

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Кафедра систем телекоммуникаций

**Системы передачи синхронной
цифровой иерархии**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ
по дисциплине

«Многоканальные системы передачи»

для студентов

специальности Т12.01 “Телекоммуникационные системы”.

Минск 2001

УДК 621.391:621.395

Тарченко Н.В. Цифровые системы передачи синхронной цифровой иерархии. Мн.: БГУИР, 2001.- ** с.

Рассмотрены особенности построения транспортных сетей на основе систем передачи плезиохронной и синхронной цифровых иерархий. Изложены основные принципы технологии синхронной цифровой иерархии: формирование линейного сигнала, виды служебной информации и методы контроля качества сигнала, функциональные устройства систем SDH и топологии сетей на их основе. Для студентов специальности Т12.01 "Телекоммуникационные системы".

Ил. , табл , список лит. 20 наим.

Библиотека БГУИР

СОДЕРЖАНИЕ

1. СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ПЛЕЗИОХРОННЫХ ЦИФРОВЫХ ИЕРАРХИЙ И СЕТИ НА ИХ ОСНОВЕ.	4
2. СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ СИНХРОННОЙ ЦИФРОВОЙ ИЕРАРХИИ СКОРОСТЕЙ ПЕРЕДАЧИ И СЕТИ НА ИХ ОСНОВЕ.....	6
2.1. Достоинства систем передачи SDH.....	6
2.2. ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА В СЕТЯХ SDH.....	8
2.2.1. Информационная сеть в SDH.....	9
2.2.2. Система обслуживания в сетях SDH.	11
3. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ И СХЕМА ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ SDH.	11
3.1. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ В SDH.....	11
3.2. СХЕМА ПРЕОБРАЗОВАНИЙ СКОРОСТЕЙ В SDH.	12
3.3. ВИРТУАЛЬНЫЕ КОНТЕЙНЕРЫ.	16
3.4. СТРУКТУРА ТРАКТОВЫХ ЗАГОЛОВКОВ ВИРТУАЛЬНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ.	19
3.5. ПРОЦЕДУРА ВЫРАВНИВАНИЯ В SDH.....	22
3.6. КОМПОНЕНТНЫЕ БЛОКИ.	23
3.7. АДМИНИСТРАТИВНЫЕ БЛОКИ.....	25
3.8. СТРУКТУРА ЦИКЛА STM-1.....	27
3.9. СТРУКТУРА СЕКЦИОННОГО ЗАГОЛОВКА STM-1 SON.	28
3.10. СТРУКТУРА ЦИКЛА STM-N.	30
3.11. МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ STM-N.....	32
3.12. ВЫЧИСЛЕНИЕ VIP-N.....	33
3.13. СИГНАЛЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ В СЕТЯХ SDH.....	35
3.14. ЛИНЕЙНЫЕ ТРАКТЫ В СЕТЯХ SDH.	35
4. ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ SDH	36
4.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	36
4.2. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МОДУЛИ СЕТЕЙ SDH.	37
4.3. ТОПОЛОГИЯ СЕТЕЙ SDH.....	39
4.4. МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ СИНХРОННЫХ ПОТОКОВ.....	45
5. ТАКТОВАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ СЕТИ SDH	46
ЛИТЕРАТУРА.....	50

1. Системы передачи плезиохронных цифровых иерархий и сети на их основе.

В современном промышленном обществе обмен информацией является таким же важным как и два классических промышленных показателя - труд и капитал. Возрастающая потребность современного общества в получении и обмене информацией определяет высокие темпы развития и качественные изменения в области телекоммуникаций. Современные сети телекоммуникаций должны быть построены на основе цифровых систем передачи и коммутации и иметь гибкую, легко управляемую структуру. Также должна обеспечиваться возможность совместной работы аппаратуры разных фирм-производителей на сети связи одного оператора и удобство взаимодействия нескольких сетевых операторов.

Первые цифровые системы передачи (ЦСП) появились в 1962 году в США, как экономичное средство создания соединительных линий для электромеханических и квазиэлектронных автоматических телефонных станций. В конце 70-х годов, по мере развития теории связи, технологии, а также цифровых методов обработки и передачи сигналов, была разработана и получила общее признание концепция цифровой транспортной сети (ЦТС), как базы для всех служб электросвязи.

ЦТС обладает новыми свойствами, важными для развития и качественного преобразования отрасли связи. Используя цифровое представление сигналов, можно объединить в одной сети цифровые коммутационные станции любых вторичных сетей и построить на этой основе цифровую сеть с интеграцией служб.

С появлением цифровых коммутационных станций с программным управлением началась активная цифровизация сетей телекоммуникаций. Были приняты 15-25 - летние программы цифровизации, которые в ряде стран близки к завершению. Интенсивно цифровизируются и сети развивающихся стран.

Существующие ЦТС построены на основе систем передачи плезиохронных цифровых иерархий (PDH) (*plesiochronous digital hierarchy, PDH*). Три такие иерархии были разработаны и регламентированы Международным Союзом Электросвязи (МСЭ) (*International telecommunication union, ITU*) на рубеже 70-80-х г. Первая, принятая в США и Канаде, получила название американской, вторая, принятая в Японии, японской, третья, принятая в Европе и Южной Америке, европейской.

Во всех PDH нулевой уровень составляет основной цифровой канал (ОЦК), предназначенный для передачи оцифрованного речевого сигнала и имеющий скорость передачи 64 кбит/с. Основные цифровые каналы объединяются в тракт первого уровня **синхронно**. На остальных уровнях осуществляется асинхронное объединение плезиохронных цифровых потоков с использованием механизма согласования скоростей. Отсутствие кратных соотношений между скоростями уровней иерархий является отличительным признаком PDH.

Перечень каналов и трактов, которые могут быть созданы в ЦТС на основе различных PDH, приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Уровень цифровой иерархии	Американская		Японская		Европейская	
	Количество объединяемых потоков - условное обозначение	Скорость передачи, кбит/с	Количество объединяемых потоков - условное обозначение	Скорость передачи, кбит/с	Количество объединяемых потоков - условное обозначение	Скорость передачи, кбит/с
0	1 – DS0	64	1 - DS0	64	1 - DS0	64
1	24 – DS1	1544	24 - DS1	1544	30 - E1	2048
2	4 – DS2	6312	4 - DS2	6312	4 - E2	8448
3	7 – DS3	44736	5 - DSJ3	32064	4 - E3	34368
4	6	274176**	3 - DSJ4	97728	4 - E4	139264
5			4	397200**	4	564992**

** отмечены скорости, не вошедшие в рекомендации МСЭ-Т.

Разработанные в свое время для обслуживания телефонных сетей, системы передачи PDH имеют ряд особенностей, которые и определяют свойства ЦТС, построенной на их основе:

1. Циклы сигналов PDH имеют малую избыточность. Они не обеспечивают возможность создания добавочных служебных каналов для контроля качества передачи и управления сетью. Поэтому для организации на сетях PDH систем контроля, управления и обслуживания (типа TMN) требуется создание специальных сетей передачи контрольных и управляющих сигналов, а также отдельной контрольной и управляющей аппаратуры и программного обеспечения (аппаратуры оперативного переключения различного уровня, устройств сбора и обработки служебной информации, устройств контроля качества цифровых трактов по показателям ошибок и др.).
2. В условиях рыночной экономики появляется много поставщиков аппаратуры и сетевых операторов, взаимодействие которых на сети требует высокого уровня стандартизации аппаратуры и процедур эксплуатации - начиная от обеспечения работы аппаратуры разных фирм в одном линейном тракте и кончая взаимодействием зон разных операторов. В PDH нет стандартов на линейные сигналы, недостаточно глубоко нормированы дрожания и дрейф фазы сигналов. Аппаратура PDH, в основном, не имеет стандартных протоколов и интерфейсов обслуживания (они разработаны МСЭ-Т только в последние годы) и т. д. Введение новых стандартов в PDH запоздало, т. к. ведущие промышленные фирмы и администрации связи прекратили работы по этим вопросам. В последние годы не корректируются основные рекомендации по ЦСП PDH. Этот вопрос исключен из программы Сектора Стандартизации Электро-связи.

3. В современных волоконно-оптических кабелях достижимы высокие (несколько Гбит/с) скорости передачи с одновременным удлинением секции регенерации до 100 км и более. Новые цифровые РРЛ также способны передавать цифровые потоки в несколько сот Мбит/с. Производительность (произведение скорости передачи на длину секции регенерации) таких линейных трактов превышает производительность цифровых трактов на кабелях с металлическими парами в 100 и более раз. Многие регенераторы можно совместить с сетевыми узлами и станциями. Однако, получение вышеупомянутых высокоскоростных сигналов с помощью необходимой в PDH процедуры согласования скоростей объединяемых цифровых (компонентных) потоков, приводит к громоздким и малонадежным техническим решениям.
4. Построение по принципу пошагового мультиплексирования затрудняет ввод/вывод цифровых потоков в промежуточных пунктах, т.к. для этого требуется многоступенчатое расформирование группового сигнала.
5. При нарушениях цикловой синхронизации относительно большое время тратится на многоступенчатое восстановление синхронизации компонентных цифровых потоков.
6. Характеристики ЦСП различных PDH существенно различаются (они узко специализированны по структурам циклов, методам согласования скоростей, скоростям передачи и другим параметрам), что затрудняет создание глобальной сети, а также новых систем связи. Наличие различных вариантов иерархий (европейской, японской и американской) требует преобразования сигналов на международных стыках.

Указанные и другие недостатки, присущие сетям и системам PDH, лишают эти сети и системы перспективы дальнейшего развития в качестве самостоятельных систем передачи. Однако системы PDH продолжают интенсивно развиваться в качестве линий привязки отдельных узлов к сетевым или магистральным системам передачи, построенным на основе синхронной цифровой иерархии.

2. Системы передачи на основе синхронной цифровой иерархии скоростей передачи и сети на их основе.

2.1. Достоинства систем передачи SDH

Потребности ускоренного развития связи в условиях рыночной экономики в последние 10-15 лет выявили необходимость коренных изменений в структуре и практике эксплуатации сетей связи. Современные ЦТС должны иметь гибкую, легко управляемую структуру. Они должны обеспечивать передачу и переключение потоков информации разной емкости, ввод и выделение этих потоков в коммутационных пунктах, глубокий контроль качества и тарификацию в соответствии с действительным временем пользования связью и ее качеством. Эти сети должны быть базой для

служб, использующих как синхронный (*Synchronous Transfer Mode, STM*), так и *асинхронный (Asynchronous Transfer Mode, ATM)* способы переноса информации. Перечисленные требования практически невыполнимы в рамках PDH.

В 1986г. в США компанией BELLCORE при участии AT&T, ALCATEL и др. была разработана синхронная оптическая сеть (synchronous optical network, SONET), которая удовлетворяла требованиям североамериканских стандартов и позволила объединить многие компании, использующие волоконно-оптические линии связи (ВОЛС).

Концепция SONET была расширена с учетом накопленного в мировом масштабе опыта и принята МСЭ-Т в 1988 г. под названием синхронной цифровой иерархии (*synchronous digital hierarchy, SDH*).

Технология SDH представляет собой протокол связи для высокоскоростной передачи информации, базирующийся на стандартизированных иерархических уровнях и дает возможность передавать в одном и том же цикле передачи информацию разных видов с разными скоростями. Все это обеспечивается при высокой пропускной способности, позволяющей осуществлять сквозное управление этими услугами.

Главным достоинством SDH является *прозрачность* сети - возможность осуществлять ввод/вывод отдельных цифровых потоков независимо от их структуры, ликвидировать или перестраивать их без перерыва связи благодаря использованию направленного синхронного мультиплексирования, при котором каждый цифровой поток занимает строго определенное временное положение в общем стандартном цикле передачи.

Первоначальной задачей была разработка сети SDH с унифицированными оптическими интерфейсами, спроектированными и разработанными различными изготовителями, но пригодными для совместного использования. Впоследствии были приняты во внимание и другие аспекты.

Основными положениями, учитываемыми при разработке и внедрении, SDH были:

1. необходимость унифицированного всемирного стандарта передачи;
2. полная совместимость линейных систем передачи SDH разных производителей;
3. совместимость сетей SDH с существующими сетями PDH;
4. потребность в высокой пропускной способности сети;
5. высокая надежность;
6. упрощенные методы мультиплексирования/демультиплексирования цифровых потоков;
7. прямой ввод/вывод цифровых потоков без необходимости демультиплексирования всего цикла (что позволяет значительно уменьшить количество оборудования, длину станционных кабелей и потребляемую мощность источников питания);
8. поддержка обширных функций контроля и управления при эксплуатации путем использования стандартных интерфейсов.

В результате была разработана и внедрена синхронная цифровая иерархия – интегрированная сеть телекоммуникаций, основанная на волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС), позволяющая передавать все виды трафика и обеспечивающая:

1. использование синхронного побайтового мультиплексирования;
2. использование на всех уровнях иерархии стандартной длительности цикла 125 мкс;
3. прозрачность передачи любого трафика за счет использования технологии компоновки виртуальных контейнеров, их упаковки и транспортировки, позволяющей переносить трафик, сформированный другими технологиями: PDH, Frame Relay, B-ISDN, ATM и др.
4. высокую доступность, надежность и самовосстанавливаемость сети, обусловленную использованием ВОЛС, а также тем, что архитектура и гибкое управление сетями позволяет использовать защищенный режим работы, допускающий альтернативные пути распространения сигнала с почти мгновенным переключением;
5. гибкое управление сетью за счет большого числа широкополосных каналов управления;
6. применение единых стандартизированных процедур технического обслуживания цифровых трактов в процессе их эксплуатации;
7. универсальность применения и простоту наращивания, совместимость линейного и оконечного оборудования различных фирм производителей.

Концепция SDH признана оптимальной для развития сетей связи. Она принята МСЭ-Т, Европейским институтом стандартов электросвязи (***European Telecommunications Standards Institute, ETSI***) и другими международными организациями. Многие страны, в том числе и Республика Беларусь, широко применяют системы передачи SDH. Ниже излагаются основные характеристики таких систем.

2.2. Транспортная система в сетях SDH.

Принципами SDH предусматривается создание на сети связи универсальной транспортной системы, органически объединяющей сетевые ресурсы, которые выполняют функции передачи информации, контроля и управления (оперативного переключения, резервирования и др.). Транспортная система является базой для всех существующих и планируемых служб, интеллектуальных, персональных и других сетей связи.

Информационной нагрузкой транспортной системы SDH могут быть сигналы любой из существующих PDH, потоки ячеек ATM или иные цифровые сигналы.

Универсальные возможности транспортирования разнородных сигналов достигаются в SDH благодаря использованию принципа контейнерных перевозок. В транспортной системе SDH перемещаются не сами сиг-

налы нагрузки, а новые цифровые структуры - виртуальные контейнеры, в которых размещаются сигналы нагрузки. Сетевые операции с контейнерами выполняются независимо от их содержания. После доставки на место и выгрузки из контейнеров сигналы нагрузки обретают исходную форму. Поэтому транспортная система SDH является прозрачной и может использоваться для развития любых действующих сетей.

Транспортная система SDH содержит информационную сеть и систему контроля и управления (систему обслуживания).

2.2.1. Информационная сеть в SDH.

Архитектура информационной сети SDH установлена в рекомендации МСЭ-Т G. 803. Информационная сеть SDH построена по функциональным слоям, связанным отношениями клиент/услуга. Клиентом для верхнего слоя сети является потребитель. Сам верхний слой, в свою очередь, выступает в роли клиента для следующего и т. д. Все слои выполняют определённые функции и имеют стандартизованные интерфейсы к точкам доступа. Каждый слой оснащен собственными средствами контроля и управления, что минимизирует операции при авариях и влияние на другие слои. Функции каждого слоя не зависят от способа физической реализации нижнего обслуживающего слоя. Каждый слой может создаваться и развиваться независимо. Указанное послойное построение облегчает создание и эксплуатацию сети и позволяет достичь наиболее высоких технико-экономических показателей.

