ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Общие положения

При планировании современных цифровых сетей следует различать три сетевых уровня: уровень первичной сети, уровень вторичных сетей и уровень систем или служб электросвязи.

Цифровая первичная сеть – это совокупность типовых физических цепей, типовых каналов передачи и сетевых трактов, расположенных на определенной территории и организованных на базе сетевых узлов, сетевых станций, оконечного оборудования первичной сети и линий передачи, которые их соединяют.

Цифровые вторичные сети - являются специализированными и создаются на основе типовых универсальных каналов передачи первичной сети с помощью специализированных узлов и станций коммутации.

Транспортная система (сеть) - это инфраструктура, объединяющая все сетевые средства, выполняющие функции переноса информации, включая прежде всего цифровые тракты связи и оборудование.

Транспортная сеть связи обычно объединяет цифровую первичную (магистральную) и вторичную (региональную) сети.

Трехуровневое представление сети в связи с внедрением новых технологий заменяется на двухуровневое: транспортную сеть и абонентскую сеть доступа.

Абонентская (местная, терминальная) сеть является сетью абонентского доступа.

Системы плезиохронной иерархии

Современная транспортная сеть строится на основе систем трех иерархий:

- **плезиохронной**
- **синхронной иерархии**
- **асинхронного режима передачи**

Каналы цифровой первичной сети с пропускной способностью до 140 Мбит/с создаются в рамках иерархии PDH.

Уровень PDH	Скорость передачи,кбит/с
E0	64
E1	2048
E2	8448
E3	34368
E4	139264

Как следует из таблицы эта иерархия строится на основе основного цифрового канала(ОЦК) 64 кбит/с, который в иерархии стандартизован, как E0.

Поток E1 получается мультиплексированием 32 ОЦК в один канал первичной группы со скоростью передачи 2048 кбит/с.

Формирование каналов высших уровней иерархии PDH выполняется по единым правилам: 4 потока E1 мультиплексируются в поток E2 со скоростью передачи 8448 кбит/с, 4 потока E2 мультиплексируются в поток E3 со скоростью передачи 34368 кбит/с, 4 потока E3 мультиплексируются в поток E4 со скоростью передачи 139264 кбит/с.

В процессе мультиплексирования осуществляется процедура стаффинга – выравнивание скоростей методом подстановки служебных битов.

В результате для выделения канала первичной группы E1 из потоков высших уровней иерархии необходимо выполнение пошагового мультиплексирования и демультиплексирования, что является основным недостатком технологии PDH.

Структура систем передачи PDH включает три уровня эталонной модели OSI:

- физический
- канальный
- сетевой

В системах передачи PDH используются такие типы линейного кодирования в интерфейсе:

- AMI
- HDB3
- CMI

Существуют два типа физического интерфейса:

- симметричный интерфейс на 120 Ом, рекомендованный к использованию для низких скоростей передачи
- коаксиальный интерфейс на 75 Ом, используемый в системах передачи со скоростью выше 2048 кбит/с.

Система сигнализации – стандартизованная общеканальная сигнализация (ОКС -7).

ВОСП – это цифровые системы передачи, работающие в оптическом диапазоне и использующие в качестве физической среды передачи волоконный световод.

В этих системах цифровой сигнал от оборудования ИКМ поступает на вход оптического передатчика, где после кодирования происходит электронно-оптическое преобразование. Далее оптический сигнал через оптический разъем поступает в линейный оптический кабель. На приемной стороне происходит опто-электронное преобразование сигнала, который после декодирования поступает на вход ИКМ оборудования.

Достоинствами ВОСП по сравнению с цифровыми системами передачи (ЦСП), которые работают по коаксиальным и симметричным кабелям, являются :

- высокая взаимная защищенность оптических волокон в кабеле;
- возможность реализации больших длин регенерационных участков (десятки, сотни км);
- большая пропускная способность (тысячи, десятки тысяч каналов тональной частоты);
- нечувствительность оптического тракта к внешним электромагнитным воздействиям; возможность реализации больших строительных длин кабеля (2-3 км).

Системы синхронной иерархии

Особенности развития технологии SDH

Синхронная цифровая иерархия дает возможность организовать универсальную транспортную систему, которая охватывает все участки сети и выполняет функции передачи информации, контролирования и управления. Она рассчитана на транспортирование сигналов плезиохронной цифровой иерархии, а также всех действующих и перспективных служб, в том числе и широкополосной цифровой сети с интеграцией служб B-ISDN, которая использует асинхронный метод передачи ATM.

