеля не может превышать 100 м (до 100 Мбит/с)

Кабель CAT7a:

передача данных на расстояние :

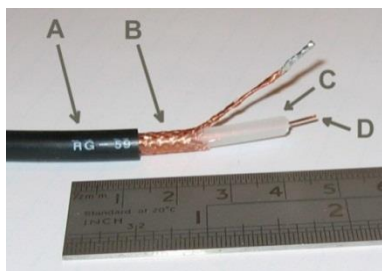
до 50 м (40 Гбит/с);

до 15 м (100 Гбит/с).

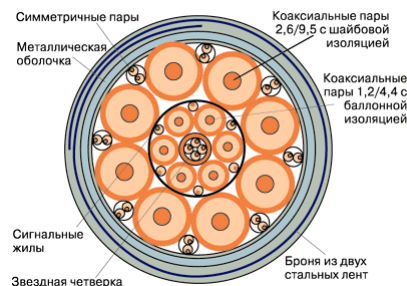
ЛИНИИ СВЯЗИ.

КОАКСИАЛЬНЫЙ КАБЕЛЬ

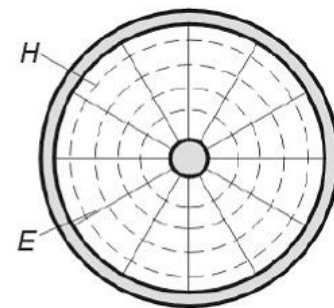
Коаксиальный кабель состоит из несимметричных пар проводников: внутреннюю жилу и соосную с ней внешнюю жилу, отделенную от внутренней жилы диэлектрической изоляцией.



Телевизионный коаксиальный кабель типа RG-59



Комбинированный коаксиальный кабель для прокладки в земле



Силовые линии магнитного поля располагаются внутри коаксиальной пары в виде концентрических окружностей; вне коаксиальной пары магнитное поле отсутствует. Электрическое поле внутри коаксиальной пары также замыкается по радиальным направлениям между проводниками, а за ее пределами равно нулю.

Отсутствие внешнего электромагнитного поля обуславливает основные достоинства коаксиальных кабелей: широкий диапазон частот, большое число каналов, защищенность от помех

ЛИНИИ СВЯЗИ.

КОАКСИАЛЬНЫЙ КАБЕЛЬ

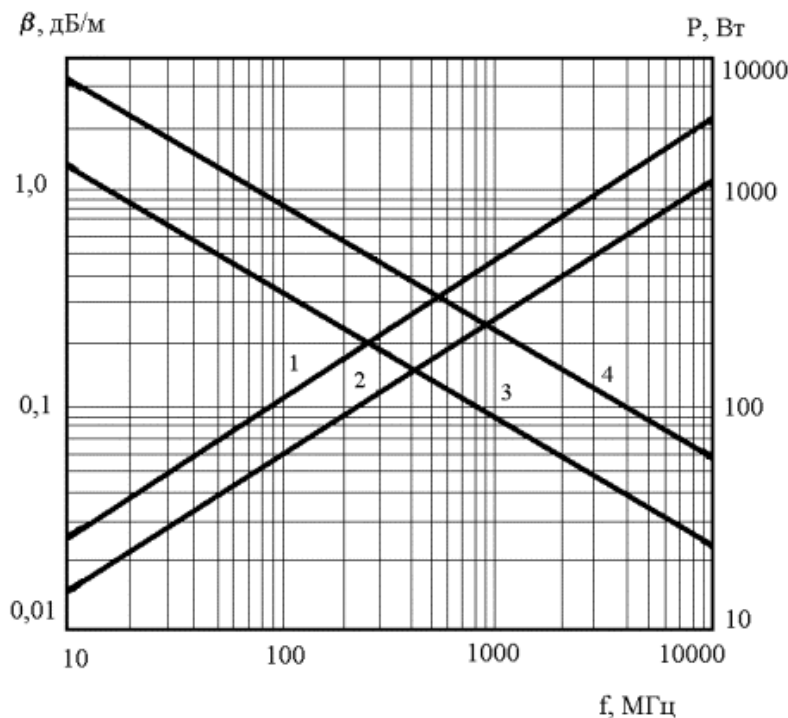


Оливер Хевисайд
(1850 – 1925)

Выдающийся английский физик и математик. Развил теорию электромагнитного поля Джеймса Максвелла, открыл принцип передачи сигналов на дальние расстояния, что позволило осуществить дальнюю телефонную связь.

В 1880 году Хевисайд рассмотрел прохождение переменного электрического тока по проводнику и в том же году запатентовал в Англии конструкцию коаксиального кабеля

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ



Коаксиальные кабели способны работать в частотном диапазоне до 2 ГГц. Достаточно для создания сетей, имеющих полосу 5 -1000 МГц.

Расстояние между регенераторами ~4, 5 км на скорости 140 мегабит/с.

Один коаксиальный кабель позволяет организовать 2000 ОЦК и более

Зависимость от частоты погонного затухания (кривые 1,2) и максимально допустимой пропускаемой мощности (кривые 3,4) для наиболее распространенных кабелей (РК 75-4-16 и РК 75-9-13).

ПЛЕЗИОХРОННАЯ ЦИФРОВАЯ ИЕРАРХИЯ

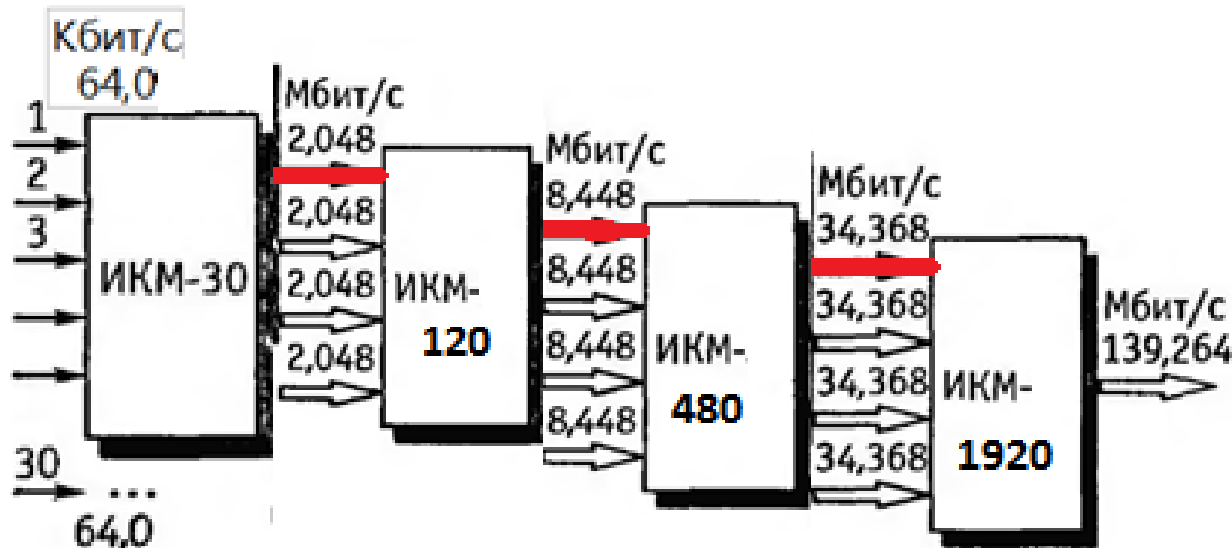
PDH — цифровой метод передачи данных, основанный на временном разделении канала и технологии представления сигнала с помощью ИКМ.

«Плезихронные» (то есть «почти синхронные») - скорости входных канальных групп немного отличаются друг от друга вследствие допустимой нестабильности задающего генератора каналообразующего оборудования этих потоков.

При мультиплексировании приведение к одной скорости передачи осуществляется путем добавления специальных синхронизирующих битов выравнивания скоростей.

При демуплексировании биты выравнивания должны распознаваться.