Сеть SDH содержит три топологически независимых слоя: каналов, трактов и среды передачи, которые разделяются на более специализированные. Послойное построение сети SDH приведено на рис.1.

Сети слоя каналов соединяют различные комплекты оконечной аппаратуры SDH и терминалы потребителей. Слой каналов поддерживает такие службы, как служба аренды каналов, служба пакетной коммутации, коммутации каналов и др.

Ниже лежит слой трактов. Тракт (path) в SDH – это маршрут передачи между оконечным оборудованием пути, т.е. оконечным оборудованием пользователя. Он делится на два слоя трактов: низшего и высшего ранга. Сети трактов полностью независимы от физической среды и могут иметь собственную топологию. В слое трактов осуществляется программный и дистанционный контроль и управление соединениями. Все тракты оканчиваются в аппаратуре оперативного переключения (АОП), входящей в мультиплексоры SDH, либо автономной, с помощью которой тракты резервируются, вводятся и ответвляются. При этом возможно создание и обслуживание кольцевых, разветвленных и других эффективных сетевых конфигураций.

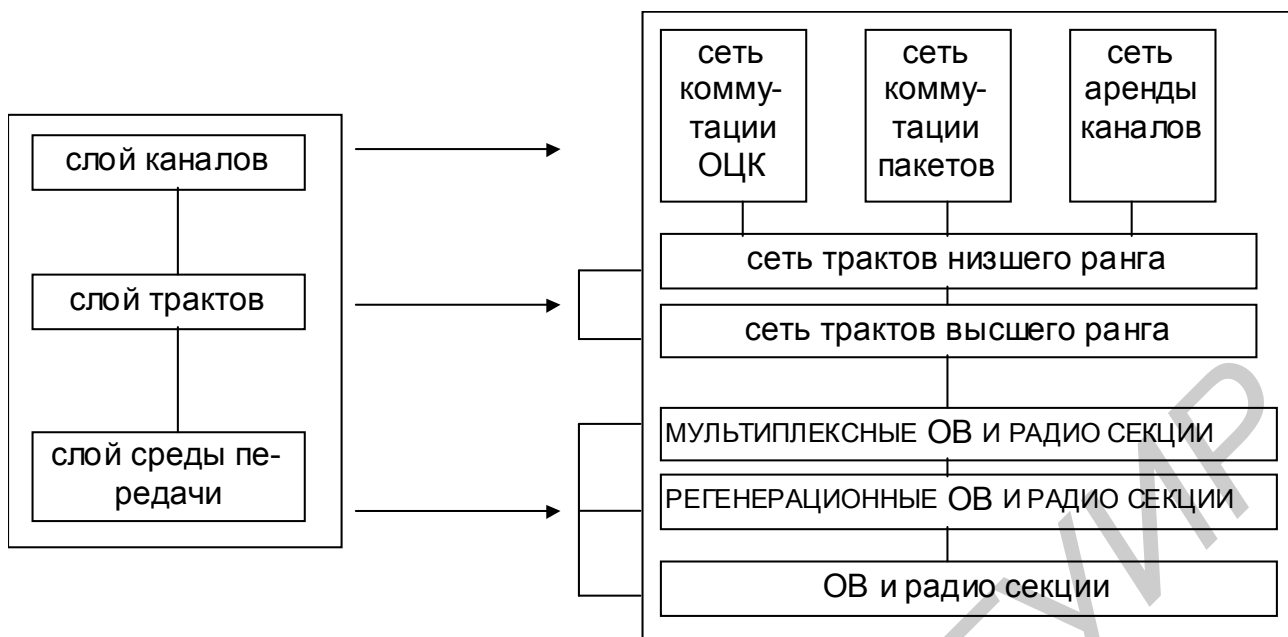


Рис.1.

Слой среды передачи делится на два слоя: секций (верхний) и физической среды. Секции выполняют все функции, которые обеспечивают передачу информации между двумя узлами слоя трактов. В качестве физической среды используются оптические волокна (ОВ) или радиолинии. Слой секций SDH имеет слой мультиплексных секций (*multiplexer sections, MS*) и слой регенерационных секций (*regenerator sections, RS*). Мультиплексная секция обеспечивает передачу информации между пунктами, где оканчиваются либо переключаются тракты, а RS - передачу информации между регенераторами или между регенераторами и пунктами окончания или коммутации трактов. В слое секций также возможно резервирование (например, по системе 1:n). Структура тракта SDH представлена на рис.2.

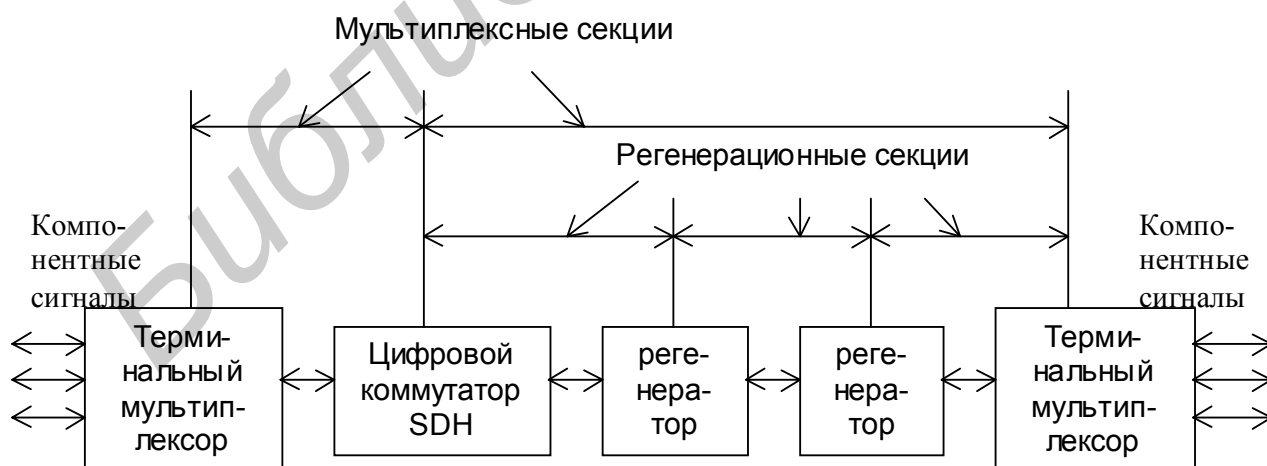


Рис.2.

Регенерационные секции полностью зависят от среды передачи. Мультиплексные секции могут зависеть от среды передачи (радио) и иметь ограничения топологии (например, точка - точка).

Сеть SDH в каждом своем слое может быть разделена на подсети (национальные, региональные, местные и пр.). Деление на подсети позволяет упростить процессы эксплуатации сети, ввести более экономичное нормирование и т. д.

2.2.2. Система обслуживания в сетях SDH.

Создание сетевых конфигураций, контроль и управление отдельными станциями и всей информационной сетью осуществляются программно и дистанционно с помощью системы обслуживания SDH. Эта система является подсистемой общесетевой системы обслуживания (**Telecommunication Management Network, TMN**), использует общие принципы последней, которые изложены в Рек. М. 20 и М. 3010, а для SDH конкретизированы в Рек. G.774 и G.784. Система решает задачи обслуживания современных сетей связи: оптимизирует эксплуатацию аппаратуры разных фирм в зоне одного оператора и взаимодействие зон разных операторов.

Система обслуживания делится на подсистемы, обслуживающие отдельные участки информационной сети SDH. Доступ к каждой SDH - подсистеме осуществляется через главный в этой подсистеме (шлюзовой) узел или станцию SDH.

Физической основой системы являются входящие в аппаратуру контрольно-управляющие микропроцессоры, интерфейсы обслуживания, встроенные в циклы служебные каналы и программное обеспечение. Протоколы связи по встроенным служебным каналам установлены в Рек. G.784, а для Q - интерфейсов - в Рек G.773, Q.811 и Q.812. Система обслуживания SDH позволяет выполнять все операции по обслуживанию сети и каждого узла (станции) SDH как из центра, так и из других пунктов, которым такое право предоставлено.

3. Информационные структуры и схема преобразований в транспортной системе SDH.

3.1. Информационные структуры в SDH.

Принципы ЦТС на основе оборудования SDH реализуются с помощью информационных цифровых структур, образуемых на аппаратном уровне в сетевых слоях секций и трактов.

В слое секций используются структуры SDH - синхронные транспортные модули STM-N, представляющие собой форматы линейных сигналов. Они же используются на интерфейсах сетевых узлов и регламентированы в Рек. G.708. Число N означает уровень SDH. К настоящему времени существует следующая иерархия уровней SDH (STM-N):

- STM-1 - 155,520 Мбит/с;
- STM-4 - 622,080 Мбит/с;
- STM-16 - 2448,320 Мбит/с;

– STM-64 - 9953,280 Мбит/с.

Сигналы высших уровней получают путем побайтного синхронного объединения N сигналов первого уровня. Низко- и среднескоростные системы передачи SDH, основанные на радиорелейных и спутниковых линиях, могут работать с субпервичной скоростью STM-0 (51,840 Мбит/с), которая, однако, не является уровнем SDH.

Базовой единицей информации для передачи по сети SDH является синхронный транспортный модуль первого порядка STM-1. Преобразования в SDH в формат STM-N осуществляется в два этапа:

1. согласование скоростей передачи входящих потоков PDH и образование STM-1;
2. синхронное мультиплексирование STM-1 в STM-N.

3.2. Схема преобразований скоростей в SDH.

Схема преобразований скоростей в SDH по рекомендации МСЭ-T G.709 приведена на рис.3. В качестве полезной нагрузки показаны сигналы PDH, хотя вместо них могут использоваться ячейки ATM и др. сигналы. Различные процессы преобразования сигналов при формировании STM-N обозначены тремя видами линий.

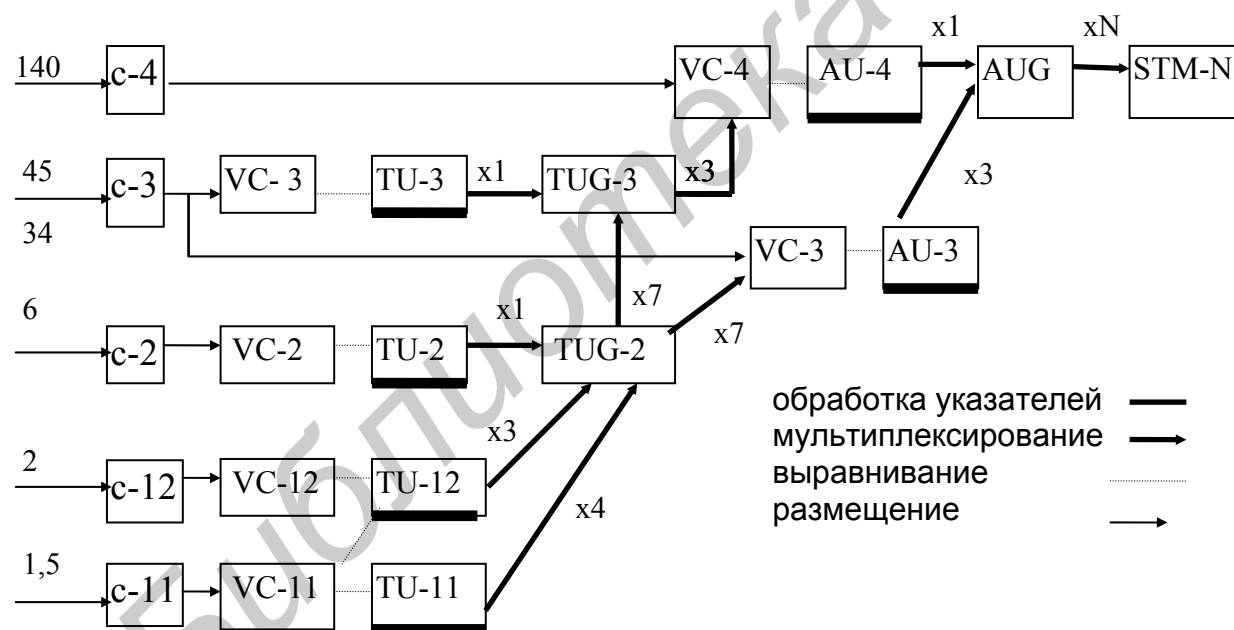


Рис.3. Схема преобразований скоростей в SDH.

Первоначально цифровые потоки PDH размещаются в **контейнерах** (**containers, C**), где осуществляется согласование тактовых частот компонентных сигналов с частотой сигнала STM-N. Каждый контейнер включает в себя фиксированное количество бит из соответствующего цифрового потока (т.е. полезную нагрузку).

Размещение - процедура, посредством которой сигнал PDH потребителя размещается в контейнере C-n. Взаимодействие SDH/PDH осуще-

ствляется на уровнях DS1, DS2, DS3, E1, E3, E4 формированием контейнеров, представленных в таблице 2.

Таблица 2.

Уровень	Поток, Мбит/с	Контейнер
Уровень 1	1,544	C-11
	2,048	C-12
Уровень 2	6,312	C-2
Уровень 3	34,368 или 44,736	C-3
Уровень 4	139,264	C-4

Сигналы E2 (8,448 Мбит/с) непосредственно в STM-N не размещаются, поэтому их всегда необходимо или разделять до 2,048 Мбит/с или объединять до 34,368 Мбит/с или 139,264 Мбит/с.

Варианты размещения сигналов потребителей в С-п определяются стратегией построения сети SDH. Поступающие цифровые потоки размещаются на определенных позициях циклов С-п.

Рек. G.709 указывает способы асинхронного размещения всех указанных на схеме сигналов PDH. Асинхронная нагрузка может размещаться только при использовании плавающего режима мультиплексирования компонентных блоков в контейнеры верхнего ранга, с помощью указателей компонентных блоков. Для синхронной нагрузки предусмотрен и фиксированный режим. В этом случае указатели компонентных блоков исключаются, места компонентных блоков фиксированы и определяются указателями административных блоков.

Учитывая широкое и разнообразное использование в современных сетях связи цифровых потоков DS1 - 1544 Мбит/с и E1 - 2,048 Мбит/с, предусмотрены различные варианты их размещения в C-11 и C-12. Сигналы DS1, DS2 и E1 могут быть размещены в контейнерах бит-синхронно, а сигналы DS1 и E1 с октетной структурой - и байт-синхронно (последнее обеспечивает прямой доступ к каналам 64 кбит/с).

Асинхронное размещение применяется на первых этапах развертывания сети SDH при работе синхронных участков в плезиохронном окружении. В этом случае цифровые потоки потребителей и процедура размещения не синхронны между собой как по битовым, так и по цикловым скоростям, что требует применения процедуры согласования скоростей, а значит и битов согласования скоростей. Цикловая синхронизация, если она используется, осуществляется у потребителей. Вариант применяется на начальном этапе развития сети как наиболее простой с технической точки зрения.

Синхронное размещение целесообразно при создании синхронных зон и имеет две разновидности:

- *байт-синхронное* размещение обеспечивает доступ к составляющим каналам 64 кбит/с, т. к. октеты (байты) потоков 1,544 Мбит/с и 2,048 Мбит/с совпадают с байтами C-1. При таком способе размещения входные сигналы и сам процесс образования C-1 синхронны по битовым скоростям и

синхронны по цикловым скоростям. Значит, все байты C-1 жестко привязаны к байтам входного сигнала и может быть организован прямой доступ к любому каналу из C-1. Вариант технически труднореализуем, т. к. необходима полная синхронизация всей сети, однако наиболее предпочтителен при развитых сетях SDH.

- *бит-синхронное* размещение применяется для сигналов, не имеющих октетной структуры. При таком способе размещения входные сигналы потребителей должны иметь такую же битовую скорость, как и скорость размещения, т. е. аппаратура SDH и аппаратура потребителей должны работать бит-синхронно. Цикловая синхронизация определяется у потребителей. В этом варианте не требуется выравнивание скоростей по битам, а значит и не применяются биты согласования скоростей. Такой вариант применяется редко.