Современной концепцией построения цифровой первичной сети является технология SDH.

Технология SDH стандартизована. Стандарты определяют уровни скоростей прохождения сигнала синхронного транспортного модуля STM (Synchronous Transport Module), а также физический (оптический) уровень передачи данных.

В SDH использовано последние достижения электроники, системотехники, вычислительной техники и многое другое. Ее использование дает возможность существенно сократить объем и стоимость аппаратуры, эксплуатационных затрат, а также длительность монтажа и настройки оборудования. Вместе с этим ее использование значительно увеличивает надежность, живучесть и гибкость сетей, и качество связи.

Рассмотрим общие особенности построения сети синхронной цифровой иерархии SDH.

- *Первой особенностью иерархии SDH* является поддержка в качестве входных сигналов каналов доступа только трибов PDH и SDH (триб – цифровой сигнал канала доступа).

- *Вторая особенность* – процедура формирования структуры фрейма.

При наличии иерархии структур структура верхнего уровня может строиться из структур нижнего уровня, несколько структур того же уровня, могут быть соединены в одну более общую структуру – это два основных правила. Остальные правила отражают специфику технологии. Например, на входе мультиплексора доступа имеем трибы PDH, которые должны быть упакованы в оболочку фрейма так, чтобы их легко можно было ввести и вывести, в нужном месте с помощью мультиплексора ввода-вывода. Для этого сам фрейм достаточно представить в виде некоторого контейнера стандартного размера (в силу синхронности сети его размеры не должны меняться), имеющего сопровождающую документацию – заголовок, где собраны все необходимые для маршрутизации и управления контейнера поля-параметры и внутреннюю емкость для размещения полезной нагрузки, где должны располагаться однотипные контейнеры меньшего размера (нижних уровней), которые также должны иметь некий заголовок и полезную нагрузку и т.д.

Для реализации этого метода было предложено использовать понятие контейнер, в который, и упаковывается триб. По типоразмеру контейнеры делятся на 4 уровня, соответствующие уровням PDH. На контейнер должен наклеиваться ярлык, содержащий управляющую информацию для сбора статистики прохождения контейнера. Контейнер с таким ярлыком используется для переноса информации, т.е. является логическим, а не физическим объектом, поэтому его называют виртуальным контейнером.

- *Третья особенность иерархии SDH* – трибы должны быть упакованы в стандартные помеченные контейнеры, размеры которых определяются уровнем триба в иерархии PDH.

Виртуальные контейнеры могут объединяться в группы двумя различными способами. Контейнеры нижних уровней могут, например, мультиплексироваться (т.е. составляться вместе) и использоваться в качестве полезной нагрузки контейнеров верхних уровней (т.е. большего размера), которые, в свою очередь, служат полезной нагрузкой контейнера самого верхнего уровня (самого большого размера) – фрейма STM-1.

Такое группирование может осуществляться по жесткой синхронной схеме, при которой место отдельного контейнера в поле для размещения нагрузки строго фиксировано. С другой стороны из нескольких фреймов могут быть составлены новые (более крупные) образования – мультифреймы.

Из-за возможных различий в типе составляющих фрейм контейнеров и непредвиденных временных задержек в процессе загрузки фрейма положение контейнеров внутри мультифрейма может быть не фиксировано, что может привести к ошибке при вводе/выводе контейнера, учитывая общую нестабильность синхронизации в сети. Для устранения этого факта, на каждый виртуальный контейнер заводится указатель, содержащий фактический адрес начала виртуального контейнера на карте поля, отведенного на полезную нагрузку. Указатель дает контейнеру некоторую степень свободы, т.е. возможность "плавать" под действием непредвиденных временных флуктуаций, но при этом гарантирует, что он не будет потерян.

- *Четвертая особенность иерархии SDH* –положение виртуального контейнера может определяться с помощью указателей, позволяющих устранить противоречие между фактом синхронности обработки и возможным изменением положения контейнера внутри поля полезной нагрузки.