ИЕРАРХИЯ ПЛЕЗИОНХРОННЫХ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ



Особенности PDH:

- в схемах первого уровня мультиплексирования (ИКМ-30) используется **метод мультиплексирования с чередованием байт**;
- в схемах второго и более высокого уровней мультиплексирования (ИКМ-120, ИКМ-480, ИКМ-1920 и т.д.) используется **метод мультиплексирования с чередованием бит** (а не байт);

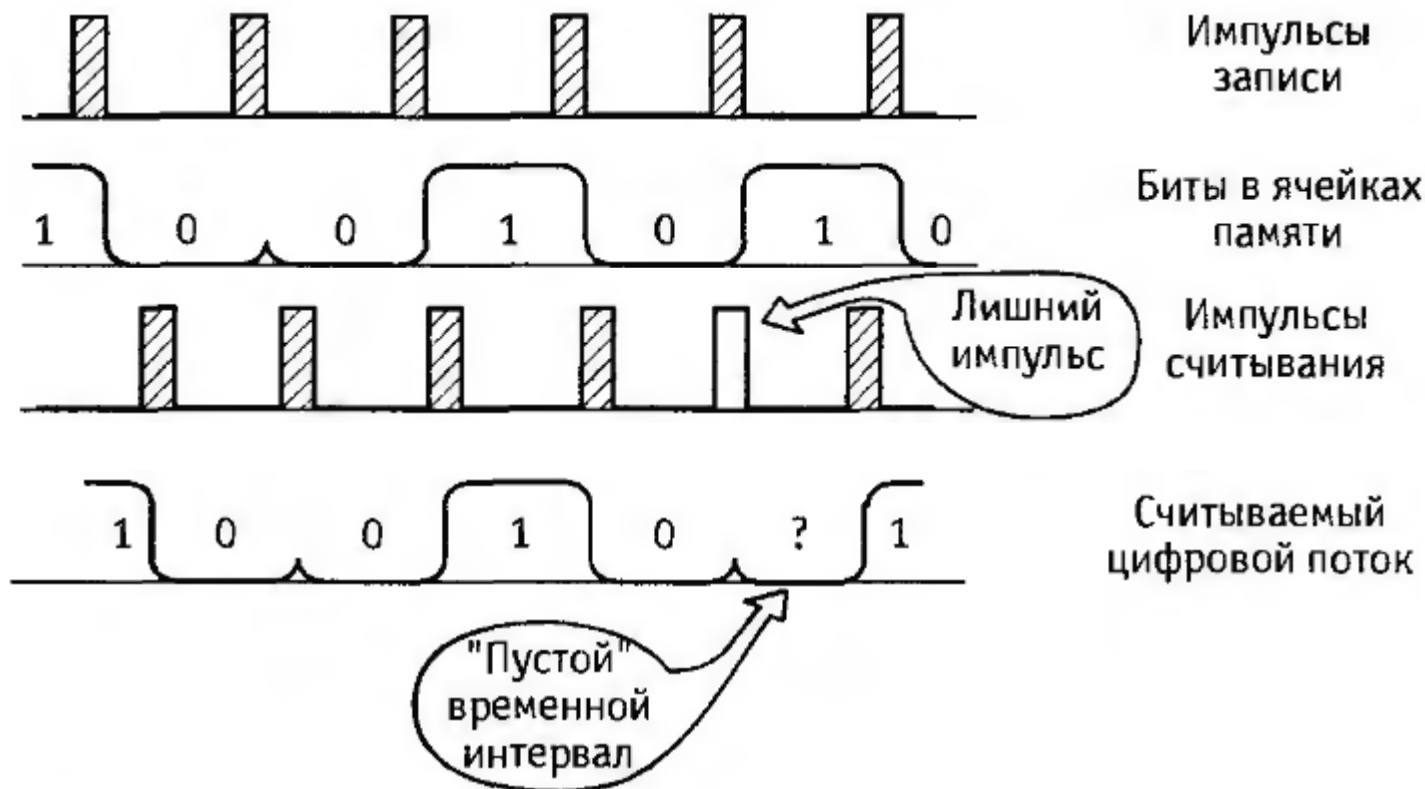
ПРИНЦИП СИНХРОНИЗАЦИИ И ОСОБЕННОСТИ PDH

Принципы синхронизации остаются неизменными для систем передачи всех ступеней иерархии:

- для обеспечения синхронной работы из цифрового потока выделяются тактовые импульсы;
- для обеспечения синфазной работы в линию посылаются комбинации импульсов цикловой синхронизации.

ОСОБЕННОСТИ RDN. ФОРМИРОВАНИЕ “ПУСТЫХ” ИНТЕРВАЛОВ В ЦИФРОВОМ ПОТОКЕ ДЛЯ СИНХРОСИГНАЛА

- применение “эластичной” памяти (запись производится с одной тактовой частотой, а считывание — с другой) $f_{\text{сч}} > f_{\text{зап}}$



В образовавшиеся «пустые» временные интервалы вводятся символы группового циклового синхросигнала

ПЛЕЗИОХРОННОЕ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ И ДЕМУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ПОТОКОВ. СОГЛАСОВАНИЕ СКОРОСТЕЙ

В ЦСП с PDH генераторное оборудование в передающих частях в общем случае работает независимо друг от друга - возможность взаимной синхронизации не предусмотрена
ЦП имеют одинаковую номинальную скорость передачи с допустимыми от нее отклонениями: $C = 2048 \text{ кбит/с} \pm 100 \text{ бит/с}$.

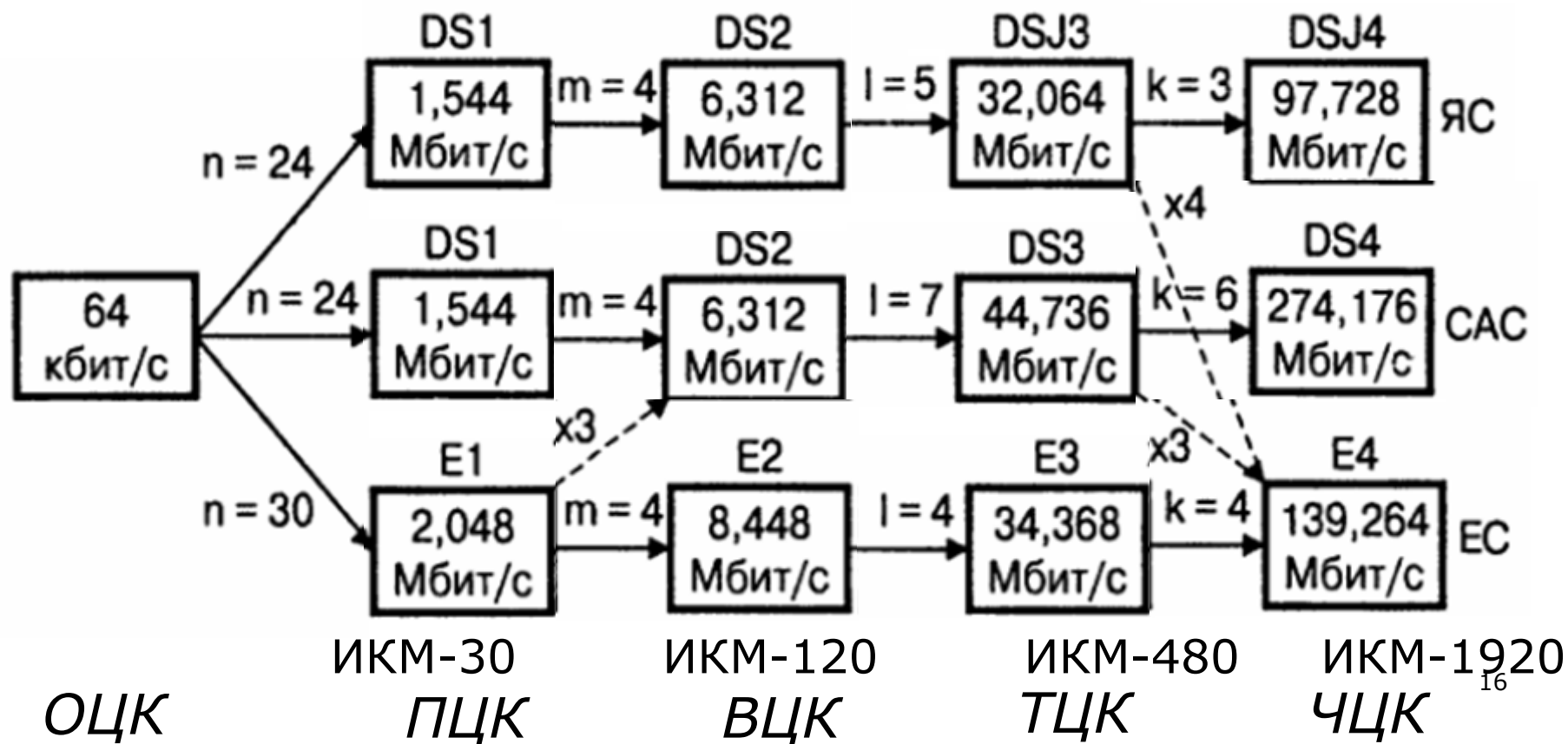
Скорость передачи каждого из объединяемых ЦП искусственно доводится до номинальной величины, а затем производится мультиплексирование