Ячейки АТМ размещаются в контейнерах так, чтобы байты ячеек совпадали с байтами контейнеров. Поскольку число байтов ячейки не всегда кратно числу байтов контейнера, ячейки могут выходить за пределы контейнеров. Предварительно поток ячеек скремблируется. Стандартизовано размещение ячеек в контейнерах C-4. Рассматривается, специальное использование для этой цели контейнеров C-2.

С добавлением к контейнеру C-n *трактового заголовка (path overhead, POH)*, который содержит имеющую отношение к тракту служебную информацию и позволяет осуществлять контроль качества трактов “из конца в конец”, передавать аварийную и эксплуатационную информацию, формируется *виртуальный контейнер (virtual container, VC)*. VC-n используются для организации трактов и формируются и расформируются в точках окончания трактов:

$$VC-n = C-n + POH.$$

Определены два типа VC - низшего (VC-11, VC-12, VC-2) и высшего порядка (VC-3, VC-4).

На каждом уровне при организации VC-n в трактовый заголовок вводятся дополнительные биты, которые используются для контроля качества передачи в SDH - так называемый контроль ошибок по четности чередованных бит (bit interleaved parity, BIP). На передающей стороне к полезному сигналу добавляется информация BIP-N. На приемной стороне та же информация вычисляется из принятого сигнала и сравнивается с результатом, полученным от передатчика. В каждом случае число битов проверки N по BIP-N (BIP-2, BIP-8, BIP-24) соответствует максимальному числу равномерно распределенных ошибок, которые могут быть обнаружены при данном контроле.

На следующем этапе VC-n преобразуется в *компонентный блок (tributary unit, TU)*. Для этого, к нему добавляется *указатель компонентного блока (tributary unit pointer, TU Pointer)*, который указывает положение данного виртуального контейнера в виртуальном контейнере более высокого порядка и позволяет легко производить ввод/вывод потоков:

TU-n = VC-n + TU Pointer.

В связи с тем, что скорости передачи составляющих STM-1 сигналов и скорость передачи STM-1 могут быть различны, может иметь место фазовый сдвиг. Следствием этого фазового сдвига будет смещение VC-n относительно начала цикла, но по значению TU Pointer можно точно разместить или извлечь его из цикла. TU Pointer занимает строго фиксированное положение в цикле, указывая позицию служебных битов VC-n, которые не имеют фиксированного положения относительно начала цикла. Прочитав значение TU Pointer, можно разместить или извлечь VC-n из цикла. TU-n имеет необходимую информацию о содержимом блока и его назначении. TU-n уже согласован по фазе с основным сигналом и готов к размещению в STM-1 непосредственно или используя предварительное объединение в группу. Т. о., VC-n получает свое место в передаваемом сигнале, что позволяет просто (без дополнительных преобразований) выделить его на приемной стороне.

Несколько компонентных блоков объединяются **группу компонентных блоков (tributary unit group, TUG)**, например три TU-12 объединяются в TUG-2 (см. рис.3)

$$\text{TUG-2} = 3 \times \text{TU-12.}$$

Семь TUG-2 объединены в TUG-3

$$\text{TUG-3} = 7 \times \text{TUG-2.}$$

На приемной стороне из TUG-3 любой из TU-2 может быть выделен непосредственно. Группы определены так, чтобы получить возможность образования смешанной нагрузки из TU-n разных уровней для увеличения гибкости первичной сети.

Для размещения передаваемой информации в STM-N необходимо создать **административный блок (administrative unit, AU)**. AU-n (n=3,4) представляет собой один или несколько VC соответствующего размера (VC-3, VC-4) и **указатель административного блока (administrative unit pointer, AU Pointer)** AU-n Pointer, например,

$$\text{AU-4} = \text{VC-4} + \text{AU-4 Pointer.}$$

AU Pointer содержит информацию о положении VC-3 или VC-4 в STM-N.

При необходимости, VC-4 может быть образован из трех VC-3 (для этого к каждому из них добавляется **указатель компонентного блока TU-3**) или из трех TUG-3 (см.рис.3).

Один (или несколько) AU-4, занимающих определенные фиксированные позиции в нагрузке STM-1 (STM-N), называют **группой административных блоков (administrative unit group, AUG)**. В европейской схеме преобразований она состоит из одного AU-4

$$\text{AUG} = 1 \times \text{AU-4.}$$

STM-1 образуется добавлением к AUG **секционного заголовка (section overhead, SOH)**, который состоит из **заголовка мультиплексной секции (multiplexer section overhead, MSOH)** и **заголовка регенерационной секции (regenerator section overhead, RSOH)** STM-1 SOH, который содержит в себе информацию по синхронизации STM-1 и другую

секционную служебную информацию (для осуществления функций технического обслуживания, контроля и управления). Именно введение такой избыточной структуры, позволяет достигнуть дополнительной мощности и функциональности управления элементами сети и всей телекоммуникационной инфраструктурой. Такая информация может быть извлечена из STM-1 SOH без расформирования самого STM-1. При этом, RSOH передается между соседними регенераторами и может быть изменен там, а MSOH – в пределах мультиплексной секции, где формируются и расформируются STM-1, проходя регенераторы транзитом. Таким образом,

$$\text{STM-1} = \text{AUG-4} + \text{STM-1 SOH},$$

где $\text{STM-1 SOH} = \text{RSOH} + \text{MSOH}$;

$$\text{STM-N} = \text{N} \times \text{AUG-4} + \text{STM-N SOH}.$$

Цикл любого STM-N составляет 125 мкс. STM-N SOH образуется до передачи, в отличие от STM-1, который образуется во время передачи. Следует отметить, что STM-N SOH не является результатом прямого побайтового мультиплексирования N STM-1 SOH.

На рис.4 показан цикл STM – 1, имеющий период 125 мкс. Для удобства обозрения этот цикл изображается в виде прямоугольной матрицы из 9 рядов и 270 столбцов ($9 \times 270 = 2430$ элементов). Каждый элемент отображает 1 байт (8 бит) и соответствует скорости передачи 64 кбит/с, а вся таблица - скорости передачи 1-го уровня SDH: $64 \times 2430 = 155520$ кбит/с.

В линию сигнал STM-1 передается последовательно строка за строкой слева направо.

Первые 9 столбцов цикла STM-1 занимают служебные сигналы: секционный заголовок (SOH) и указатель административного блока (AU-указатель или AUP). Остальные 261 столбец – поле полезной нагрузки.

3.3. Виртуальные контейнеры.

Для организации соединений в сетевых слоях трактов используются виртуальные контейнеры VC-n, определенные в Рек. G708, G.709.

Виртуальный контейнер - это блочная циклическая структура с периодом повторения 125 или 500 мкс (в зависимости от вида тракта). Каждый VC-n состоит из поля нагрузки (контейнер C-n) и трактового заголовка (POH), несущего сигналы обслуживания данного виртуального контейнера:

$$VC-n = C-n + POH.$$

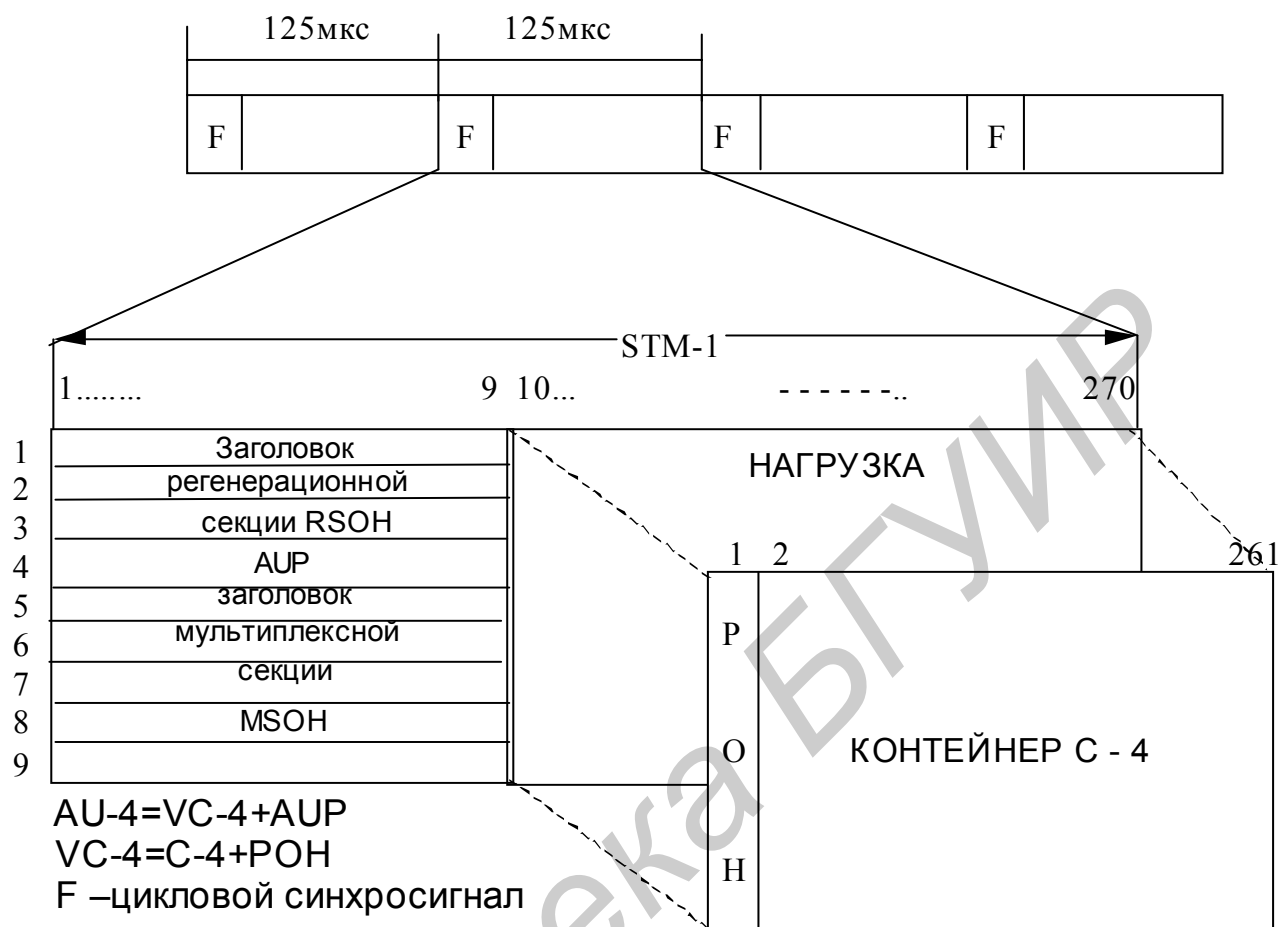


Рис 4. Циклы STM - 1 и VC – 4.

Заголовок создается и ликвидируется в пунктах, в которых формируется и расформируется VC-n, проходя транзитом секции. Информация, определяющая начало цикла VC-n, обеспечивается обслуживающим сетевым слоем.

Перечень VC-n приведен в табл. 3. VC-11, VC-12 и VC-2 относится к нижнему рангу, а VC-3 и VC-4 - к верхнему. В таблице показаны полезный "объем" (скорость нагрузки) и скорости передачи сигналов PDH, размещение которых стандартизировано в этих контейнерах.

Таблица 3.

VC-n	VC-11	VC-12	VC-2	VC-3	VC-4
Сигналы PDH, Мбит/с	1,544	2,048	6,312	34,368 44,736	139,264
Скорость нагрузки, Мбит/с	1,600	2,176	6,78	48,384	149,760

Цикл наибольшего виртуального контейнера VC-4 показан на рис.4. Он содержит 9 рядов и 261 столбец. Первый столбец (1x9 байт) занимает маршрутный заголовок РОН, а остальные 260x9=2340 элементов (байт) - контейнер С-4 (скорость передачи 2340x64=149760 кбит/с). Более подроб-



Рис.5. Структура виртуального контейнера VC-12

но VC-4 рассмотрен далее (см. рис.8).

Аналогично построен виртуальный контейнер VC-3, отличающийся лишь количеством столбцов - 85. Контейнер C-3 имеет 84 столбца и выдает полезную нагрузку $84 \times 9 \times 64 = 48384$ кбит/с.

Виртуальные контейнеры нижнего ранга используют сверхцикл длительностью 500 мкс. На рис. 5 показан VC-12 при асинхронном (а) и байт-синхронном (б) размещении потока E1. Байты V5, J2, K2 и K4 образуют трактовый заголовок. Четыре группы по 34 байта - контейнер C-12 с полезной емкостью 2176 кбит/с. VC-11 имеет ту же структуру, но содержит по 25 байт в каждой из групп нагрузки.

При асинхронном размещении нагрузки в C-п используется двустороннее согласование (выравнивание) скоростей.

3.4. Структура трактовых заголовков виртуальных контейнеров.

В соответствии с уровнем виртуального контейнера определены две категории заголовков VC POH:

- 1) низкоуровневый - VC-11, VC-12, VC2 POH;
- 2) высокоуровневый - VC-3/VC-4 POH.

Структура заголовка трактов нижнего ранга видна из рис. 5. Байты заголовка V5, J2, K2 и K4 используются только в плавающем режиме размещения VC в компонентном блоке, когда 4 соседних 125-мкс цикла VC объединяются в 500-мкс сверхцикл. Байт V5 есть первый байт сверхцикла и его расположение указывается указателем компонентного блока.

Байт V5 - контроль ошибок, марка сигнала и статус тракта VC-1/VC-2. Структура байта V5 представлена на рис.6.

BIP-2		REI	RFI	Signal label			RDI
1	2	3	4	5	6	7	8

Рис.6. Структура байта V5

биты 1-2 - результат контроля

ошибок тракта VC-12 по BIP-2. Биту 1 придается такое значение, чтобы привести к четности значение нечетных битов всех байтов предыдущего VC, а бит 2 выполняет аналогичную операцию с четными битами.

бит 3 - извещение об удаленной ошибке (**remote error indication, REI**) по BIP-2; индикатор тракта VC-1/VC-2, который принимает значение 1 и посылается обратно к организатору тракта, если одна или более ошибок обнаружена с помощью BIP-2, в противном случае он имеет значение 0.

бит 4 (определен МСЭ-Т временно) - извещение об удаленном повреждении (**remote failure indication, RFI**);

биты 5-7 - метка сигнала тракта (signal label), обозначает наличие и тип окончного оборудования;

бит 8 - извещение об удаленной аварии (**remote defect indication, RDI**), в тракте TU-12 принят сигнал аварийного замещения или сигнал сбоя.

Возможные значения указанных битов и их расшифровка приведены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4

Кодирование REI		Кодирование RFI		Кодирование RDI	
0	нет ошибок	0	нет повреждений	0	Подтверждение ошибки правильно
1	одна или две ошибки	1	удаленное повреждение	1	Подтверждение ошибки неправильно

Таблица 5

Кодирование сигнальной метки	
000	Не установлено
001	Смонтирована неспецифическая полезная нагрузка
010	Асинхронное размещение нагрузки
011	Бит-синхронное размещение нагрузки
100	Байт-синхронное размещение нагрузки
101	Зарезервировано для будущего использования
110	Тест-сигнал по рекомендации O.101
111	Зарезервировано для будущего использования

Назначение остальных байтов VC-12 PON:

J2 – идентификатор точки доступа в тракт низшего порядка; используется для повторяющейся передачи метки пункта доступа тракта нижнего ранга, чтобы приемное оборудование тракта могло проверять непрерывность соединения с требуемым передатчиком.

K2 – байт функции двойного соединения для наблюдения;

K4 – несет следующую информацию:

биты 1-4 – автоматическая защита переключений

биты 5-7 - RDI: 001 – нет аварий;

010 – авария удаленной нагрузки;

101 – авария удаленного сервера;

110 – авария удаленного соединения;

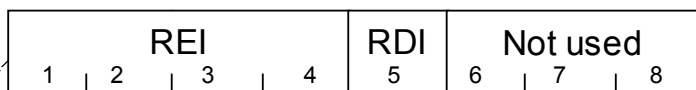
бит 8 – для будущего использования.