Хотя размеры контейнеров различны и емкость контейнеров верхних уровней достаточно велика, может оказаться так, что-либо она все равно недостаточна, либо под нагрузку лучше выделить несколько (в том числе и дробной частью) контейнеров меньшего размера. Для этого в SDH технологии предусмотрена возможность сцепления или конкатенации контейнеров (составление нескольких контейнеров вместе в одну структуру, называемую "сцепкой"). Составной контейнер отличается соответствующим индексом от основного и рассматривается (с точки размещения нагрузки) как один большой контейнер. Указанная возможность позволяет с одной стороны оптимизировать использование имеющейся номенклатуры контейнеров, с другой стороны позволяет легко приспособить технологию к новым типам нагрузок, не известных на момент разработки.

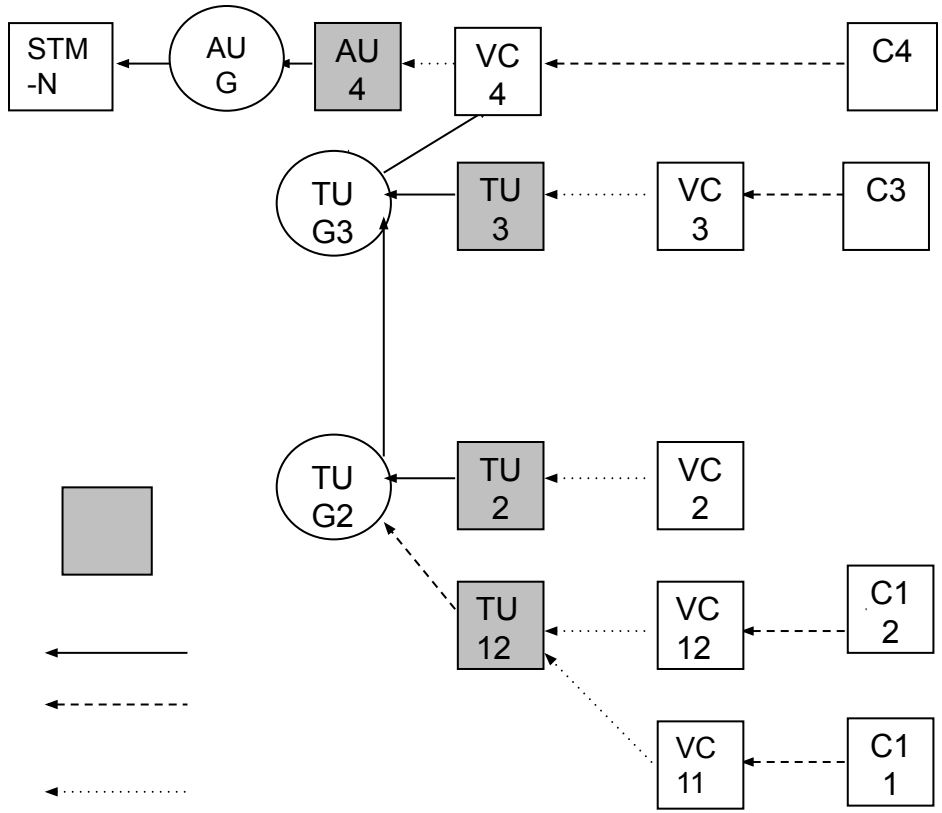
- *Пятой особенностью иерархии SDH* является то, что несколько контейнеров одного уровня могут быть сцеплены вместе и рассматриваться как один непрерывный контейнер, используемый для размещения нестандартной полезной нагрузки.

- *Шестая особенность иерархии SDH* состоит в том, что в ней предусмотрено формирование отдельного поля заголовков размером 9*9=81 байт. Хотя перегруженность общим заголовком невелика и составляет всего 3.33%, он достаточно большой, чтобы разместить необходимую управляющую и контрольную информацию и отвести часть байт для организации необходимых внутренних (служебных) каналов передачи данных. Учитывая, что передача каждого байта в структуре фрейма эквивалентна потоку данных со скоростью 64кбит/с, передача указанного заголовка соответствует организации потока служебной информации эквивалентного 5.184 Мбит/с.

- *Седьмая особенность иерархии SDH* – это деление ее на функциональные слои и подслои. Каждый нижний слой обслуживает верхний и имеет определенные точки доступа. Способы контроля и управления каждого слоя упрощают операции с ликвидации последствий отказов и уменьшают влияние на верхний слой. Независимость каждого слоя, дает возможность модернизировать или заменять его, не касаясь других.