Если $C_{\text{реальная}} > C_{\text{ном}}$, то принудительно изымаются «лишние» биты и передаются по специальному каналу, организованному для их передачи - отрицательное согласование скоростей

Если $C_{\text{реальная}} < C_{\text{ном}}$, то принудительно вставляются «балластные» биты, передаваемые в общем потоке – положительное согласования скоростей

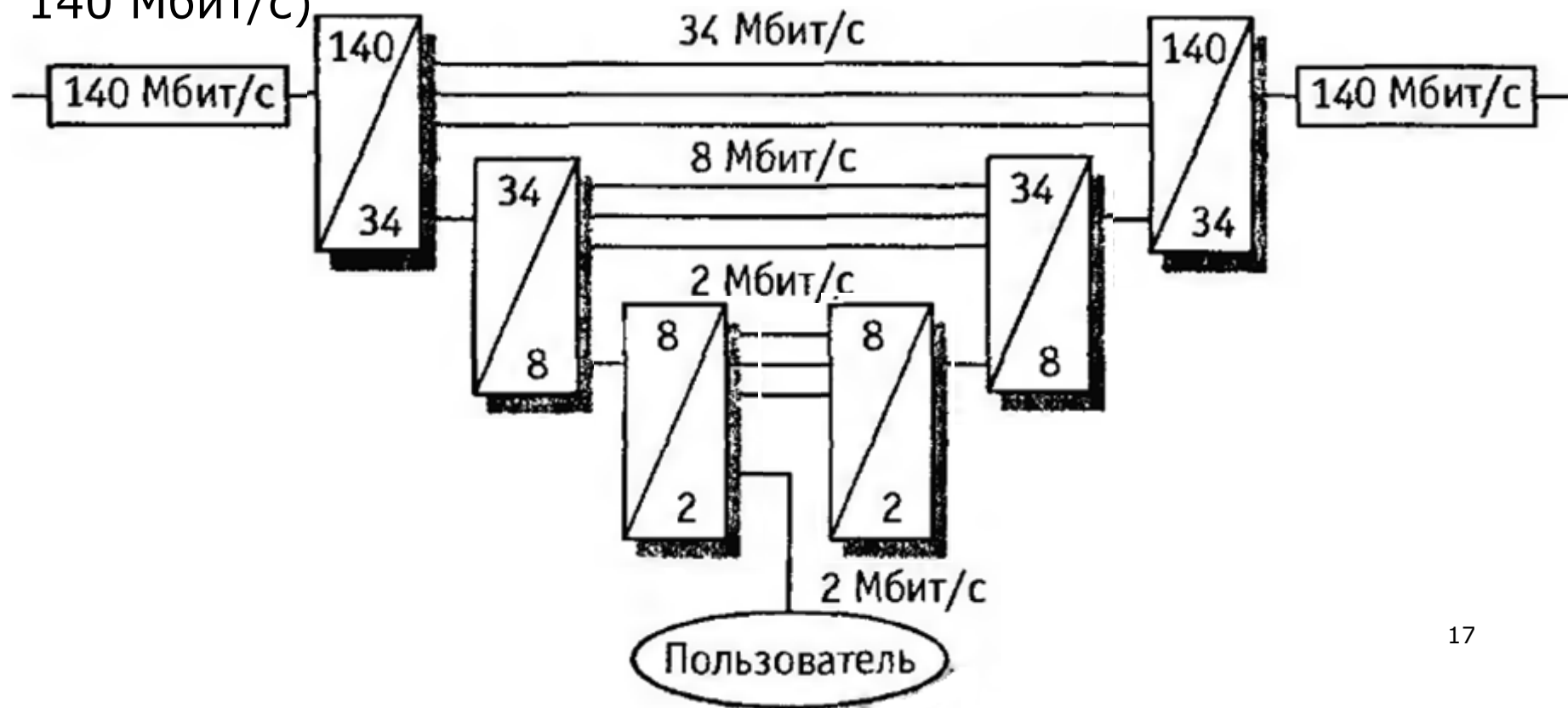
Для выравнивания скоростей используется эластичная память

СХЕМА МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ И КРОСС-МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ В СЕВЕРОАМЕРИКАНСКОМ (САС), ЯПОНСКОМ (ЯС) И ЕВРОПЕЙСКОМ (ЕС) СТАНДАРТАХ ПЦИ



НЕДОСТАТКИ ПЦИ (PDH)

1. Выделение потока невозможно без полного демультиплексирования этого потока и удаления выравнивающих бит (причина - наличие выравнивающих бит).
Пример: выделение потока 2 Мбит/с "зашитого" в поток 140 Мбит/с)



НЕДОСТАТКИ ПЦИ (PDH)

2. При нарушении синхронизации группового сигнала восстановление синхронизации первичных цифровых потоков происходит многоступенчатым путем (много времени)

3. Отсутствие возможностей автоматически контролировать состояние сети связи и управлять ею (причина - существенное достоинство метода - небольшая "перегруженность заголовками ")

СИНХРОННЫЕ ИЕРАРХИИ SONET/SDH



ИЗОБРЕТЕНИЕ ЛАЗЕРОВ



Charles Hard Townes



Н.Г.Басов



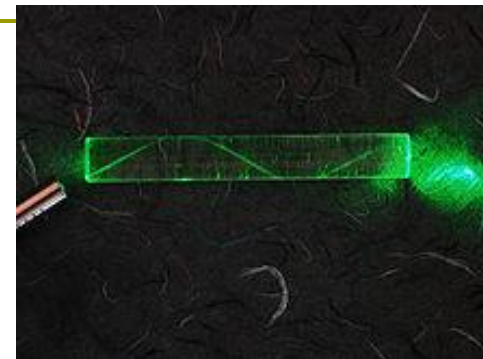
А.М.Прохоров



1. 1916 год: А. Эйнштейн предсказывает существование явления вынужденного излучения — физической основы работы любого лазера.
2. 1954 год: первый микроволновой генератор — мазер на аммиаке ($\lambda = 12.6$ мм) (Ч. Таунс, Басов Н. Г. и Прохоров А. М. — Нобелевская премия по физике 1964 года).
3. 1960 год: 16 мая Т. Мейман продемонстрировал работу первого оптического квантового генератора — лазера.
4. 1961 год: создан лазер на неодимовом стекле
5. 1962 год: создан полупроводниковый лазер и фотодиод, используемые как источник и приёмник оптического сигнала

ОПТОВОЛОКНО

Оптическое волокно — нить из оптически прозрачного материала (стекло, пластик), используемая для переноса света внутри себя посредством полного внутреннего отражения.