При добавлении к полезной нагрузке третьего и четвертого уровней трактовый заголовок состоит из 9 байтов. Структура PON VC высокого уровня побайтно представлена на рис.7. Назначение отдельных байтов заголовка следующее.

J1 - идентификатор тракта - контроль прохождения VC-3/VC-4 по трассе тракта. Первый байт виртуального контейнера, положение которого указывается указателем административного или компонентного блока. Этот байт используется для повторяющейся передачи метки пункта доступа тракта верхнего ранга, чтобы приемное оборудование тракта могло проверять непрерывность соединения с требуемым передатчиком. В настоящее время данный байт не стандартизирован МСЭ-Т и может не использоваться. Если используется, то процесс распознавания определяется программно на передающей и приемной сторонах;

B3 – байт наблюдения за трактовой ошибкой, получается в результате побитового контроля ошибок по четности VC-3/VC-4 ВР-8. Вычисляется по всем битам предыдущего цикла VC после скремблирования и вписывается в байт B3 текущего цикла перед скремблированием; сигнал, определяет содержание VC3 или VC4 (создан или не создан VC, загружен или нет и пр). Расшифровка закодированной байтом C2 информации представлена в табл.6.

J1
B3
C2
G1
F2
H4
Z3
K3
Z5



Кодирование REI		Кодирование RDI	
0000	нет ошибок	0	подтверждение ошибки правильно
0001	1 ошибка		
...	...		
1000	8 ошибок	1	подтверждение ошибки неправильно
1001	Нет ошибок		
...	...		
1111	Нет ошибок		

Рис.7. Структура POH VC-3/4.

Таблица 6

Кодирование сигнальной метки (байт C2)	
00000000	VC не создан
00000001	В VC смонтирована неспецифическая полезная нагрузка
00000010	Структура TUG
00000011	Закрытая TUG
00000100	Асинхронное размещение E3 и DS3 в C-3
00010010	Асинхронное размещение E4 в C-4
00010011	ATM размещение

G1 - статус тракта. Байт для возврата передатчику тракта сообщения о состоянии и качественных показателях оборудования окончания тракта. Передается приемной стороной непосредственно в точку формирования VC. Дает возможность контролировать статус и качество полного дуплексного тракта на любом конце и в любом промежуточном пункте тракта. Все промежуточные станции читают этот байт для оценки состояния тракта: биты 1-4 – извещение об удаленной ошибке; отображают наличие и число ошибок в VC; сообщают число блоков бит, которые отмечены в качестве ошибочных с помощью кода ВР-8 (байт B3). бит 5 – извещение об удаленной аварии; оповещают о том, что в VC принят неверный сигнал; сигнал аварии на дальнем конце тракта должен посылаться виртуальным контейнером, как только он не получит правильного сигнала. Сигнал передается, как 1 в бите 5, в противном случае этот бит имеет значение 0. Условием генерации сигнала является прием сигнала

аварийного замещения AIS, пропадание сигнала или ошибка в трассе тракта.

биты 6-8 – не используются (здесь и далее все неиспользуемые биты имеют значение "1");

F2 – канал 64 кбит/с пользователя тракта, организовываемый между элементами сети;

H4 - позиционный указатель. Обобщенный указатель нагрузки (например, указатель положения сверхцикла для VC-1/VC-2). Изменяются только биты 7 и 8;

Z3 - канал 64 кбит/с пользователя тракта, организовываемый между элементами сети;

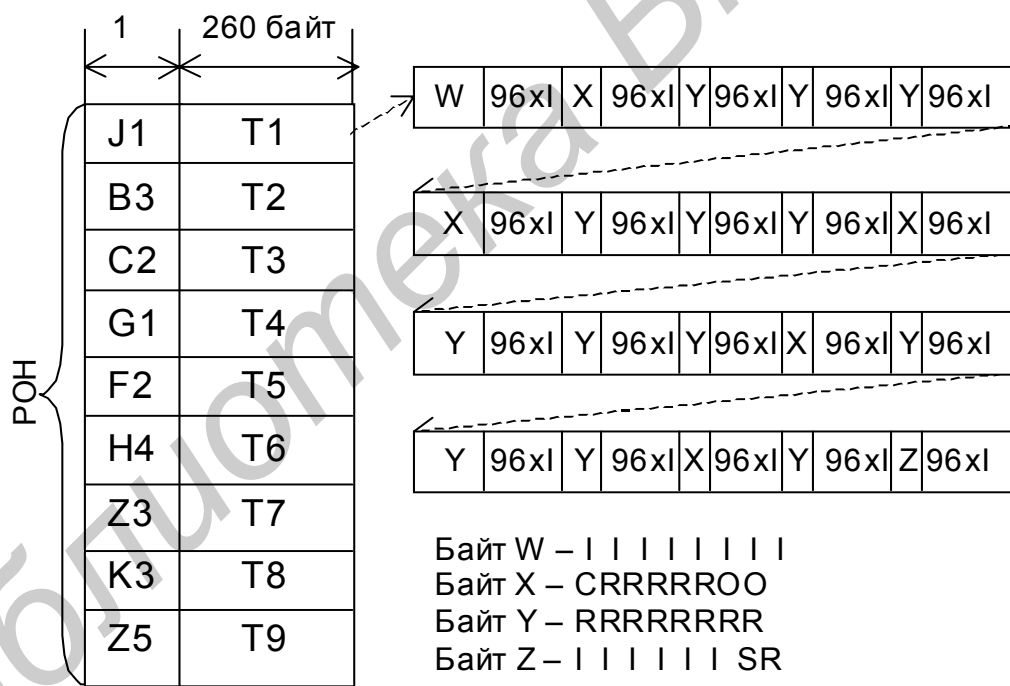
K3: биты 1-4 - APS VC-4 (не реализовано);

биты 5-8 - зарезервировано для будущего использования;

Z5 - т. н. *байт оператора сети* для эксплуатационных целей. Например, для транзитных соединений биты 1-4 используются для счета входящих ошибок, а биты 5-8 - для канала связи.

Байты Z3, K3, Z5 определены только для VC-4 POH.

На рис.8 приведена структура асинхронного размещения потока E4 в VC-4. Для подгонки скорости сигнала к скорости контейнера используется цифровое выравнивание согласно Рек. G.709. После добавления трактового заголовка POH образуется виртуальный контейнер VC - 4.



I – информационные биты
 C – контроль согласования скоростей
 S – биты согласования скоростей
 R – биты фиксированной нагрузки

Рис.8.

3.5. Процедура выравнивания в SDH.

Синхронные транспортные модули переносят виртуальные контейнеры верхнего ранга и обмениваются ими в узлах сети. Аналогично, сами VC-3, VC-4 обмениваются контейнерами нижнего ранга. Упомянутая компенса-

ция дополняется указанием начала цикла контейнера в цикле обслуживающего сетевого слоя. Обе операции выполняются механизмом указателей (поинтеров), оговоренным в рекомендации G.709.

Загрузка VC-n в STM-1 в общем случае требует корректирования скоростей передачи, т. к. STM-1 жестко синхронизируется с циклом секции данной линии, а VC-n может поступать с другого участка сети и иметь другую тактовую частоту и дополнительные колебания фазы. В процессе формирования STM-1 должны обеспечиваться компенсация возможных на пути колебаний фазы и частоты VC-n относительно цикла обслуживающей структуры. Необходимость корректирования показана пунктиром на рис.2 и обозначает процедуру выравнивания. Она выполняется определенным в Рек. G. 709 механизмом указателя. Благодаря этому механизму VC-n получает возможность "плавать" внутри STM-1, причем начало его цикла определяется по значению указателя.

Выравнивание - процедура, посредством которой производится подстройка фазы сигнала нагрузки для передачи, в сущности, синхронизация. При выравнивании начало VC обозначается с помощью указателя, тем самым, формируя административные (AU) или компонентные (TU) блоки. Указатели, добавляемые к VC при формировании TU и AU, позволяют динамично компенсировать изменения скорости и фазы нагрузки.

При этом стоит отметить, что в SDH применяется две модели компонентных блоков TU - плавающая и фиксированная. В плавающей модели TU четыре цикла VC-12 (125 мкс) организованы в сверхцикл (500 мкс), фаза которого определяется байтом H4 в POH VC-3/VC-4. Фаза VC жестко не привязана к фазе TU, а указывается, а значит VC обязательно должен содержать указатель начала цикла, а более вышестоящий VC - иметь указатель сверхцикла. В фиксированной модели TU информация, загружаемая в VC, жестко привязана по фазе к вышестоящему VC, поэтому нет необходимости применять указатели TU и вместо них можно передавать полезную информацию.

Т. к. асинхронное размещение не может быть жестко привязано к чему-либо, в этом случае применима только плавающая модель TU. Бит- и байт-синхронное размещение может применяться как при плавающих, так и при фиксированных моделях TU.

Можно видеть, что именно особенности приведенных выше преобразований определяют "прозрачность" сети для различных типов сигналов. Структурированный или нет цифровой сигналы, ограниченные только рекомендацией МСЭ-Т G.703, упаковываются в STM-N, передаются по линии, а затем распаковываются с сохранением оригинальных частоты и фазы.

3.6. Компонентные блоки.

Компонентный блок (Tributry Unit) состоит из виртуального контейнера (VC) и указателя распределительного блока TU Pointer. Последний обеспечивает гибкое динамическое центрирование виртуального контейнера в

пределах цикла TU компонентного блока. Динамическое центрирование означает, что допускается «плавание» VC в пределах цикла. Сказанное проиллюстрировано на рис.9.

Один или более компонентных блоков, занимающих определенные фиксированные места в нагрузке вышестоящего VC-н, образуют группу компонентных блоков TUG. Например (см. рис.3), TUG-3 может содержать один компонентный блок TU-3 или однородный набор из семи TUG-2, а каждая TUG-2 - один TU-2 или однородный набор идентичных трех TU-12 или четырех TU-11. Компонентные блоки побайтно синхронно мультиплексируются в цикле группы.

TU Pointer содержит информацию о смещении (в байтах) между указателем и первым байтом VC, а также о возможном изменении значения указателя, если это изменение обязательно, что позволяет определить позицию VC в VC высшего порядка или TU.

На рис.10 показан сверхцикл TU-12. Он представлен в виде таблицы из 144 рядов (144 байт) и состоит из четырех циклов по 125 мкс, образующих сверхцикл длительностью 500 мкс. По сравнению с VC-12 (см. рис.5) данный сверхцикл содержит 4 новых байта: байты V1, V2, V3, которые составляют указатель компонентного блока и байт V4, являющийся резервным. Положение байтов TU- указателя в сверхцикле определяется байтом H4 заголовка тракта высшего ранга показанном на рис. 8 (см. также далее).

Байты V1 и V2 являются словом указателя и несут информацию об изменении индикации указателя (N-биты), о типе распределительного блока (S-биты), а также о размере указателя, т.е. в двоичном виде битами I и D зашифрована позиция байта V5 VC-12 POH в поле компонентного блока. Размер указателя – десятичное число от 0 до 139.

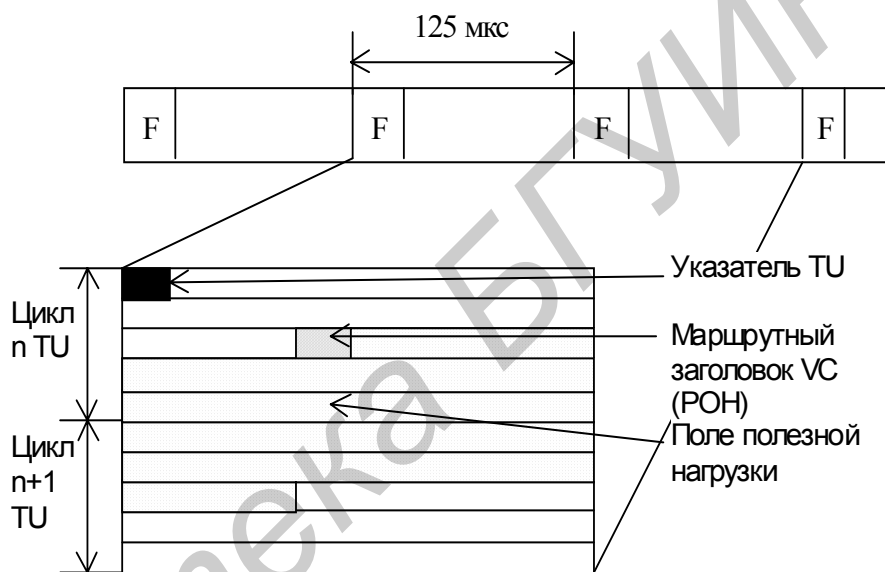


Рис.9

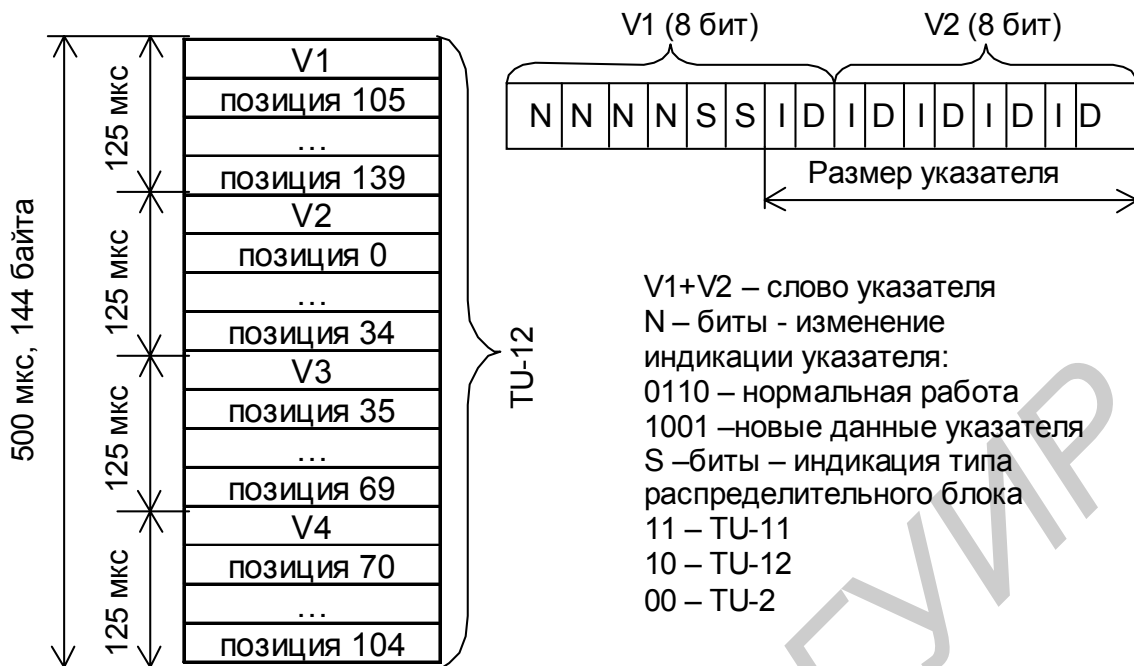


Рис.10

Байт V3 обеспечивает возможность отрицательного выравнивания, позиция 35 поля компонентного блока – возможность положительного выравнивания. Положительное выравнивание индицируется инверсией пяти I-битов, отрицательное – инверсией пяти D-битов в слове указателя.