Самый верхний слой образует сеть каналов, которыми обслуживаются конечные пользователи. Группы каналов объединяются в групповые тракты разных порядков (средний слой), которые организовываются в линейные тракты, что принадлежат к нижнему слою физической среды передачи. Нижний слой делится на подслой секций (мультиплексной и регенераторной) и подслой физической среды.

Преобразования и информационные структуры в синхронной цифровой иерархии



На входе и выходе схемы преобразований синхронной цифровой иерархии располагаются такие информационные структуры, как контейнеры С и синхронные транспортные модули STM.

Европейская схема преобразований SDH

Для организации трактов, как уже говорилось ранее, используются виртуальные контейнеры VC, которые образовываются сложением к соответствующему контейнеру трактового заголовка POH. Условно можно записать, что VC=C+POH.

Европейский стандарт не предусматривает контейнер C2, а соответствующий ему контейнер VC2 предназначен для транспортирования новых сигналов с не иерархичными скоростями.

Виртуальные контейнеры формируются и расформируются в точках окончания трактов. Трактовый заголовок дает возможность контролировать качество трактов "из конца в конец" и передавать аварийную и эксплуатационную информацию.

Тракты, что соответствуют контейнерам 1-го и 2-го уровней VC11, VC12 и VC2, относятся к трактам нижнего порядка, а те, что отвечают виртуальным контейнерам 3-го и
4-го уровней VC3 и VC4, - к трактам высшего порядка.

При мультиплексировании циклы компонентных потоков могут не сходиться друг с другом и с циклом агрегатного потока. В плезиохронной цифровой иерархии этому не предается значения, поэтому операции ввода-вывода в ней очень громоздкие. Чтобы избежать этого, в SDH используют указатели PTR, которые указывают, где именно в средине цикла синхронного транспортного модуля STM1 находятся начальные позиции циклов компонентных потоков. Это дает возможность легко выполнять ввод и вывод потоков.

Виртуальные контейнеры 1-3 уровней вместе с соответствующими указателями образуют трибные блоки TU, а 4-го уровня – административный блок AU. Следовательно,

$$TU\ n = VC\ n + TU - PTR\ (n = 1,2,3);$$

$$AU4 = VC4 + AU - PTR.$$

Один или несколько трибных блоков, которые занимают определенные позиции в нагрузке виртуального контейнера высшего порядка, называют *группой трибных блоков TUG*. Группы определены так, чтобы можно было образовать смешанную нагрузку из трибных блоков разных уровней для увеличения гибкости транспортной сети.

Один или несколько административных блоков, которые занимают определенные фиксированные позиции в нагрузке STM, называется *группой административных блоков AUG*. В рассмотренной выше схеме преобразований такая группа складывается с административного блока – AU4.

Синхронный транспортный модуль STM1 образуется сложением к группе административных блоков AUG секционного заголовка SOH, который состоит с заголовков мультиплексной MSOH и регенерационной RSOH секций. Эти заголовки выполняют функции контроля, управления и прочее.

Заголовок RSOH передается между соседними регенераторами, а MSOH – между пунктами, где формируется и расформируется STM, проходя регенераторы транзитом. Следовательно,

$$STM1 = AUG + SOH,$$

$$SOH = RSOH + MSOH.$$

Иерархия системы синхронизации

Система синхронизации сетей цифровой иерархии строится по иерархическому принципу. Верхний уровень занимает первичный эталонный задающий генератор (ЗГ), который вырабатывает синхронизирующий сигнал с долговременным отклонением частоты не больше чем на 1*1011Гц. От него идет принудительная синхронизация остальных ЗГ.

Синхронизация осуществляется передачей синхронизирующего сигнала от одного ЗГ до следующего. Так образуется иерархия ЗГ, в которой одни генераторы есть ведомыми для генераторов верхних порядков и ведущими для генераторов нижнего порядка. Нижний уровень создают ЗГ оборудование сетей синхронной цифровой иерархии.

Синхронизирующие сигналы передаются синхротрассами, которыми есть линейные тракты STM-N. На участках с системами плезиохронной цифровой иерархии синхронизируются сигналы на 2 Мбит/с, которые так же используются как синхротрассы.

Чтобы обеспечить надежную работу системы синхронизации, используют специальные приемы. В частности, первичный ЗГ обязательно резервируют. Как правило, резервируют и ЗГ, расположенные в оборудовании синхронной цифровой иерархии. Для передачи синхронизирующих сигналов используют несколько географично разнесенных синхротрасс. Резервными синхротрассами могут быть радиолинии.