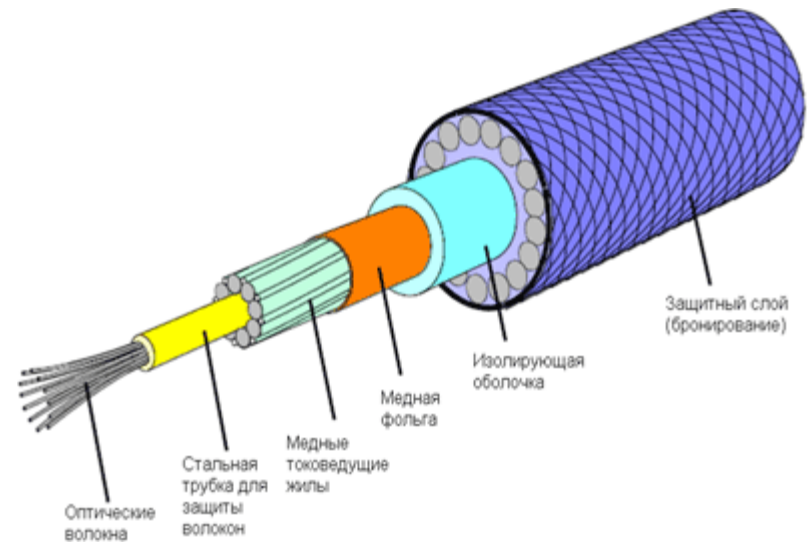
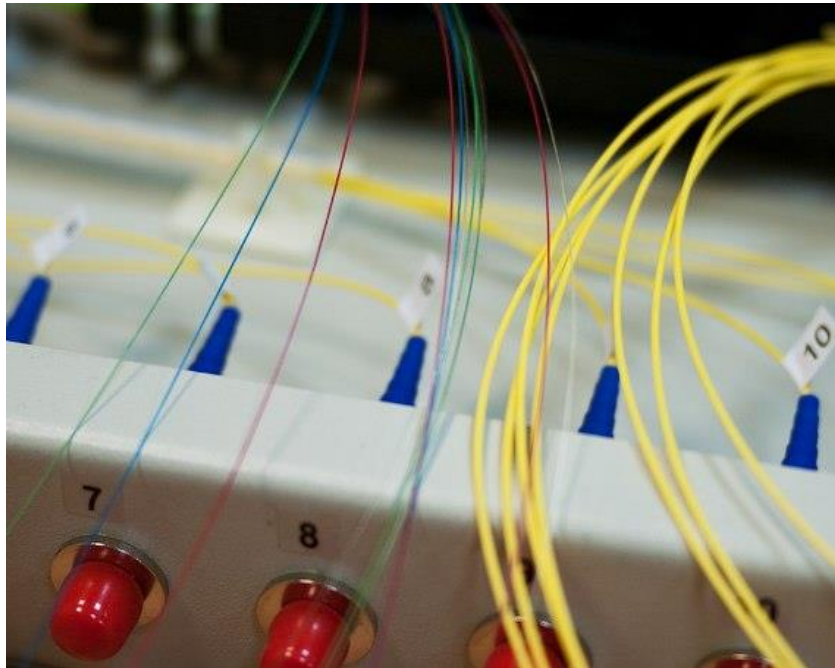
Полное внутреннее отражение в оптической среде

1934 год: американец Норман Р. Френч получил патент на оптическую телефонную систему, речевые сигналы в которой передавались при помощи света по стержням чистого стекла.

1970 год: компании Corning (англ.) удалось наладить коммерческое производство волокна с низким затуханием — до 17 дБ/км, через пару лет — до 4 дБ/км. Волокно являлось многомодовым и по нему передавалось несколько мод света.

1983 год: был освоен выпуск одномодовых волокон, по которым передавалась одна мода

ОПТОВОЛОКНО И ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ КАБЕЛЬ



Оптоволокно в лаковом покрытии и в полимерном (желтый). На заднем плане оптоволоконный кросс с установленными коннекторами

Оптический кросс — устройство для разъёмного соединения многоволоконного оптического кабеля и оптических шнуров с помощью специальных розеток

СИНХРОННЫЕ ИЕРАРХИИ SONET/SDH

Для использования на волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС):

в США (1986 г.) - иерархия **синхронной оптической сети** SONET (Synchronous Optical Network) - скорость основного цифрового потока 51,84 Мбит/с.

в Европе - **синхронная цифровая иерархия** SDH - скорость основного цифрового потока 139,268 Мбит/с

Для создания единой цифровой сети - скорость основного цифрового потока $155,520 \text{ Мбит/с} = 51,84 \text{ Мбит/с} \times 3$ (1988 г.)

ЦЕЛЬ РАЗРАБОТКИ

- ✓ вводить/выводить входные потоки без необходимости проводить их сборку/разборку;
- ✓ иметь возможность определять положение каждого входного потока, составляющего общий поток;
- ✓ разработать новую структуру фреймов, позволяющую осуществлять не только развитую маршрутизацию, но и осуществлять в пределах иерархии управление сетями с топологией любой сложности;
- ✓ систематизировать иерархический ряд скоростей передачи и продолжить его (на перспективу) за пределы ряда PDH;
- ✓ разработать стандартные интерфейсы для облегчения стыковки оборудования.

ОСНОВНЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Использовать **синхронную**, а не асинхронную или плезиохронную схему передачи с **побайтным** (а не с побитным) **чередованием** при мультиплексировании.
2. Использовать **технологии инкапсуляции** данных, предложив технологию **виртуальных контейнеров**, их упаковки и транспортировки.
Дает возможность загружать и переносить в них фреймы PDH иерархии.
3. Ориентировать иерархию на использование **оптических** (а не электрических) сред передачи сигнала.

Синхронная цифровая иерархия (SDH) — это система передачи данных, основанная на временном разделении канала и синхронизации по времени передающего и принимающего устройства.

ДОСТОИНСТВА SDH

1.СОВРЕМЕННАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА

В SDH используются:

- высококачественные оптические волокна
- эффективные приемники и передатчики оптического излучения (полупроводниковые лазеры и высокочувствительные фото-диоды)
- новейшие программы для работы чипов
- оптические безынерционные коммутаторы.

ДОСТОИНСТВА SDH

1.СОВРЕМЕННАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА

В оптической связи используется диапазон, называемый ближней инфракрасной зоной: $\lambda = 0,8...1,6$ мкм

$$f_1 = 3,75 \cdot 10^{14} \text{ Гц}, \quad f_2 = 1,875 \cdot 10^{14} \text{ Гц.}$$

Полоса пропускания данного диапазона: $1,875 \cdot 10^{14} \text{ Гц.}$

Число основных цифровых каналов : $\approx 50 \cdot 10^9$

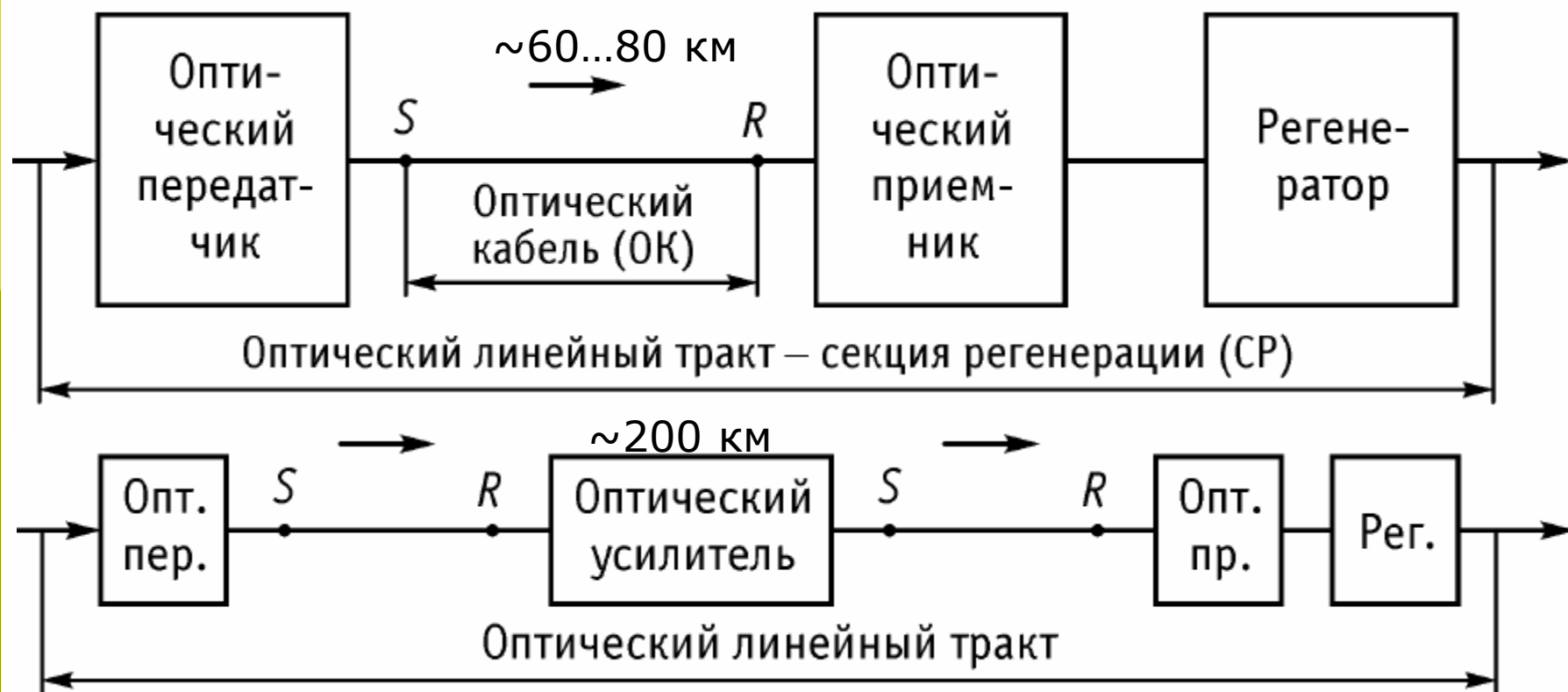
При передаче цифровых двоичных сигналов «0» и «1» передаются отрезком оптического сигнала $T = 1/f_{\text{нес}}$;