На рис. 11 показан компонентный блок TU-3 (в данном случае он совпадает с TUG-3). Период повторения этой структуры 125 мкс. TU-3 Pointer определяет положение VC-3 по первому биту J1. Байты H1 и H2 образуют слово указателя, их структура аналогична структуре байтов V1 и V2

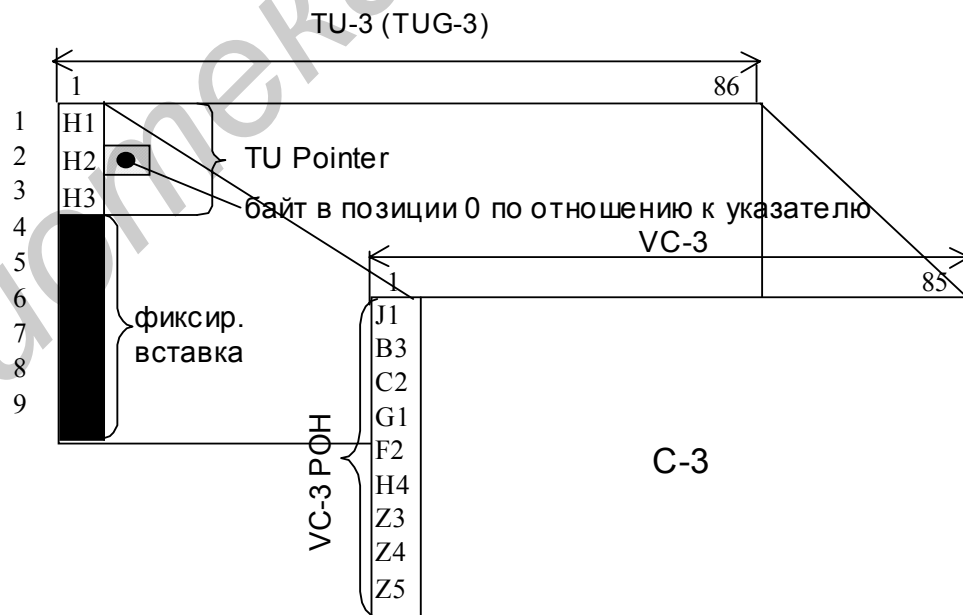


Рис.11

TU-1/TU-2 Pointer, только I-D-битами зашифровано число от 0 до 764. S-биты Байт H3 обеспечивает возможность отрицательного цифрового выравнивания. Байты фиксированной вставки обеспечивают возможность положительного выравнивания.

3.7. Административные блоки.

Добавлением указателей к виртуальным контейнерам верхнего ранга образуются административные блоки (AU):

$$AU = VC-n + AU\text{-Pointer.}$$

VC-4 образует блок AU-4, целиком загружающий STM-1. VC-3 образует AU-3. В STM-1 вместо VC-4 можно ввести три AU-3, имеющих собственные указатели и образующие группу AUG. Все AU-указатели занимают фиксированное положение в 4-й строке первых 9 столбцов цикла STM-1. VC-3 могут и не использоваться самостоятельно на интерфейсах сетевых узлов, но входят в состав VC-4.

Структура административных блоков AU-4 и AU-3

представлена на рис.12. В частности, AU-4 Pointer позволяет VC-4 перемещаться в пределах AU-4, компенсируя различия в фазах VC-4 и STM-1, а также в скоростях передачи циклов. По сути, он указывает на местоположение полезной нагрузки в цикле STM-1. Аналогичные функции выполняет AU-3 Pointer.

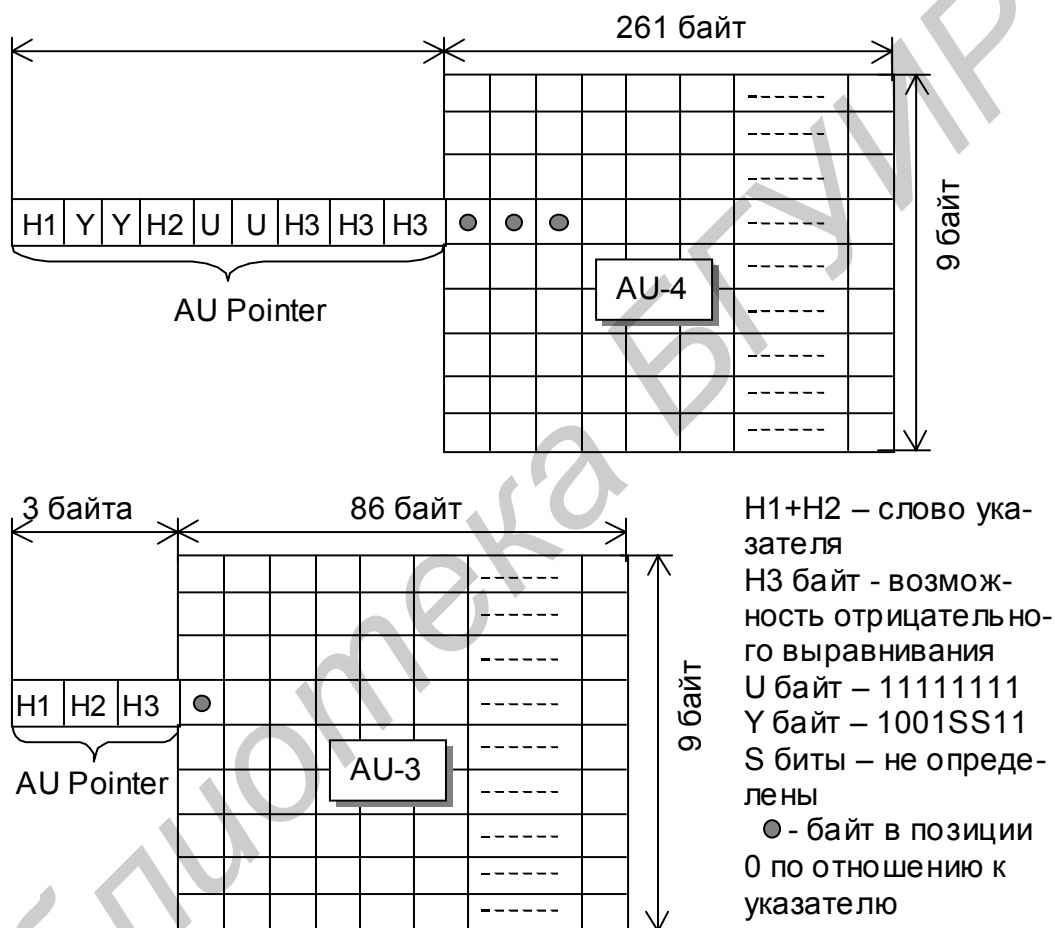


Рис.12

Указатель административного блока содержит байты H1 и H2, которые образуют слово указателя и содержат:

I, D - десятибитовое значение AU-4 Pointer, которое представляет собой двоичное число, определяющее смещение от указателя до первого байта (J1) VC-4 (для AU-3 до первого байта VC-3); каждая единица счетчика (диапазон значений от 0 до 782) эквивалентна 3 байтам для VC-4 и одному байту для VC-3; ***???

N - биты флага новых данных (указывают на изменение значения указателя: в обычном случае - 0110, при изменении - 1001);

S - биты, указывающие на AU/TU-тип (AU-4, TU-32 - "10" или AU-31, TU-31 - "01");

Байт H3 обеспечивает возможность отрицательного цифрового выравнивания. Байт в позиции 0 обеспечивает возможность положительного цифрового выравнивания. Знак выравнивания маркируется инверсией I битов при положительном и D битов при отрицательном выравнивании. В состав AU-4 Pointer входят также байты U и Y (см. рис.12).

Поясним работу указателей на примере AU-4. Если скорость VC-4 слишком мала по отношению к скорости STM-1, то цикловая синхронизация VC-4 будет периодически проскальзывать во времени (побитно смещаться вперед). При этом значение указателя увеличивается на единицу. После последнего байта (H3) вставляются три байта положительного цифрового выравнивания, а начало цикла переносится на три байта назад.

Наоборот, если скорость цикла VC-4 слишком велика по отношению к STM-1, то происходит обратная операция смещения. Значение AU-4 Pointer уменьшается на единицу и три байта отрицательного цифрового выравнивания (H3) удаляются. Начало цикла AU-4 перемещается на три байта вперед. Последующие AU-4 Pointer будут передоверяться с новым значением положения начала VC-4.

Изменение AU-4 Pointer происходит не чаще, чем раз в три цикла.

В общем случае, при записи действуют следующие правила:

1. в нормальном режиме работы величина указателя указывает на начало VC в AUG;
2. величина указателя изменяется только при согласовании скоростей, а также в случае изменения загрузки VC.

Аналогичные процедуры выравнивания происходят и в AU-3.

3.8. Структура цикла STM-1.

STM-1 имеет структуру данных пакетного типа, где пакеты передаются синхронно, с периодом повторения 125 мкс или частотой 8 кГц (см. рис.4).

Цикл STM-1 состоит из служебного и информационного блоков. Девять первых столбцов предназначены для передачи служебной информации STM-1 (81 байт).

Шесть байтов в начале первой строки отведено для размещения слова цикловой синхронизации (frame alignment word, FAW). Остаток первой строки и две последующие используются для заголовка регенерационной секции (regenerator section overhead, RSOH - 21 байт, вместе с FAW – 27 байт), а строки 5 - 9 отведены для заголовка мультиплексной секции (multiplexer section overhead, MSOH - 45 байт).

RSOH действует в пределах регенерационной секции, а MSOH проходит прозрачно регенераторы и действует в пределах всей мультиплексной секции – от формирования до расформирования STM-1.

Полезная информационная нагрузка STM-1 включает $9 \times 261 = 2349$ байт. Например, в качестве такой нагрузки для STM-1 может выступать VC-4 (см. рис.4.). Первый столбец цикла VC-4 занимает VC-4 POH, ос-

тальные - C-4, в котором размещается цифровой сигнал PDH 139,264 Мбит/с. Скорость передачи полезной информационной нагрузки составляет $2349 \times 64 \text{ кбит/с} = 150336 \text{ кбит/с} = 150,336 \text{ Мбит/с}$.

Передача сигнала STM-1 осуществляется последовательно по строкам - слева направо, сверху вниз. Первый байт цикла размещается в левом верхнем углу таблицы, последний - в правом нижнем.

3.9. Структура секционного заголовка STM-1 SOH.

В процессе мультиплексирования, как классического - в ЦСП PDH, так и в ЦСП, построенных на основе SDH, в результирующий сигнал вводится большое количество избыточной служебной информации.



Рис.13

При образовании синхронного модуля STM-N данной информации отводится одно из самых важных значений. Заголовки и указатели позволяют точно определить местоположение составляющих STM-N модуль блоков, проверить правильность передачи полезной информации и многое др.

При организации модуля STM-N количество избыточной информации особенно велико: организация служебной связи, удаленное управление аппаратурой синхронного мультиплексирования, управление резервированием и т. д.; это имеет огромное значение при обслуживании сети и, собственно, во многом определяет те достоинства, которыми обладает технология SDH.

Секционный заголовок SOH STM-1 выполняет следующие функции: обозначает начало цикла STM-1, несет информацию о параметрах секции, осуществляет мониторинг ошибок и контроль защитного переключения, обеспечивает передачу данных и организацию служебных каналов в пределах секции, а также содержит байты, зарезервированные для национального использования. STM-1 SOH имеет фиксированное положение в цикле STM-1.

Структура STM-1 SOH (побайтно) согласно МСЭ-Т G.708 представлена на рис. 13.

A1, A2 - байты циклового синхросигнала STM-1 (определяют начало STM-1); для STM-1 определена байтовая последовательность цикловой синхронизации - A1A1A1A2A2A2 (A1 - 11110110, A2 - 00101000); МСЭ-Т рекомендует следующие качественные показатели, определяющие способность аппаратуры входить в синхронизацию и удерживать ее:

- 1) время определения выхода из цикловой синхронизации должно составлять 625 мкс после начала поступления сигнала STM-N без байтов A1, A2;
- 2) качество удержания цикловой синхронизации должно быть таким, чтобы коэффициент ошибок 10^{-3} вызывал не более одного сбоя за 6 мин;
- 3) время вхождения в цикловую синхронизацию должно быть не более 250 мкс;

B1 - результат контроля ошибок регенерационной секции STM-N по ВР-8 перед скремблированием. ВР-8 вычисляется по всем битам предыдущего цикла STM-N после скремблирования и вписывается в байт B1 перед скремблированием.

B2 - результат контроля ошибок для STM-1 (мультиплексной секции) по ВР-24. ВР-24 вычисляется по всем битам предыдущего цикла STM-1, кроме трех первых рядов SOH и помещается в байты B2 перед скремблированием;

J0 - идентификатор (определитель) STM-1 в STM-N (в системах STM-1 не используется). Используется при прохождении через границу и определяется по взаимному соглашению сторон. В случае, когда байт не определен J0=00000001;

D1-D12 – каналы передачи данных (*data communications channel, DCC*):

D1-D3 - канал передачи данных 192 кбит/с для обслуживания и управления регенераторами;

D4-D12 - канал передачи данных 576 кбит/с для обслуживания и управления мультиплексорами;

E1, E2 - каналы служебной связи 64 кбит/с:

E1 - возможен доступ на регенераторах и мультиплексорах;

E2 - возможен доступ только на мультиплексорах;

F1 - канал связи пользователя 64 кбит/с; позволяет создавать временные телефонные соединения и передавать данные для специальных эксплуатационных нужд;

K1, K2 - управление автоматическим защитным переключением (automatic protection switching, APS) STM-1 для защиты мультиплексной секции (multiplex section protection, MSP):

K1 - посылает запросы и информацию относительно необходимости и типа защитного переключения к противоположному концу мультиплексной секции.

МСЭ-Т определен протокол обмена между двумя мультиплексорами для осуществления корректного срабатывания защиты мультиплексной секции. Биты 1-4 байта K1, содержат сообщения о работе “защиты” и запросы на ее срабатывание. Значение битов 5-8 определяет номер секции,

для которой запрашивается “защита”. При повреждении нескольких рабочих секций байт K1 запрашивает “защиту” для секции с требованием более высокого приоритета. При равенстве приоритетов предпочтение отдается секции с меньшим порядковым номером.

K2 - посылает информацию относительно текущей установки соединения, структуры MSP и аварийных сообщений. В частности, кодовая группа вида xxxxx111 соответствует сообщению о передаче сигнала AIS в пределах мультиплексной секции.

S1 (биты 5-8) - статус (уровень качества) синхронизации, значение этого байта определяет пригодность данного STM-1 сигнала, как источника синхронизации. Варианты кодовых слов и их расшифровка представлены в таблице 6

Таблица 6.

Биты 5-8 байта S1	Статус синхросигнала
0000	качество не определено
0010	G.811, качество PRC $1 \cdot 10^{-11}$
0100	
1000	
1011	
1111	

M1 (биты 2-8) - MS-REI - извещение об удаленной ошибке мультиплексной секции (кодированный результат подсчета неправильно чередуемых разрядных блоков по B2: от x0000000=0 до x0011000=24 ошибок);

Z1, Z2 - зарезервированы для нужд пользователя под национальное использование.

X - байты национального использования; **X#** - не подлежат скремблированию, следует следить за их содержанием, т.к. они не должны содержать длинных серий нулей и единиц.

Δ - байты, зависимые от среды передачи (радио).

Неотмеченные байты зарезервированы для будущей международной стандартизации (как зависимые от среды передачи, добавочные национальные и для других целей).

3.10. Структура цикла STM-N.

Цикл STM-N образуется заголовком SOH и побайтным объединением (мультиплексированием) N групп AUG.

Заголовки в STM 4,16,64 образуются частично автономным формированием, а частично побайтным объединением заголовков низшего уровня.

Каждая AUG занимает фиксированное положение в цикле STM-N. Количество объединенных AUG отмечается в RSOH.

Полезная нагрузка STM-N формируется посредством побайтного мультиплексирования N сигналов AUG. Это приводит к формированию сигнала, который в N раз превышает скорость передачи битов (N = 4 для STM-4, N

= 16 для STM-16) с неизменным периодом цикла (125 мкс). В этом мультиплексированном сигнале первый байт относится к первому сигналу STM-1, второй байт - ко второму и т. д. В отношении STM-4, пятый байт относится опять к первому сигналу STM-1, шестой байт - ко второму сигналу и т. д. Для STM-16, семнадцатый байт относится опять к первому сигналу STM-1, восемнадцатый байт - ко второму сигналу и т. д.