Оборудование синхронной цифровой иерархии могут принимать синхронные сигналы от нескольких источников, для которых задается приоритет использования.

В случае потери синхронизирующих сигналов от ведущего ЗГ ведомый генератор переходит в режим удержания частоты, который может использоваться в сети цифровой иерархии как аварийный. При этом может понижаться качество работы.

Аппаратное обеспечение SDH

Иерархия SDH

Уровень SDH	Скорость передачи,Мбит/с
sub-STM-1(STM-0)	51.840
STM-1	155.520
STM-4	622.080
STM-8	1244.160
STM-12	1866.240
STM-16	2487.320
STM-64	9953,28
STM-252	39813,12

Скорости передачи системы SDH

Построение мультиплексоров SDH

Основным оборудованием систем передачи SDH являются многофункциональные синхронные мультиплексоры (Synchronous Multiplexing, SM), которые отличаются от обычных мультиплексоров универсальностью и гибкостью.

Терминальные мультиплексоры (ТМ) — это оконечные устройства, предназначенные для мультиплексирования сигналов со скоростями передачи 1,5; 2; 6; 34; 45 Мбит/с и 140 Мбит/с в плезиохронных ЦСП и сигналов со скоростями передачи 155, 622, 2500, 9953 Мбит/с и 40Гбит/с в системах передачи SDH. Реальный ТМ не имеет полного набора цифровых каналов доступа с указанными скоростями передачи. Например, ISM-2000, выпущенный компанией Lucent в 1996 г., мультиплексирует только сигналы цифровых потоков со скоростями передачи 2, 34, 140 и 155 Мбит/с.

Мультиплексор выделения/вставки (DIM) является устройством доступа системы передачи SDH в пунктах выделения/вставки каналов и может использоваться в таких сетевых конфигурациях, как магистраль с пунктами выделения/вставки и кольцо с пунктами выделения/вставки.

Синхронный линейный мультиплексор (SLM) выполняет функции оконечного оборудования оптического цифрового линейного тракта (ЦЛТ) системы передачи SDH соответствующего уровня. Следует отметить две особенности построения SLM.

Структура базового мультиплексора

Мультиплексор типа TN-IX фирмы Nortel в зависимости от конфигурации может работать в трех режимах:

- Оконечный мультиплексор TM предназначен для формирования в тракте передачи модуля STM-1 из 63-х цифровых потоков E1, а также для обратного преобразования сигналов в тракте приема.

- Мультиплексор выделения/вставки DIM, обеспечивает ответвление части цифровых потоков E1 в промежуточных пунктах линейной магистрали или кольца и сквозное кросс-соединение в этом пункте остальных цифровых потоков.

- Синхронный линейный мультиплексор STM-1, осуществляющий электронно-оптическое преобразование сигналов модуля STM-1, а также формирование оптического цифрового линейного сигнала (ЦЛС) со скоростью передачи 155,52 Мбит/с (и другими заданными параметрами) в тракте передачи и оптоэлектронное преобразование этого сигнала в тракте приема.

В состав мультиплексора ТМ-IX входят следующие основные блоки:

- Четыре канальных блока БК-2М, которые в совокупности обеспечивают обработку сигналов до 63 цифровых потоков Е1. Каждый такой блок может обрабатывать до 16-ти цифровых потоков.

- Два блока ответвления БО-34М, которые обеспечивают обработку сигналов одного или двух оптических или электрических портов STM-1. Каждый порт STM-1 пропускает до 16–ти виртуальных контейнеров VC-12, т.е. понижает совокупную пропускную способность портов 2М на 16х2240 = 35,84 Мбит/с.