Предельная скорость передачи двоичных сигналов

$$C_{\text{макс}} = \frac{1}{T} = 1,875 \cdot 10^{14} \text{ бит/с}$$

ДОСТОИНСТВА SDH

Длина регенерационного участка является значительно больше, чем при использовании металлических кабелей (для ЦСП по коаксиальным кабелям со скоростью передачи 140 мегабит/с расстояние между регенераторами $\sim 4, 5$ км)



ДОСТОИНСТВА SDN

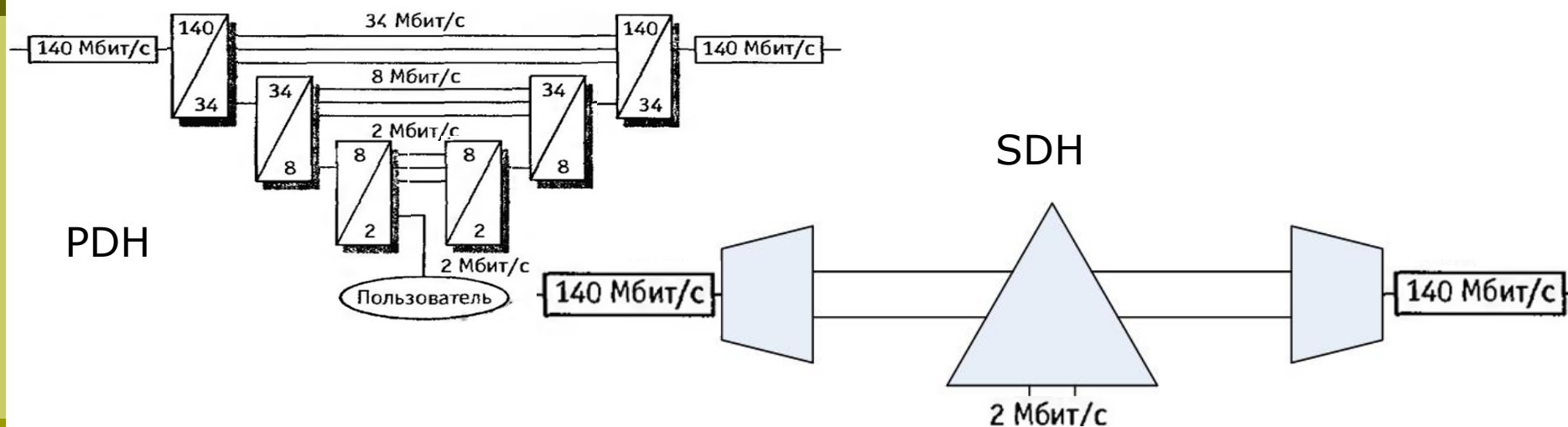
2. Большая емкость дополнительных информационных каналов

Огромное число дополнительных информационных каналов, которые используют глубокую автоматизацию функций контроля, управления и обслуживания:

- повышается надежность и достоверность передачи информации по сети
- снижаются эксплуатационные затраты
- сеть становится более живучей

ДОСТОИНСТВА SDH

3. Синхронная передача и мультиплексирование



Метод синхронного мультиплексирования и гибкого отображения структуры данных устраняет необходимость использования большого количества оборудования мультиплексирования/ демультиплексирования:

- повышает надежность системы;
- уменьшает вероятность ошибок;
- снижает сложность и стоимость оборудования.

ДОСТОИНСТВА SDH

4. Высокий уровень стандартизации

Синхронное мультиплексирование стандартизировано следующими рекомендациями:

G.707 – скорости передачи SDH;

G.708 – интерфейс сетевого узла SDH;

G.709 – структура синхронного мультиплексирования.

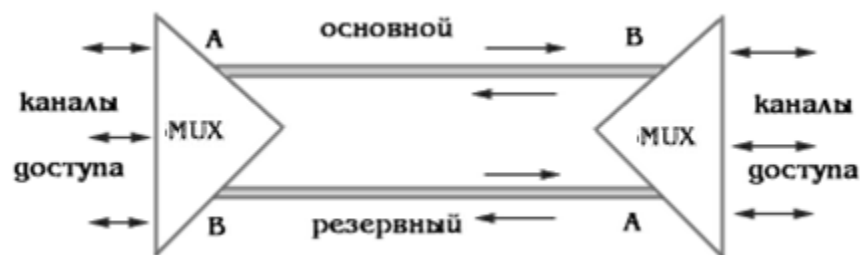
Высокий уровень стандартизации SDH-технологии позволяет использовать оборудование разных фирм-производителей в одной сети, так называемая «горизонтальная совместимость».

ДОСТОИНСТВА SDH

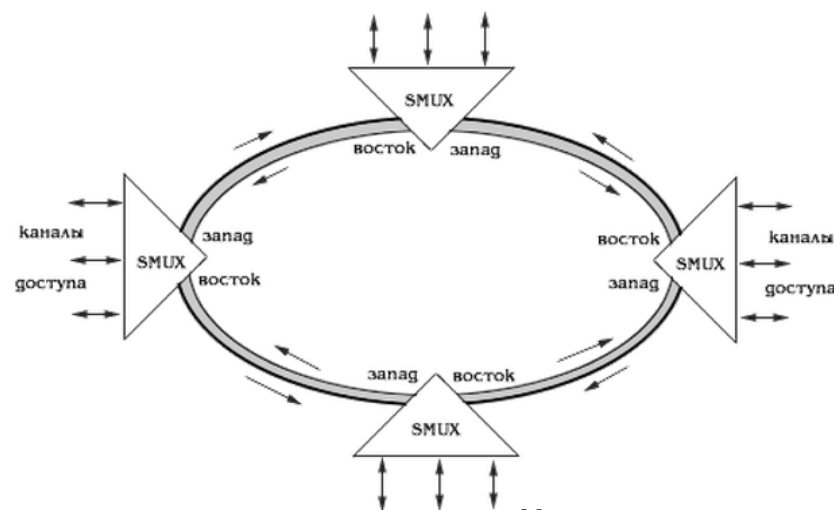
5. Надежная защита трафика

В ЦСП SDH реализуются высокая степень резервирования линейных трактов и основных блоков. Обычно, линейный тракт в системах SDH резервируется по схеме: 1+1 (один рабочий и один резервный)

Сегмент сети, связывающий два узла А и В, или топология "точка - точка" с защитой 1+1.

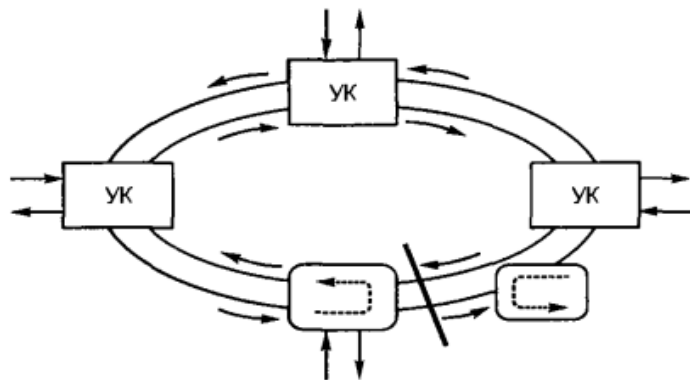


Топология "кольцо" с защитой 1+1.