При мультиплексировании N сигналов STM-1 только VC-4 сигнала STM-1 принимается неизменным в сигнале STM-N. Байты STM-N SOH перестраиваются и указатели устанавливаются на требуемое новое значение.

Необходимо отметить, что во время мультиплексирования структура STM-N SOH изменяется. Поскольку байты B1, D1-D12, F1, E1, E2, K1, K2 используются в сигнале STM-N только однократно, структура STM-N SOH не соответствует структуре STM-1 SOH, чередующейся N раз. Структура секционного заголовка SOH STM-N представлена на рис.14.



Рис.14

Для передачи по линии связи сигнал STM-N должен иметь битовую структуру, пригодную для выделения сигнала тактовой синхронизации. Для исключения длинных последовательностей "1" и "0" в выходном сигнале используется скремблирование. Скремблирование, выполняемое байт за байтом (поскольку данные имеют восьмибитовый параллельный формат), применяется ко всем байтам STM-N, кроме первой строки STM-N SOH (9xN байтов). Эти байты не скремблируются, поскольку несут информацию о синхронизации цикла - байты A1, A2. Цикл скремблирования составляет 127 бит и определяется полиномом $1+x^6+x^7$. Остальные байты этой строки, предназначенные для национального использования, следует загружать так, чтобы они не представляли собой длинную последовательность нулей или единиц (байты X#).

Можно заметить, что структура образуется частично преобразованием байтов SOH N STM-1 – байты J0 (C1), B2, X. Остальные байты вводятся только при образовании STM-N.

Назначение байтов заголовка, определяемое Рек G.709, в основном, такое же, как и для STM-1:

A1, A2 - цикловая синхронизация

C1 - определитель ранга STM (уровня иерархии)

D1-D12 - каналы передачи данных (DCC) для регенерационной и мультиплексной секций: 192 кбит/с (D1-D3) и 576 кбит/с (D4-D12) соответственно.

E1, E2 - служебный канал телефонной связи.

F1 - канал пользователя - создание временных телефонных или ПД- соединений для специальных эксплуатационных нужд.

B1 - контроль ошибок регенерационной секции методом ВР-8.

B2 - контроль ошибок мультиплексной секции методом ВР-24. Результат контроля ошибок отдельно для каждого STM-1, содержащегося в STM-N (мультиплексной секции) по ВР-24. Формируются путем побайтового мультиплексирования.

K1, K2 - сигнализация автоматического переключения на резерв.

S1 (биты 5-8) - статус синхронизации. Биты 5-8 первого байта Z1 отведены для сообщений о статусе данного тракта в системе синхронизации.

Z1, Z2 – запас на будущее для еще не определенных функций.

M1 - ***

3.11. Мультиплексирование при формировании STM-N.

В системах SDH используется синхронное побайтное мультиплексирование. На схеме преобразования (см. рис.4) процедура мультиплексирования обозначена выделенными линиями со стрелкой. Количество объединяемых компонентных блоков и групп компонентных блоков указано у линий.

Мультиплексирование - процедура, посредством которой сигналы трактов низшего порядка образуют тракт высшего порядка или сигналы трактов высшего порядка образуют сигнал STM-1. Мультиплексирование информационных структур на базе цифрового потока 2,048 Мбит/с основано на правиле $3 \times 7 \times 3$ (числа, стоящие вместе со знаком умножения, указывают количество объединяемых сигналов). Процесс формирования VC-4 из 63 TU-12 с использованием синхронного мультиплексирования показан на рис.15. При этом цикл TU-12, состоящий из 36 байт, представлен матрицей из 9 строк и 4 столбцов ($9 \times 4 = 36$ байт). Как уже говорилось ранее, из трех TU-12 формируется одна TUG-2, представляемая матрицей из 108 байт (9 строк x 12 столбцов = 108 байт). В дальнейшем из семи TUG-2 путем побайтного мультиплексирования формируется одна TUG-3, состоящая из 86 столбцов, первые два из которых байты указателя TUG-3 и фиксированной вставки, остальные 84 байта – результат побайтного синхронного мультиплексирования семи TUG-2.

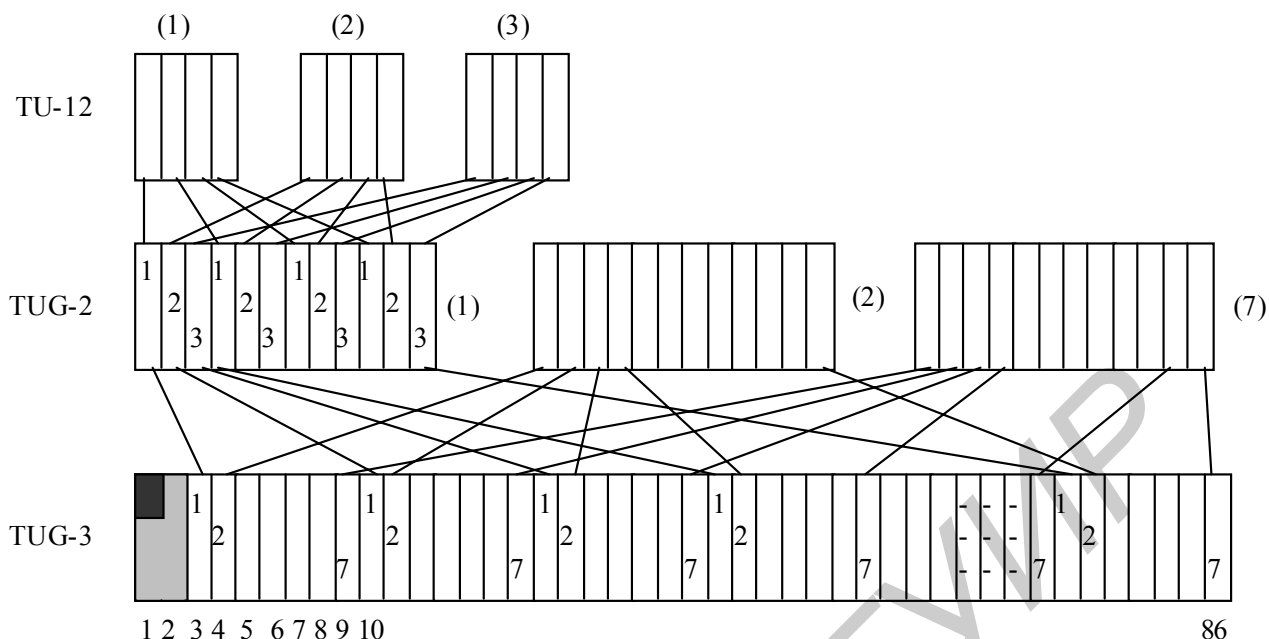


Рис.15.

Следующий этап – формирование VC-4, состоящего из 261 столбца. Первый столбец (9 байт) является маршрутным заголовком VC-4 POH, 2 столбца (18 байт) - фиксированная вставка, остальные 258 байт – результат побайтного синхронного мультиплексирования трех TUG-3.

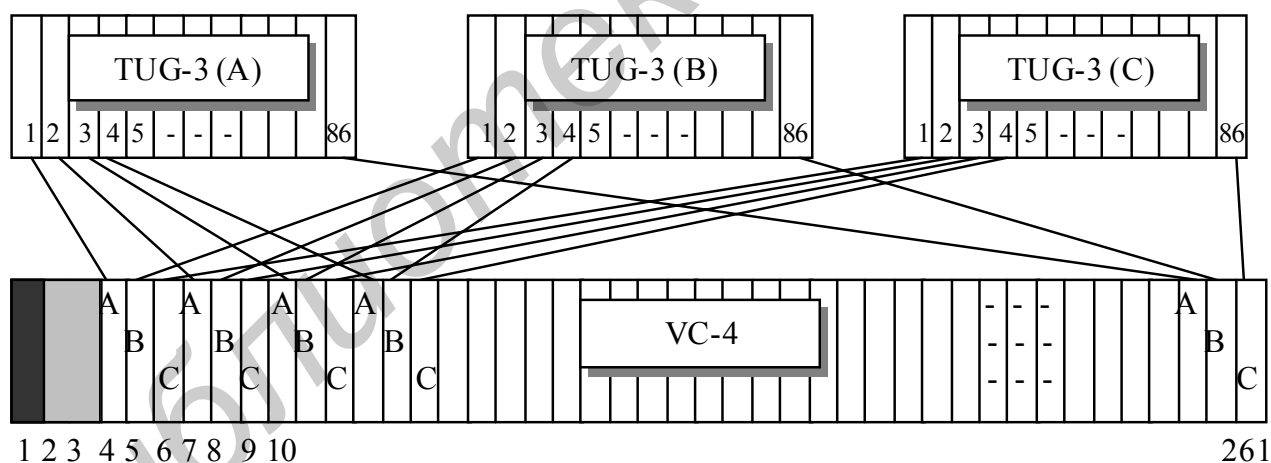


Рис.16.

В результате при формировании VC-4 по указанной схеме в STM-1 возможно передать 63 (3x7x3) потока E1. В случае, если в качестве компонентных сигналов выступают потоки E3, то в STM-1 их можно разместить только три, что эквивалентно 48 потокам E1. При размещении в STM-1 потока E4 обеспечивается максимальная информационная пропускная способность, эквивалентная 64 потокам E1.

3.12. Вычисление VIP-N

Для организации контроля качества передачи информации на различных иерархических уровнях (STM-N, VC) применяется контроль по VIP-N, когда на передающей и приемной стороне производится вычисление кон-

трольного значения одной и той же последовательности символов, а затем на приеме контрольные значения сравниваются. Различие значений свидетельствует о наличии ошибок при передаче. Чем больше значение N ВІР- N , тем больше вероятность обнаружения ошибок в проверяемом цикле.

Рассмотрим процедуру вычисления ВІР- N для различных уровней сигнала.

ВІР-2

Два контрольных бита передаются в 1-2 битах байта $V5$ VC-12 РОН (см. рис. **). Для получения этих бит используется побитовое сложение по модулю 2 для четных и нечетных бит VC-12 соответственно. Информация о контроле VC-12 $_{N-1}$ предыдущего цикла передается в VC-12 $_N$ РОН текущего цикла. На приеме над VC-12 $_{N-1}$ проводится та же операция определения битов контроля, что и на передаче и результат сравнивается с битами ВІР-2, переданными с VC-12 $_N$. Приемная сторона оповещает передающую о наличии ошибок посредством сигнала REI (см. рис. **), передаваемого в третьем бите VC12 РОН в обратном направлении.

ВІР-8

Образуется аналогично ВІР-2, с отличием, что VC-3/VC-4 или STM- N разбивается не по два бита (четный и нечетный), а побайтно (восемь бит) и результатом проверки является байт (см. рис. *). Байт проверки по ВІР-8 передается с VC3/VC4, идущим следом за тем, что подвергался проверке. Он записывается в байт $B3$ VC-3/VC-4 РОН (см. рис. **), что позволяет обеспечить контроль качества передачи VC-3/VC-4 по всему тракту. Извещение происходит аналогично случаю проверки VC12, т.е. сторона, обнаружившая наличие ошибок, передает в обратном направлении сигнал HP-REI в 1-4 битах байта $G1$.

Проверка по ВІР-8 для STM- N в пределах регенерационной секции проводится аналогично. Результат проверки STM- N_{N-1} вычисляется после скремблирования и записывается на передаче в байт $B1$ STM- N_N RSOH до скремблирования (см. рис. **). Следует отметить, что оповещение передающей стороны об ошибках на регенерационной секции не производится.

ВІР-24

Производится аналогично ВІР-2 и ВІР-8, но разбиение производится на блоки по 3 байта (24 бита). Проверка по ВІР-24 проводится для STM- N в пределах мультиплексной секции. Результат проверки STM- N_{N-1} по ВІР-24 вычисляется по всему циклу STM- N_{N-1} за исключением первых трех строк SOH и записывается на передаче в три байта $B2$ STM- N_N MSOH до скремблирования, аналогично ВІР-8. Отсутствие вычисления ВІР-24 для первых трех строк связано с тем, что эти строки SOH соответствуют RSOH, которые могут быть изменены регенераторами. Информация о наличии ошибок в принимаемом сигнале передается противоположной стороне, посредством сигнала MS-REI. Этот сигнал размещается в битах 2-8 байта $M1$ MSOH цикла STM, передаваемого в противоположном направлении (в сторону станции передавшей сигнал, принятый с ошибками).

3.13. Сигналы обслуживания в сетях SDH.

При обслуживании секций применяются следующие сигналы.

AIS - сигнал, посылаемый далее по направлению передачи в качестве указания о выявлении аварии, случившейся до данного пункта. MS-AIS обнаруживается, как все "1" в битах 6, 7 и 8 байта K2 после дескремблирования.

MS-FERF используется для возврата на передающую станцию указания, что приемная станция обнаружила повреждение входящей секции или в качестве AIS приемной секции. MS-FERF выявляется, как код 110 в битах 6, 7 и 8 байта K2 после дескремблирования.

При обслуживании трактов применяются следующие сигналы.

Указание отсутствия оборудования VC-n (n=3,4) - все нули в метке сигнала тракта виртуального контейнера (байт C2) после скремблирования. То же для тракта нижнего ранга VC-1(2) - все нули в метке сигнала тракта нижнего ранга (биты 5-7 байта V5). Этот код указывает окончному оборудованию виртуального контейнера, что данный контейнер намеренно не оборудован, так что аварийные сигналы должны быть подавлены.

AIS трактов TU-n (n=1, 2, 3) определяется, как все "1" в TU-n, включая его указатель. Аналогично, AIS трактов AU-n (n = 3, 4) определяется, как все "1" в AU - n, включая его указатель. Все трактовые AIS передаются в сигналах STM-N с действующим SON.

3.14. Линейные тракты в сетях SDH.

В SDH используются одномодовые оптические волокна и радио линии. Параметры аппаратуры передачи на интерфейсах сетевых узлов установлены в Рек. G.957, а характеристики регенерационных секций - в Рек. G.958. Ниже излагаются характеристики оптических линий SDH. (табл. 3). Оптические кабели стандартизированы в Рек. G. 651, G. 652, G. 653 и G. 654. Длина секций регенерации линейных трактов достигает 60 км, что в ряде случаев исключает необходимость промежуточной регенерации. Особенностью оптических линейных трактов SDH является поперечная совместимость, т. е. возможность использования по концам одной регенерационной или мультиплексной секции аппаратуры разных фирм. Для достижения поперечной совместимости в секциях SDH отдельно нормируется аппаратура передачи, приема и кабель. Обеспечена и продольная совместимость с трактами PDH по Рек. G.955, G. 956, т. е. возможность работы с ними в одном кабеле. Впервые в практике ЦСП в SDH стандартизованы линейные сигналы, в качестве которых используются скремблированные сигналы STM-N интерфейсов сетевых узлов. Нормируется высокое качество связи: $k_{\text{ош}}=10^{-10}$ на секции регенерации в наихудших условиях.

Таблица 3

ПРИМЕНЕНИЯ	внутри- станци-	Короткие (S)	длинные (L)
------------	--------------------	--------------	-------------

	онные					
Номин. длина волны излуч.(нм.)	1310	1310	1550	1310	1550	1550
Тип волокна по Рек. МСЭ-Т	G. 652	G. 652	G. 652	G.652	G.652 G.654	G.653
Длина секции (км)	<2	15	15	40	60	60
Уровень SDH 1	I-1	S-1. 1	S-1. 2	L-1. 1	L-1. 2	L-1. 3
4	I-4	S-4. 1	S-4. 2	L-4. 1	L-4. 2	L-4. 3
16	I-16	S-16. 1	S-16. 2	L-16. 1	L-4. 3	L-16. 3

Нормирование характеристик ВО-линейных трактов проведено по 18 категориям применений, показанных в таблице 3 (три нижние строки), что позволяет экономично решать широкий круг сетевых задач. Для всех этих категорий в Рек. G. 957 установлены конкретные параметры интерфейсов, часть из которых приведена в табл.4.

4. Применение систем SDH

4.1. Общие положения.