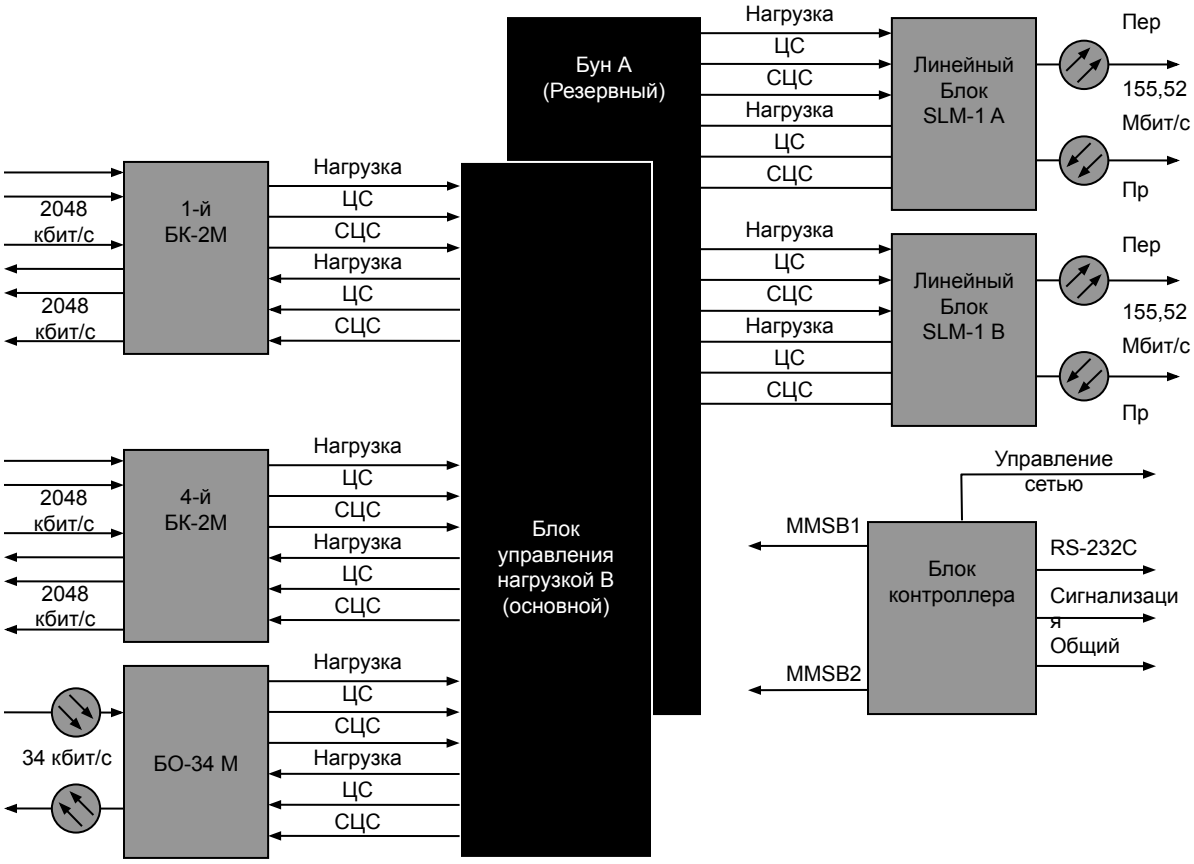
- Два линейных, или агрегатных, блока с электрическими или оптическими интерфейсами. Каждый линейный блок выполняет обработку секционного заголовка модуля STM-1. Кроме того, оптический линейный блок служит для электронно-оптического преобразования сигналов, передаваемых в линейный тракт, и оптоэлектронного преобразования принятых из этого тракта сигналов.