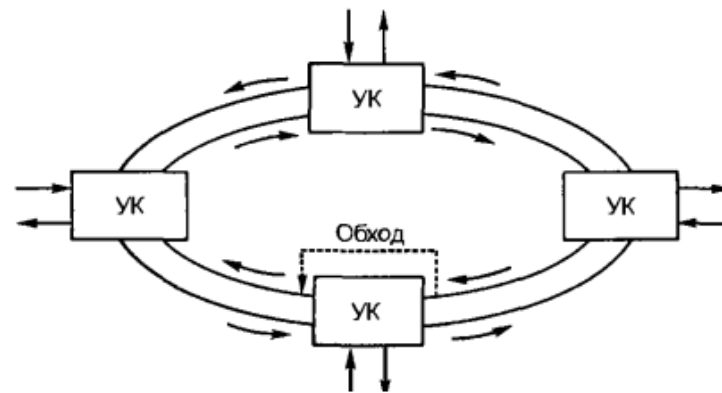


Резервирование по схеме n+1 - один резервный на несколько работающих

ДОСТОИНСТВА SDN. РЕЗЕРВИРОВАНИЕ



Кольцевая структура с использованием обратного направления для обхода повреждения



Кольцевая структура с использованием обхода узла при его повреждении

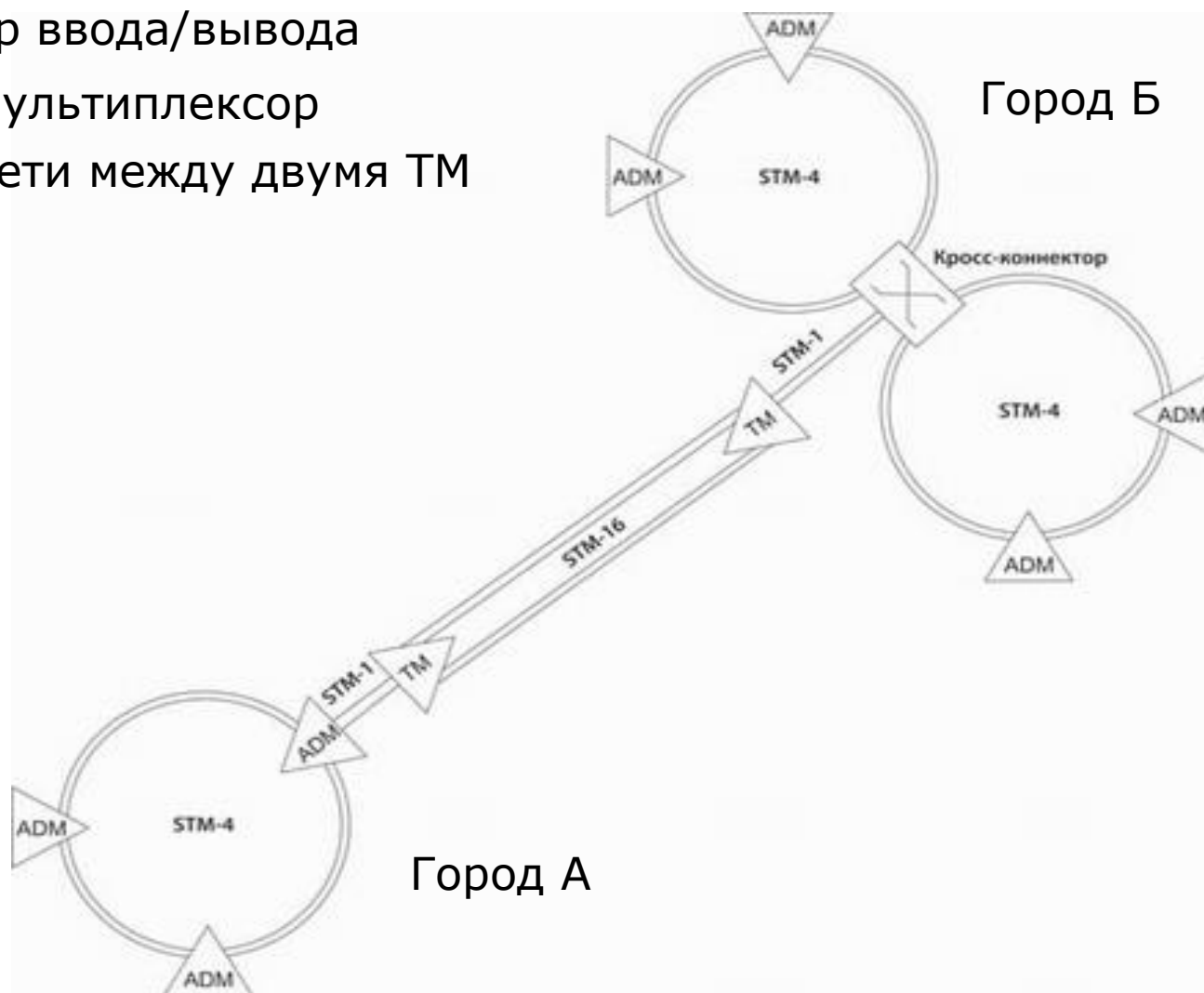
ДОСТОИНСТВА SDH.

СЕТЬ SDH

ADM - мультиплексор ввода/вывода

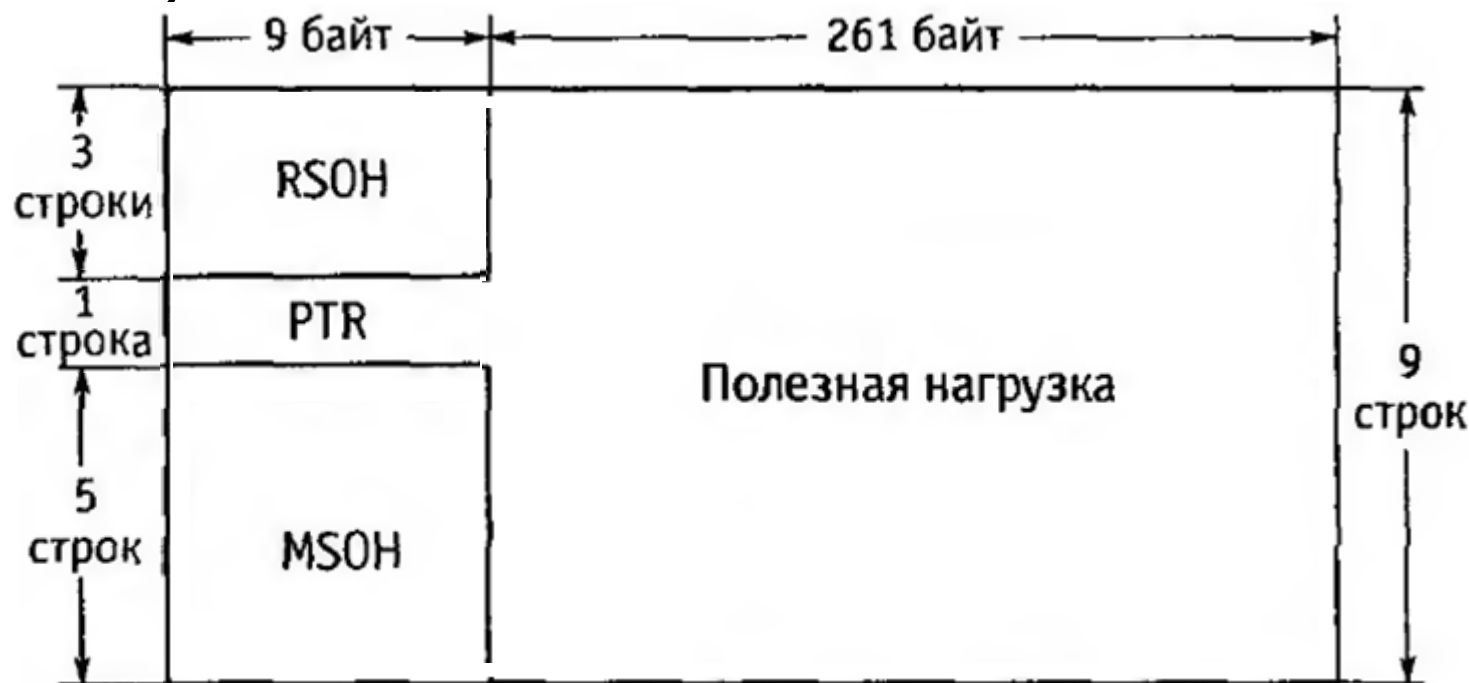
TM - терминальный мультиплексор

Маршрут - участок сети между двумя TM



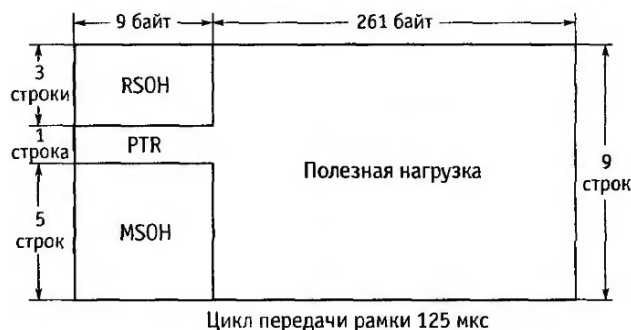
СТРУКТУРА STM1

1. Для транспортирования цифрового потока со скоростью 155.52 Мбит/с введен синхронный транспортный модуль (Synchronous Transport Module) STM1 = 2430 байт