Сеть SDH - это основанная на международных стандартах система транспортирования цифровых сигналов, которая поддерживает как традиционные, так и новые службы связи. Она выполняет функции передачи, оперативного переключения, контроля и управления и содержит аппаратные и программные средства, обеспечивающие эти функции. Достигнутый в мире уровень разработки SDH обеспечивает возможность ее использования на всех участках сети.

Важнейшей для практики особенностью SDH является ее система контроля и управления (обслуживания), которая позволяет создавать и эффективно эксплуатировать целые сети различных конфигураций (линейные, разветвленные, кольцевые и др.). Максимальный эффект от SDH достигается при организации сетей с высокими требованиями к экономичности, надежности и качеству связи, для выполнения которых нужны сетевой контроль и управление с резервированием, оперативным переключением, вводом/выделением потоков информации в промежуточных пунктах и автоматическим обслуживанием.

Потребителями сети SDH могут быть различные сети PDH или конечные пользователи. Сигналы потребителей транспортируются по сети SDH в качестве нагрузки виртуальных контейнеров. Заголовки этих контейнеров используются системой обслуживания для обеспечения сохранности нагрузки в пределах сети SDH. Если же потребители подключаются к сети SDH линиями PDH, то контроль полной связи средствами SDH становится невозможным. Поэтому целесообразно приближение средств SDH к потребителям с целью прямого ввода сигнала каждого потребителя (например, первичных цифровых трактов PDH 2 Мбит/с) в сеть SDH и разме-

щения его в отдельном виртуальном контейнере. Для этого следует создавать SDH-сети доступа, которые в дальнейшем заменят сети PDH. Взаимодействие сети SDH с ЦСП европейской PDH возможно на уровнях 2, 34 и 140 Мбит/с. На уровне 34 Мбит/с при этой операции приходится использовать виртуальный контейнер VC-3 с объемом 50 Мбит/с, заполняя треть его балластом. При вводе трех VC-3 а VC-4(и далее в STM-1) обе последних структуры будут нести по три потока 34 Мбит/с вместо возможных четырех. Выгоднее вначале объединить четыре потока 34 Мбит/с а поток 140 Мбит/с и затем ввести последний в VC-4 (и далее в STM-1). Можно также дробить сигналы 34 Мбит/с до 2 Мбит/с. Итак, как правило, взаимодействие SDH/PDH целесообразно на уровнях 2 и 140 Мбит/с.

4.2. Функциональные модули сетей SDH.

В отличие от систем передачи PDH, где аппаратура узко специализировалась для преобразования, передачи, оперативного переключения или других функций, аппаратура SDH многофункциональна. Все виды выпускаемого разными фирмами оборудования SDH выполняют функции передачи по линии, контроля и управления, большинство из них имеют функции преобразования, коммутации и т. д. Поэтому приводимое ниже разделение аппаратуры SDH по функциональным модулям является в какой-то мере условным.

Функциональные модули - это основные элементы, из которых строится сеть SDH. К ним относятся: мультиплексоры, которые в зависимости от конфигурации (и комплектации) могут работать в различных режимах, регенераторы, коммутаторы, концентраторы. Данный подход позволяет достигнуть максимальной взаимозаменяемости, гибкости, а также предоставляет широкие возможности в плане развития и совершенствования сети. Основным типом аппаратуры SDH является синхронный мультиплексор. Он выполняет функции преобразования, оперативного переключения, ввода/вывода цифровых потоков и передачи/приема с линии. Кроме того, он участвует в функциях конфигурирования и контроля сети. Мультиплексоры первого уровня образуют сети доступа. Они формируют из сигналов потребителей сигналы STM-1, которые либо используются в качестве линейных, либо по внутростанционным связям подаются в мультиплексоры высших уровней для дальнейших преобразований. Мультиплексоры высших уровней работают на более загруженных участках сети – например, магистралях. Они воспринимают сигналы STM-1 и PDH- сигналы 140 Мбит/с и формируют из них новые STM-N.

Мультиплексоры могут работать в двух основных режимах.

Терминальный мультиплексор (*terminal multiplexer, TM*) - устанавливается на конечных станциях и используется для объединения компонентных сигналов PDH в один линейный сигнал STM-N (см. рис. 1, а). Для TM максимального на данный момент действующего уровня SDH иерархии (STM-64) максимально полный набор компонентных сигналов включает в себя потоки PDH: E1, E3, E4, DS1, DS2, DS3, и потоки SDH: STM-1, STM-4,

STM16. В ТМ также возможно осуществление локальной коммутации компонентных потоков, в основном на уровне E1 и DS1. ТМ имеет один оптический линейный выход, в режиме стопроцентного резервирования (1+1) – два.

Мультиплексор ввода/вывода (add/drop multiplexer, ADM) – используется для организации ввода/выделения некоторого количества компонентных сигналов из линейного STM-N на промежуточных станциях сети (см. рис. 1, в). Для ADM характерно наличие двух оптических линейных выходов (восточный и западный), в режиме резервирования 1+1 их количество увеличивается до четырех.

ADM позволяет осуществлять локальную коммутацию компонентных потоков на уровне E1 и DS1, коммутацию линейных сигналов на уровне виртуальных контейнеров, замыкание канала приема на канал передачи на обеих сторонах (восточной и западной) в случае выхода из строя одного из направлений, а также пропускать основной оптический поток мимо мультиплексора в обходном режиме в случае аварийного выхода из строя мультиплексора.

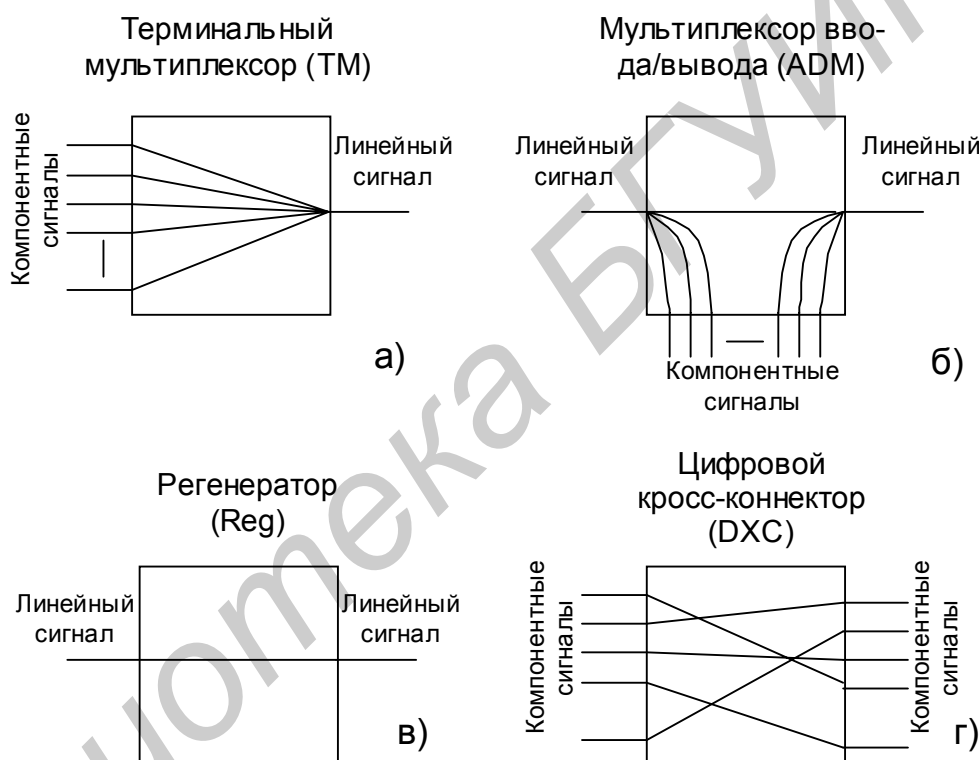


Рис.

Регенератор (regenerator, Reg) - используется для восстановления линейного сигнала на протяженных участках сети (см. рис. 1, б), однако выполняет более сложные функции, чем в PDH: глубокий контроль верности передачи, обработка заголовков RSOH, связь с потребителями и системой обслуживания. Может рассматриваться как вырожденный случай мультиплексора, имеющего один входной оптический линейный сигнал STM-N и один выходной оптический линейный сигнал.

Хотя линейные регенераторы стандартизованы рекомендациями МСЭ-Т, перспектива их широкого распространения сомнительна. На развитых сетях расстояния между узлами составляют несколько десятков километров, что уже сейчас исключает промежуточную регенерацию. С использованием конечных оптических усилителей достигается длина секций реге-

нерации 250 - 300 км, достаточная на большинстве участков всех сетей связи.

В качестве стационарных регенераторов на сетях SDH используют синхронные мультиплексоры, транслирующие между секциями регенерации не весь сигнал STM-N, а только VC-4.

Более специальным устройством, применяющимся при построении сетей SDH, является **цифровой кросс-коннектор (digital cross-connect system, DXC)** - устройство, обеспечивающее гибкую коммутацию цифровых сигналов (см. рис. **, г), путем организации полупостоянной перекрестной связи между различными каналами. Возможность такой коммутации позволяет осуществлять маршрутизацию в сети SDH на уровне виртуальных контейнеров в соответствии с заданной конфигурацией сети. Мультиплексоры так же могут выполнять подобную функцию при определенной конфигурации, однако, в связи с ее специфичностью, более эффективным является использование в качестве DXC отдельно проектируемых устройств, имеющих строго специализированные функции.

В общем случае DXC выполняет следующие функции: маршрутизация виртуальных контейнеров на основе информации в маршрутном заголовке POH соответствующего контейнера; объединение виртуальных контейнеров при работе в режиме концентратора; ввод/вывод виртуальных контейнеров при работе в режиме мультиплексора ввода/вывода; доступ к виртуальному контейнеру при тестировании оборудования.

Концентратор представляет собой мультиплексор, который объединяет несколько однотипных входных потоков, поступающих от удаленных узлов сети, в один линейный сигнал STM-N, связанный с основной транспортной сетью. В общем случае концентратор позволяет уменьшить общее количество каналов, подключаемое непосредственно к основной транспортной сети, т.к. работая в режиме локальной коммутации позволяет коммутировать подключенные к нему каналы, давая возможность удаленным узлам обмениваться между собой, не загружая трафик основной транспортной сети.

Итак, использование указанных функциональных модулей позволяет решать на сетях SDH следующие функциональные задачи:

мультиплексирования, обеспечивающая формирование линейного STM сигнала из компонентных потоков, решаемая с помощью TM и ADM;

транспортирования линейных сигналов по сети с возможностью ввода/вывода компонентных сигналов на основе использования ADM;

коммутации, заключающаяся в перегрузке виртуальных контейнеров в соответствии со схемой маршрутизации, и решаемая с помощью DXC;

регенерации, для восстановления формы, амплитуды и временных соотношений сигнала, передаваемого на большие расстояния с использованием Reg.

4.3. Топология сетей SDH

Построение сети - это всегда поиск компромисса между тремя основными конкурирующими условиями: стоимостью, эффективностью и надежностью. Очевидно, что единственным, в той или иной степени удовлетворяющим всем этим условиям, выходом является построение достаточно сложной сети, на которой максимум эффективности достигается минимальным количеством оборудования, а максимальное резервирование достигается за счет минимального количества дополнительных связей.

Исходя из минимума стандартизированных систем и возможностей конфигурации для нужд сложной сети, оборудование SDH является наиболее эффективным.

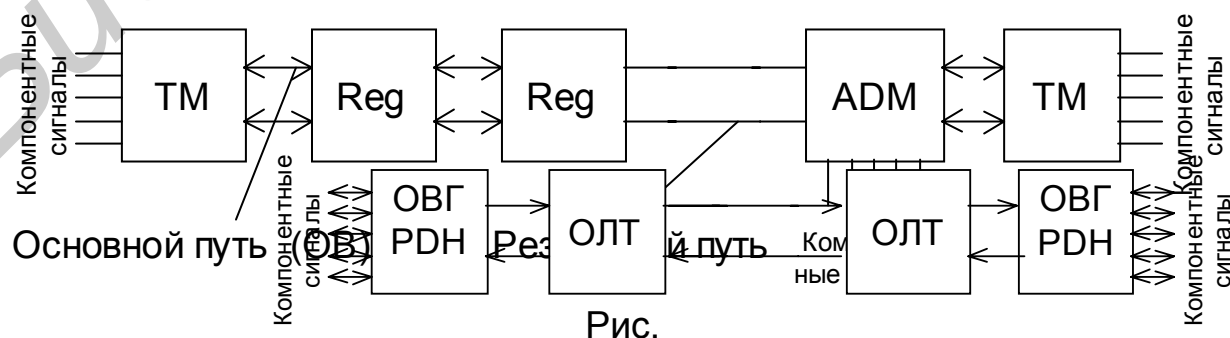
Проблема экономичного распределения информационных потоков на сети электросвязи решается только в том случае, когда связь осуществляется по минимальному количеству линий, идущих по кратчайшему пути. С другой стороны, слишком маленький пучок линий может оказаться неэффективным. Кроме того, для удобства эксплуатации и технического обслуживания сеть электросвязи должна иметь возможно меньшее количество типов стандартизированных систем.

На стадии проектирования сети решаются следующие задачи:
 выбор топологии сети;
 выбор оборудования узлов сети;
 формирование сетей управления и синхронизации.

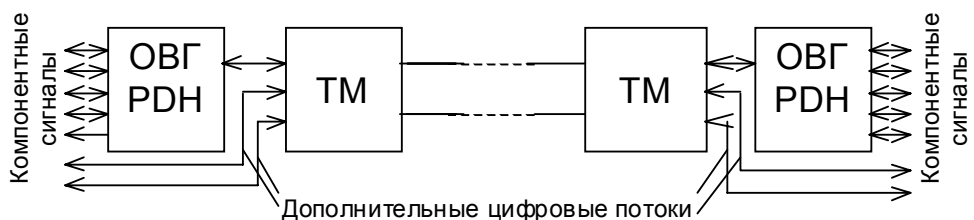
Задача выбора топологии сети решается достаточно легко при использовании базовых стандартных топологий, из которых может быть построена топология сети в целом. К таким топологиям относятся:

- цепь;
- звезда;
- кольцо;
- ячеистая.

Простейшим вариантом является топология **цепь (chain)**, при этом все аппараты выстроены в линию (см. рис. 2), на концах которой находятся TM, а промежуточные аппараты, в зависимости от необходимости, конфигурируются как Reg или ADM. Топология цепь может быть реализована со стопроцентным резервированием 1+1 (рис.).



С точки зрения надежности, данная топология имеет минимальные возможности



сти, однако, на начальном этапе развития сети или как составная часть более сложных структур (например, линия связи, соединяющая две независимые сети) использование топологии цепь широко и оправдано. Подобная ситуация часто возникает при модернизации сети, когда оборудование SDH устанавливается на уже реально существующей сети PDH, для которой топология цепь является основной. На рис. 3 представлен процесс миграции существующей линии на оборудовании PDH в SDH при возникновении необходимости в увеличении пропускной способности системы без изменения конфигурации сети. *Оборудование линейного тракта* (ОЛТ) PDH заменяется на синхронный мультиплексор, для которого прежний линейный сигнал становится одним из компонентных, а *оборудование мультиплексирования* (ОМ) PDH уже установленное и сконфигурированное, остается в неизменном состоянии. С помощью данного метода удобно производить последовательную модернизацию сети без существенных перерывов, связанных с изменениями в конфигурации.

Логичным развитием топологии цепь является топология **звезда (star)**. Несколько цепей, состоящих из ADM и Reg, объединяются в центральном узле, называемом *концентратором* и представляющим собой DXС, который позволяет организовать доступ из одной ветви звезды к другой (рис. 4). Несмотря на то, что данной схеме присущи все недостатки топологии цепь, а также зависимость всех транзитных соединений от устойчивого функционирования концентратора, она может быть использована на начальном этапе развития сети.