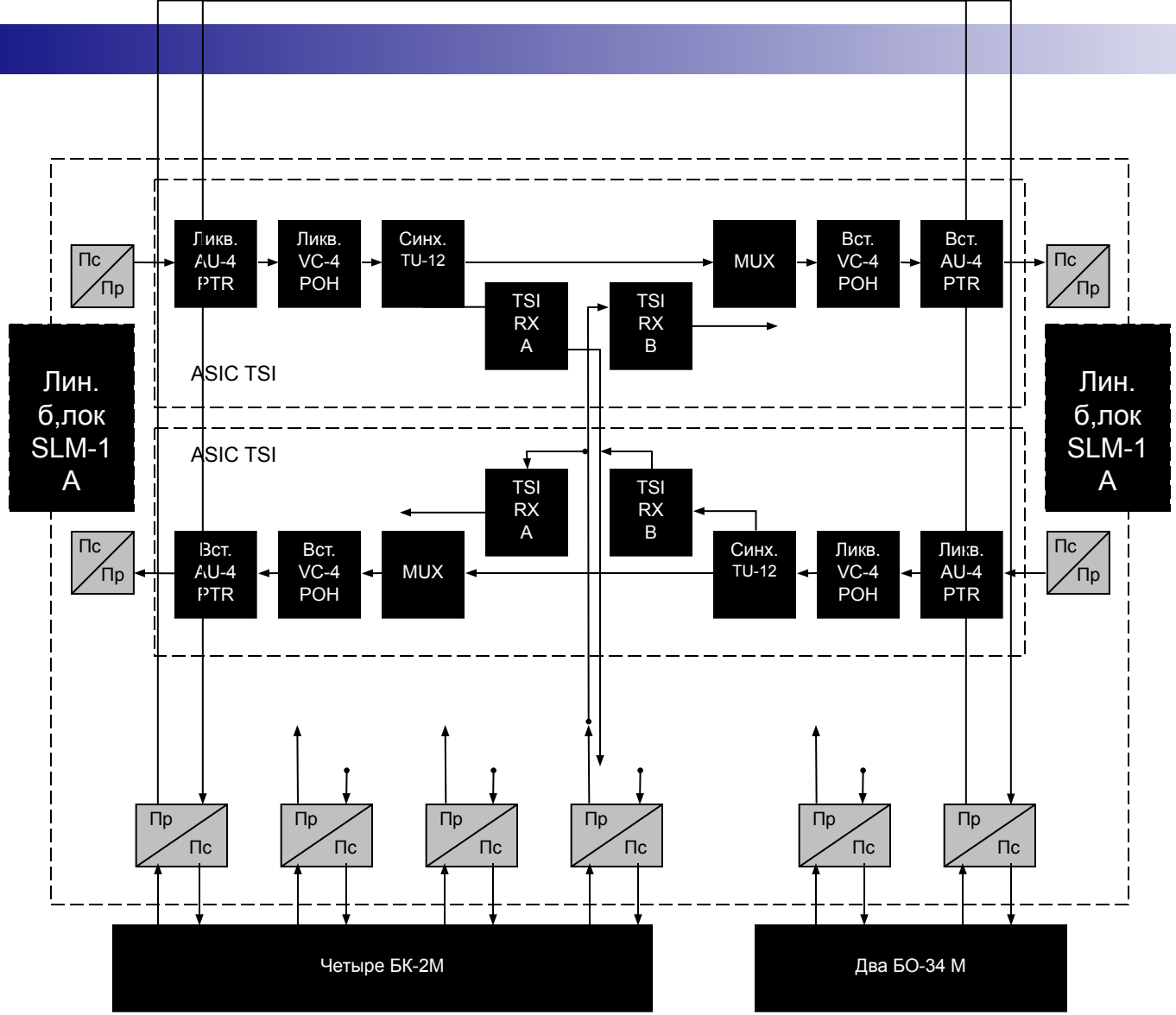
- Электрический линейный блок служит для формирования электрического ЦЛС в тракте передачи, а также для регенерации принятого из ЦЛТ линейного сигнала и преобразования этого ЦЛС в цифровой групповой сигнал в тракте приема.

- Два блока управления нагрузкой с кросс-коннекторами, которые обеспечивают переназначение цифровых потоков на уровне виртуальных контейнеров VC-12 между канальными и линейными блоками, а также выделение и вставку цифровых потоков в промежуточных пунктах. Один из блоков используется как основной, второй - как резервный.

- Блок контроллера, который осуществляет общий контроль за состоянием мультиплексора и управляет его блоками, обрабатывающими трафик.

Структурная схема базового мультиплексора уровня





Фрагмент структурной схемы БУН для обработки трафика

Недостатки технологии SDH:

- использование одного из каналов полностью под служебный трафик
- неэффективное использование пропускной способности каналов связи.
- необходимость использования дополнительного оборудования