Цикл передачи рамки 125 мкс

СТРУКТУРА STM1



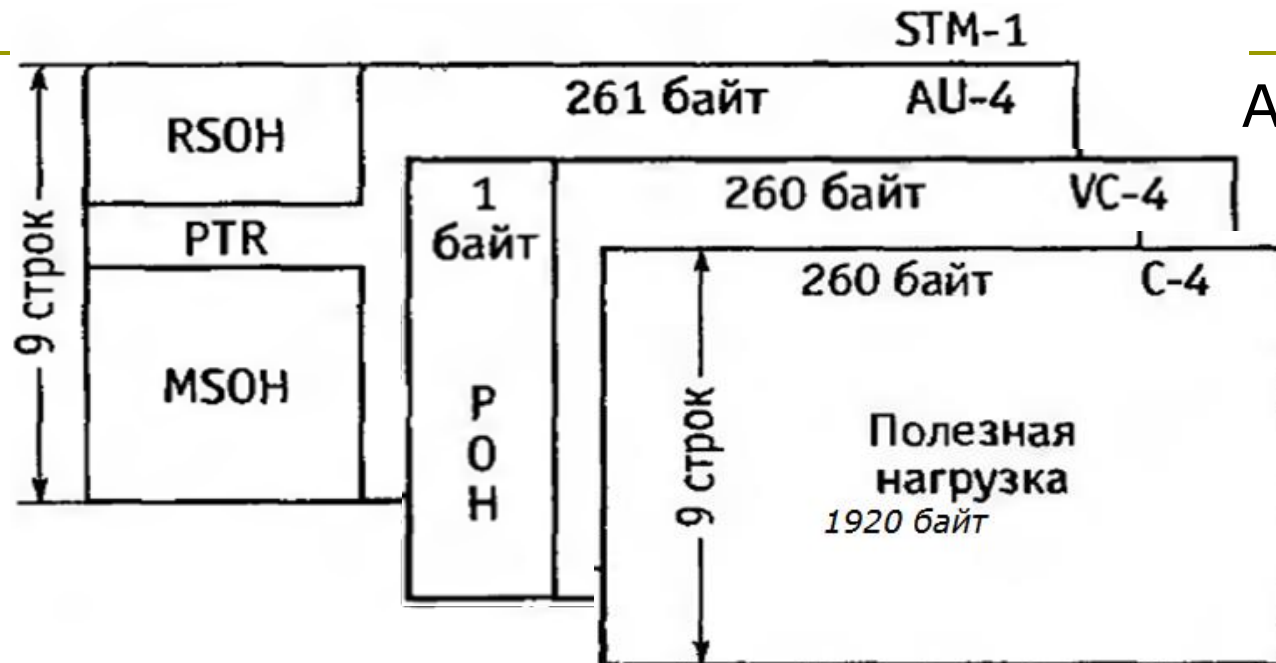
Секционный заголовок (Section Over Head - SOH)- определяет маршрут транспортного модуля:

RSOH - секционный заголовок регенератора (где будет осуществляться восстановление потока);

MSOH - заголовок мультиплексора (отвечает за доставку информации в то место сети, к тому мультиплексору, где этот транспортный модуль будет переформировываться);

Pointer - PTR -указатель (определяет начало записи полезной нагрузки).

СТРУКТУРА STM1



$$AU = VC + PTR;$$
$$VC = C + POH;$$

Container (C) - контейнер

$$STM = AU + RSOH + MSON$$

VC – виртуальный контейнер

Path Over Head (POH) - маршрутный заголовок

AU – административный блок

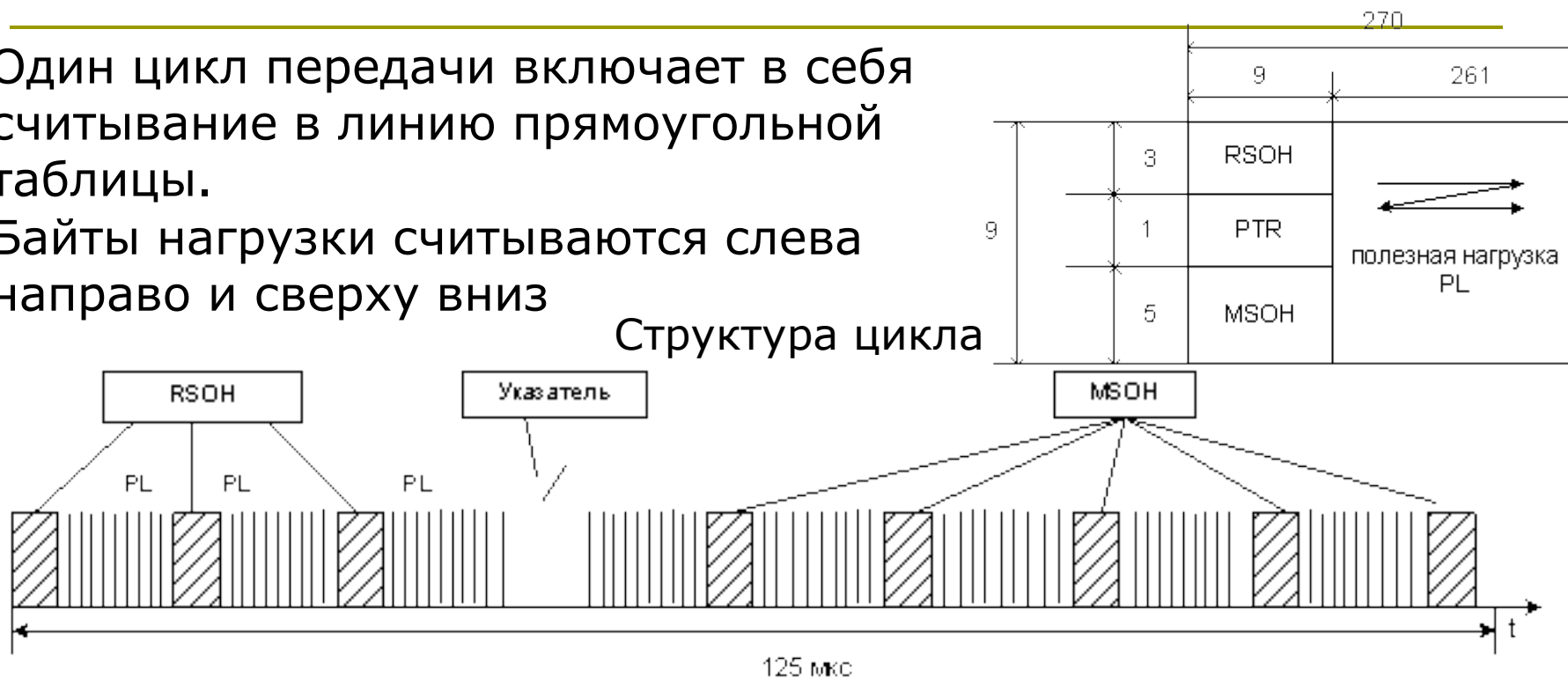
Указатель PTR определяет начало записи полезной нагрузки.

БАЗОВЫЙ ЦИКЛ STM-1

Один цикл передачи включает в себя считывание в линию прямоугольной таблицы.

Байты нагрузки считываются слева направо и сверху вниз

Структура цикла



Основные характеристики цикла:

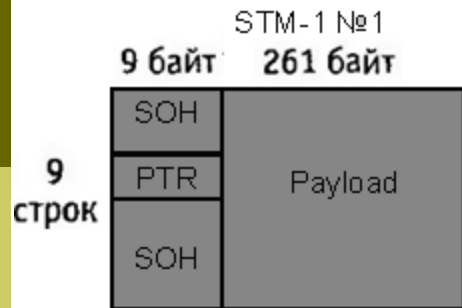
Общая длина: $9 * 261 + 9 * 9 = 2430$ байт = 19440 бит

Длительность: 125 мкс. (частота повторения 8 кГц)

Скорость передачи: $19440 * 8000 = 155,52$ Мбит/с

Полезная нагрузка: 2349 байт (скорость 150,336 Мбит/с)

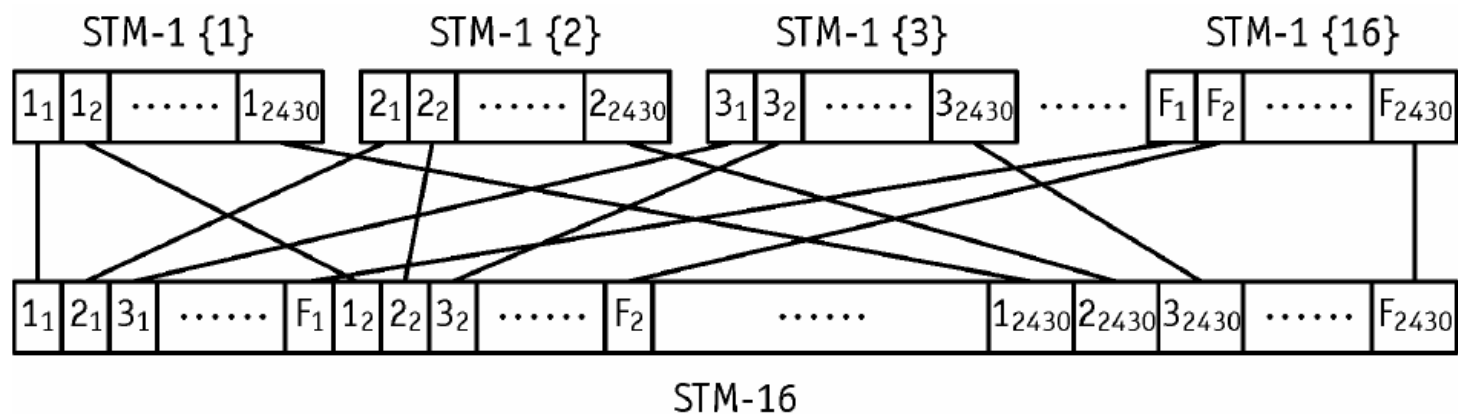
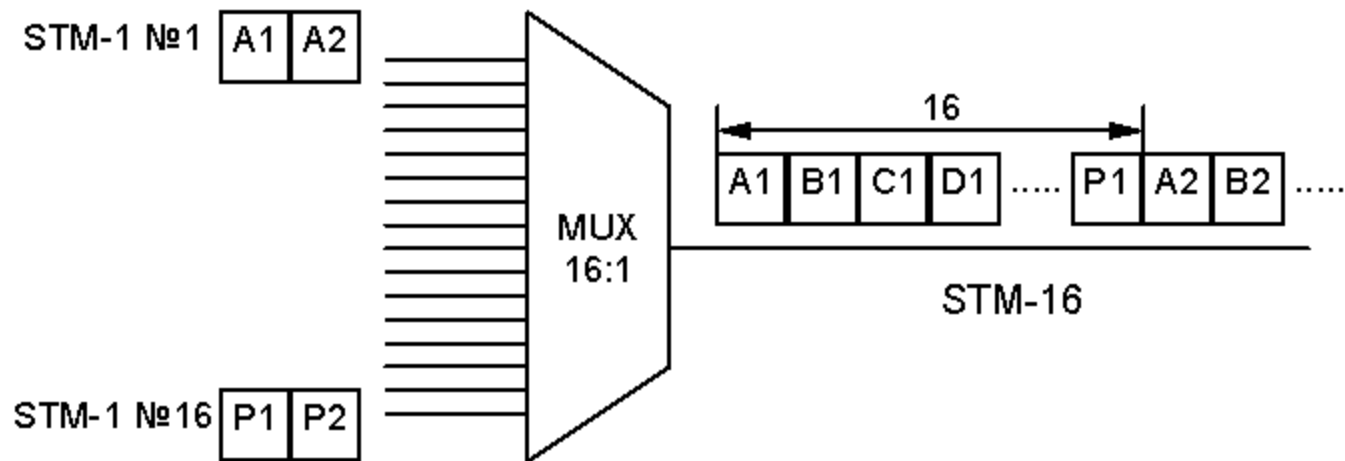
СТРУКТУРА STM-N



Высокоскоростные потоки организуются побайтным мультиплексированием нескольких STM-1 и называются синхронными транспортными модулями уровня N STM-N (скорость STM-N составляет $N \cdot 155,52$ Мбит/с).

Структура кадра STM-N соответствует структуре STM-1, с тем отличием, что передаются $N \cdot 9 \cdot 270$ байт за 125 мкс. Байты заголовков, указателей и нагрузки объединяются в аналогичные три блока

МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ STM. НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ



СТАНДАРТИЗОВАННЫЕ УРОВНИ SDH

Уровень SDH.	Скорость передачи, Мбит/с
STM-1	155,520
STM-4	622,080
STM-16	2487,320
STM-64	9953,28

ВЫВОДЫ

1. Синхронный транспортный модуль уровня 1 (STM-1) - скорость передачи 155,520 Мбит/с (базовая скорость потока для SDH)
2. Все менее скоростные полезные нагрузки упаковываются в STM-1
3. Более скоростные сигналы формируются путем мультиплексирования N транспортных модулей STM-1 в STM-N. Никаких дополнительных заголовков или дополнительной обработки при этом не требуется

ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА SDN

В трактовых и сетевых заголовках помимо маршрутной информации создается много информации, позволяющей:

- обеспечить наблюдение и управление всей сетью в целом,
- дистанционные переключения в мультиплексорах по требованию клиентов
- осуществлять контроль и диагностику,
- своевременно обнаруживать и устранять неисправности.

Реализуется эффективная эксплуатация сети

СИНХРОНИЗАЦИЯ SDN

Основным назначением тактовой сетевой синхронизации является обеспечение установки и поддержание определённой тактовой частоты.

Цель тактовой синхронизации – получить наилучший из возможных хранирующий источник для всех узлов сети.

Для реализации тактовой синхронизации нужно иметь не только высокоточный хранирующий источник, но и надёжную систему передачи сигнала тактовой синхронизации на все узлы сети

ФУНКЦИИ СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ

Система синхронизации должна обеспечивать :

- генерацию синхросигналов с параметрами, соответствующими требованиям стандартов;
- распределение сигналов синхронизации;
- преобразование сигналов синхронизации одного вида в другой;
- регенерацию сигналов синхронизации;
- поддержание синхронизации в сети при отказе отдельных устройств или каналов связи;
- измерение параметров синхросигналов;
- удаленное управление устройствами синхронизации.

ДУБЛИРУЮЩИЕ ИСТОЧНИКИ СИНХРОНИЗАЦИИ

Стабильность частоты
(№ разряда)



первичные эталонные
генераторы PRC
(Primary Reference Clock))

Время измерений = 10 с
интервал калибровки 1 год

Иерархия стандартов частоты

ДУБЛИРУЮЩИЕ ИСТОЧНИКИ СИНХРОНИЗАЦИИ

1. Сигнал внешнего сетевого таймера, поступающий от центрального генератора синхроимпульсов, (первичный эталонный генератор PRC (Primary Reference Clock)):

- частота 2048 кГц ;
- точность не хуже 1×10^{-11} .

PRC может состоят из нескольких источников:

- хранирующие атомные источники тактовых импульсов (Primary Reference Source, PRS) : цезиевые, рубидиевые, водородные мазеры.

ДУБЛИРУЮЩИЕ ИСТОЧНИКИ СИНХРОНИЗАЦИИ

2. GPS – первичный эталонный источник, используемый в качестве альтернативного источника первичного или вторичного эталонного генератора. Точность - 10^{-10} .

3. Сигнал, выделяемый из линейного сигнала STM
Точность - 5×10^{-8} .

4. Сигнал внутреннего таймера узла SDH
Точность - $(1...5) \times 10^{-6}$

- обычные кварцевые,
- кварцевые с температурной компенсацией TCXO (Temperature Compensated Crystal Oscillator)
- охлаждаемые кварцевые источники OCXO (Oven Compensated Crystal Oscillator).

ИЕРАРХИЯ ЗАДАЮЩИХ ГЕНЕРАТОРОВ SDN

В сети SDN применяется иерархический метод принудительной синхронизации с парами "ведущий-ведомый таймер".

ВЗГ (ведомый задающий генератор) - каждый генератора низкого уровня синхронизируется по эталону сигнала более высокого уровня

Сеть синхронизации состоит из нескольких слоев генераторов.

ИЕРАРХИЯ ЗАДАЮЩИХ ГЕНЕРАТОРОВ SDN