Системы асинхронного режима передачи

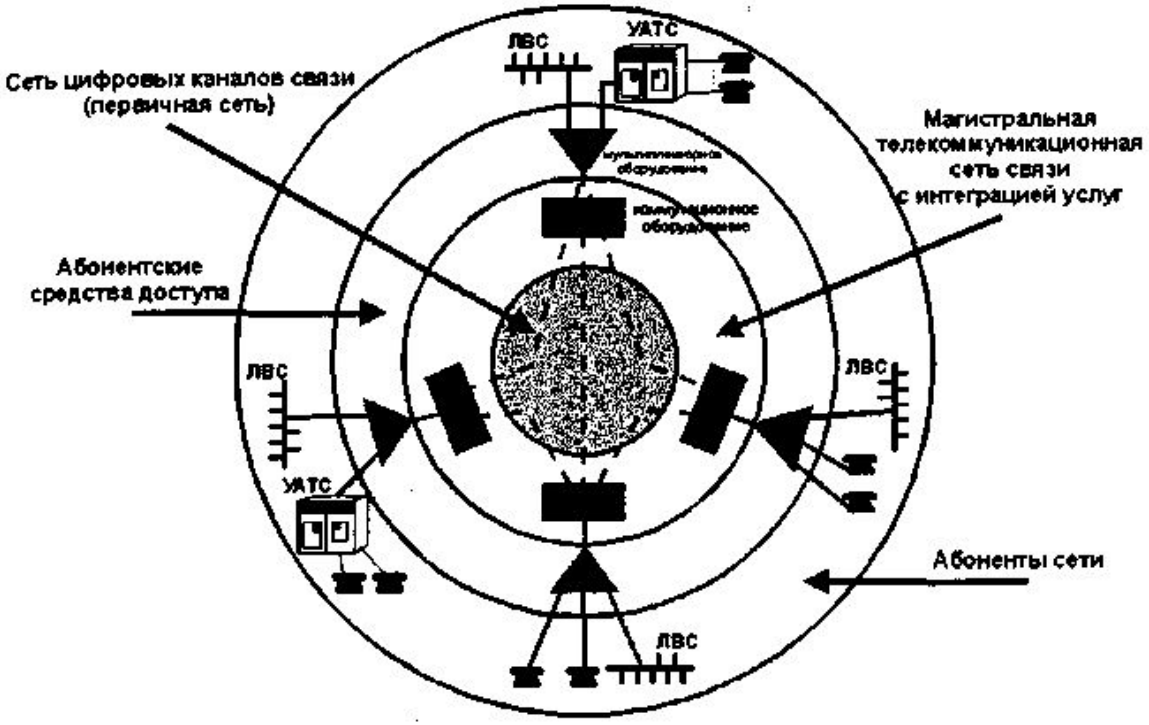
В результате различных путей, приведших к появлению Концепции ATM, сформировалось два почти не связанных между собой подхода к анализу технологии ATM на уровнях:

1. UNI – NNI стандартов интерфейса пользователя (User-Network Interface),
2. NNI - NNI стандартов сетевых интерфейсов: узла (Node - Network Interface) и сети (Network -Network Interface).

Эта технология позволяет строить сети двух типов:

-сети чисто ATM, использующие в качестве транспортной среды волоконно-оптический кабель или радиорелейные средства связи;

-сети ATM/SDH, в которых технология SDH используется как технология первичной сети, поверх которой развертывается сеть ATM.



Общая структура крупномасштабной АТМ сети

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Дать краткую характеристику транспортной сети с технологией плезиохронной цифровой иерархии (PDH).
2. Какие основные достоинства и недостатки технологии PDH?
3. Дать краткую характеристику транспортной сети с технологией синхронной цифровой иерархии (SDH).
4. Пояснить методы преобразований синхронной цифровой иерархии (SDH).
5. Пояснить информационную структуру синхронной цифровой иерархии (SDH).
6. Какой основной принцип взаимодействия транспортных сетей SDH и PDH?
7. Пояснить назначение основных блоков систем передачи с технологией SDH.
8. Какие известны достоинства и недостатки технологии SDH?
9. Дать краткую характеристику транспортной сети с технологией ATM.
10. Какие существуют отличительные особенности транспортных сетей с технологиями SDH и ATM?
11. В чем заключается упрощение структуры транспортной сети ATM по сравнению с транспортной сетью SDH?
12. Какие основные достоинства и недостатки технологии ATM?

Письменные задания

1. Рассчитать количество трибных блоков для функционирования STM-1/4/16/64
2. Рассчитать количество административных блоков для функционирования STM-1/4/16/64
3. Разработать структурную схему STM-1
4. Разработать структурную схему STM-4
5. Разработать структурную схему STM-16
6. Разработать структурную схему STM-64
7. Разработать структурную схему взаимодействия STM-4 в плезиохронном окружении ИКМ-1920
8. Привести комплектацию оборудования STM-1
9. Привести комплектацию оборудования STM-4
10. Привести комплектацию оборудования STM-16
11. Привести комплектацию оборудования STM-64