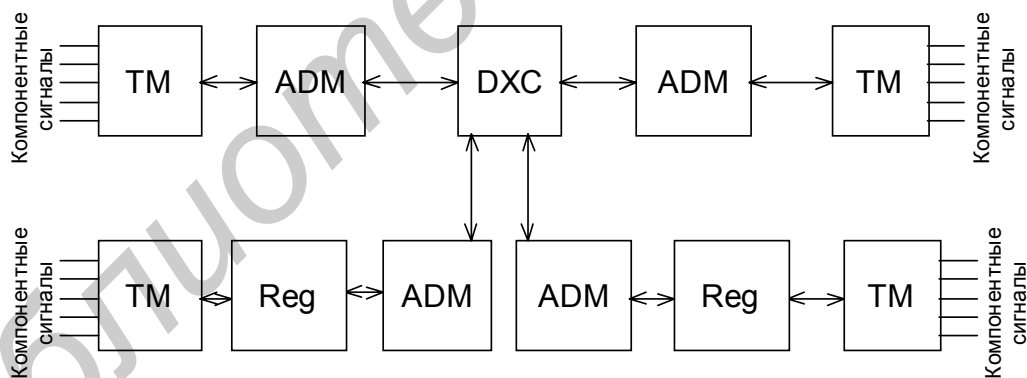
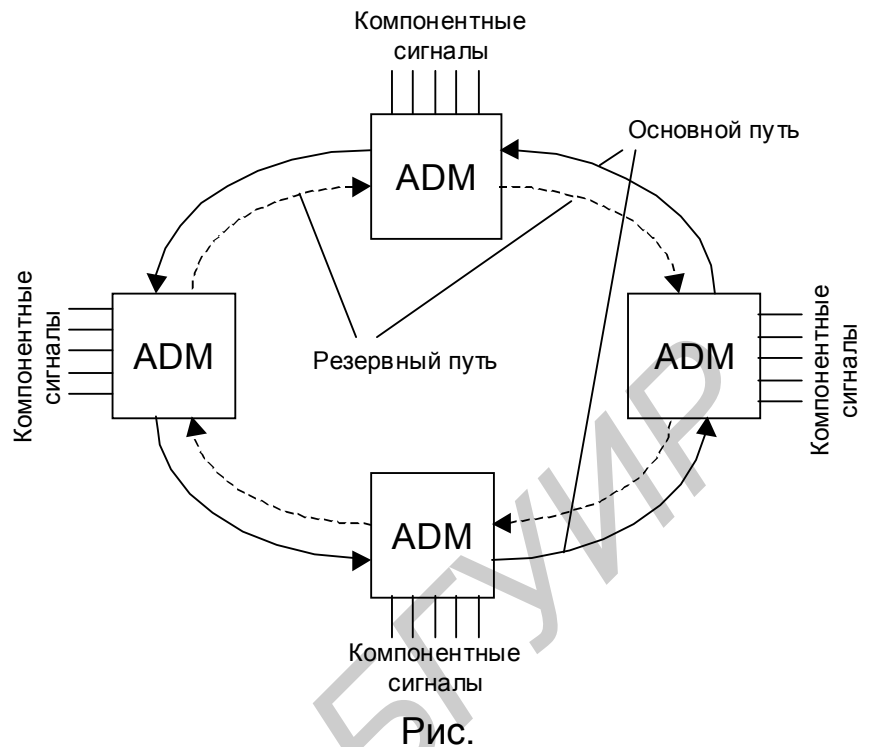


Рис.

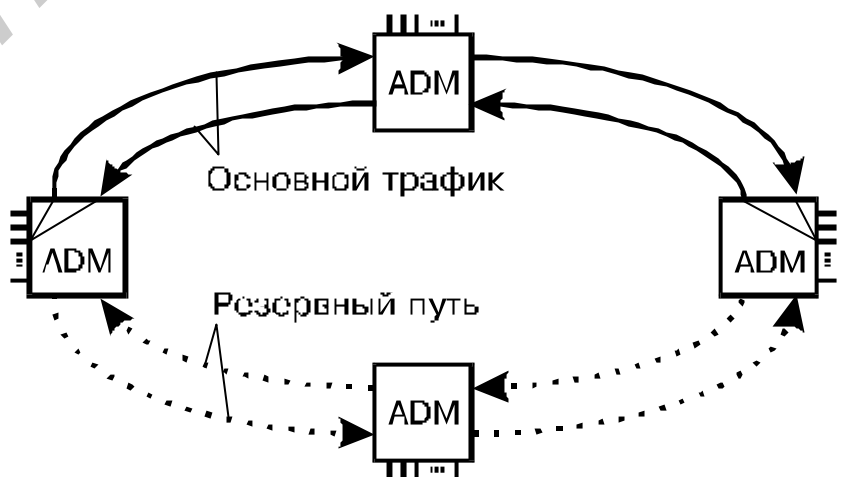
При подобной топологии сеть может быть организована за достаточно короткий срок (в особенности при постепенном накладывании новой структуры на уже существующую сеть), а организация дополнительных возможностей по резервированию и оптимизации трафика проводится в последствии, при уже работающих связях. Топология звезда эффективно используется при организации схем канального доступа (местная сеть), не предъявляющих значительных требований по надежности, т.к. вероятность линейных повреждений на местной сети невелика и ущерб, приносимый за время перерывов в работе трафика, не так значителен как на магистральной или зонавой сетях.

Топология **кольцо (ring)** является наиболее распространенной при построении сетей SDH и имеет наибольшее количество вариантов. Различные варианты построения топологии кольцо дают возможность обеспечивать резервирование различных типов и по многим параметрам. В простейшем варианте, топология кольцо реализуется с помощью ADM (см. рис. 5). Каждый мультиплексор связан с двумя соседними по линейному стыку. Резервирование в топологии кольцо может быть организовано по двум вариантам - *однонаправленный режим* и *двунаправленный режим*.



При **однонаправленном режиме** основной трафик передается по кольцу в одном направлении по одному волокну, называемому активным, по второму волокну (в направлении противоположном основному трафику) проходит либо пустой STM-N, либо дублированный основной трафик, или же этот путь используется для трафика, имеющего низкий приоритет и который может быть оборван на время аварийной ситуации.

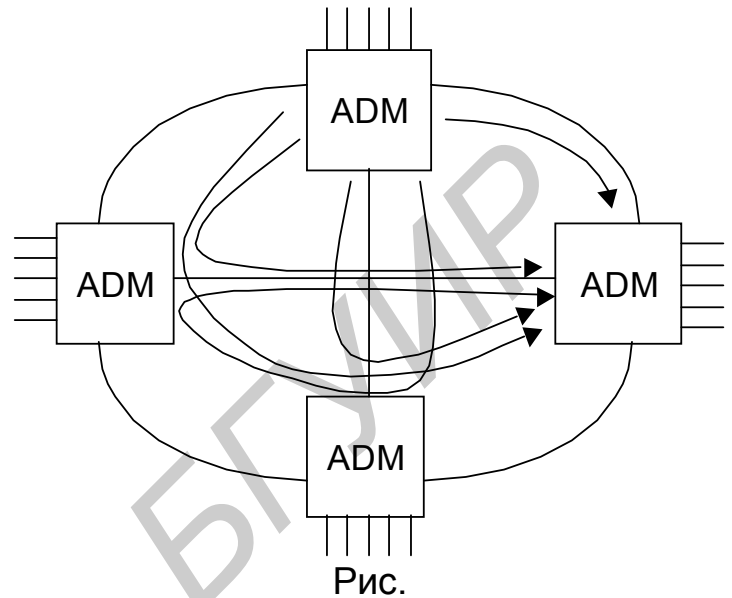
При **двунаправленном режиме** основной трафик передается по обоим волокнам, но половина пропускной способности используется для организации резервного пути, по которому как при одонаправленном режиме может передаваться дублированный основной трафик, пустой STM-N или низкоприоритетный трафик.



Защита основного трафика при обоих режимах может быть организована как на *уровне мультиплексорной секции* (рис 6, б и рис. 7, б), так и на *уровне тракта* (рис 6, в и рис 7, б) - при двунаправленном режиме оба варианта обрабатываются одинаково. Следует отметить, что каждый из режимов имеет свои особенности при использовании. Так, двунаправленный режим для эффективной работы требует сбалансированного, равномерно распределенного по всему кольцу трафика, а однонаправленный слабо приспособлен для организа-

ции резервирования мультиплексной секции (что видно из рис. 6, б). Так же при обоих режимах происходит снижение использования пропускной способности оборудования, так как для каждого потока (с возможностью резервирования) необходимо организовать резервный поток, при нормальной работе не задействованный.

Последнему недостатку менее подвержена топология кольца, *пересеченного* одной или несколькими *дополнительными* связями по линейному стыку (см. рис. 8). При такой схеме построения появляется возможность более гибкой организации резервных связей, а так же возможность организации нескольких альтернативных путей резервирования за счет увеличения числа кабельных соединений (на рис. 8 показаны несколько альтернативных вариантов прохождения трафика между двумя пунктами для данной конкретной структуры сети).



Общее число потоков с резервированием в этом случае может быть больше, чем при простом кольце, так как становится возможным динамическое восстановление тракта - на всех участках сети организуется некоторое количество резервных трактов, а в случае повреждения система контроля и управления сетью определяет возможные пути резервирования и организывает проключение дополнительного тракта. Т. о. нет необходимости в постоянном резервном тракте для каждого рабочего, что высвобождает значительную часть пропускной способности сети. Так же появляется возможность поддерживать трафик при более чем одном обрыве кабеля. Число возможных связей ограничено только максимальным количеством линейных блоков, которые могут быть установлены на одном ADM. Однако, данная схема требует увеличения числа линейных оптических блоков и прокладки дополнительных кабельных линий, а соответственно, к увеличению стоимости.

Гибридом топологий цепь и звезда является вариант *плоское (уплотненное) кольцо*. Построение подобной схемы имеет смысл при необходимости организации выделения трафика в

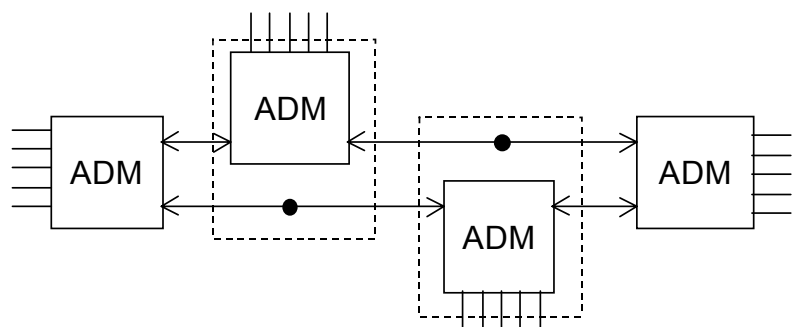


Рис.

густо расположенных узлах при топологии цепь с резервированием 1+1 по

мультиплексным секциям. Установка в каждом узле двойного количества дорогостоящих плат линейного стыка не является оправданным, так как расстояния между узлами могут быть незначительными, однако работу можно организовать, минимизировав число ADM до одного в каждом узле (см. рис. 10).

В процессе развития сети достаточно часто возникает необходимость в создании соединений между несколькими сетями (местные сети объединяются в зонную, зонные - в магистральную, национальные - в международную) или между отдельно развивавшимися частями одной сети.

Наиболее интересен случай объединения нескольких синхронных колец. Два синхронных кольца могут быть соединены между собой одной или несколькими связями (рис. 11). Дополнительные связи организуются для увеличения пропускной способности между соединяемыми кольцами и, соответственно, возможностей резервирования этого трафика. Возможен так же вариант, когда соединение между синхронными кольцами организуется с помощью создания одной или нескольких станций, общих для обоих колец, или же замыканием нескольких лучей топологии звезда в кольца (см. рис. 12).

Развитием подобных, присоединяемых друг к другу колец является **ячеистая (mesh)** топология - когда с помощью дополнительных соединений между элементами сети образуется структура, практически каждый элемент которой является частью нескольких колец одновременно (см. рис. 13). Пропускная способность в такой сети, отводимая резервным трассам, незначительна на каждом отдельном участке - вероятность одновременного возникновения нескольких аварий в различных частях сети мала, а единичное, даже крупное, повреждение на сети восстанавливается распределением подверженного аварии трафика по остальной сети, имеющей большое число альтернативных связей между каждыми двумя элементами.

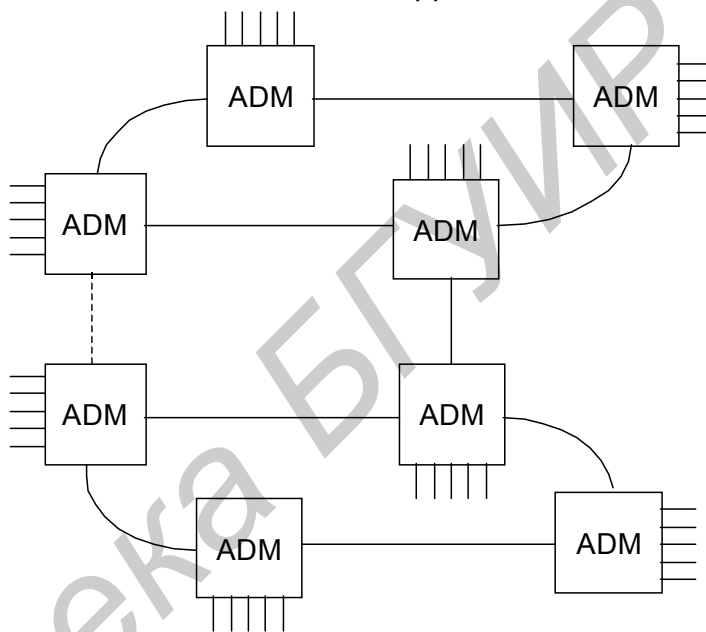


Рис.

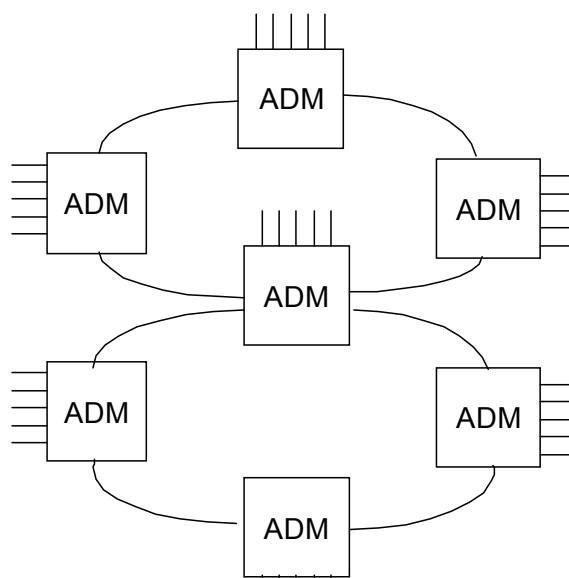


Рис.

4.4. Методы защиты синхронных потоков.

Первый уровень SDH (STM-1, линейная скорость 155Мбит/с) позволяет организовать линейный тракт, несущий 63 потока E1 по паре оптических волокон. Первичные цифровые потоки могут программно и дистанционно контролироваться и переключаться по станциям сети. Однако система обслуживания каждого линейного тракта охватывает только 63 ПЦТ данной пары волокон.

Аппаратура четвертого уровня STM-4 с линейной скоростью 622 Мбит/с создает по паре волокон 4 тракта по 63 потока E1 в каждом. Возможно оперативное переключение любого ПЦТ на любое из 252 мест этого ансамбля. В данной сети достаточно одного тракта STM-4 (два волокна в любом сечении кольца) и т.д.

В сетях SDH существуют различные методы защиты синхронных потоков, которые обеспечивают высокую надежность ее функционирования, а также возможность сохранения и восстановления работоспособности сети (за время десятки миллисекунд) в случае отказа одного из элементов сети или направления передачи, например, обрыва оптического волокна. К таким методам относятся:

1. Резервирование участков сети по схемам 1+1 и 1:1 по разнесенным трассам.
2. Организация самовосстанавливающихся кольцевых сетей, резервированных по схемам 1+1 и 1:1.
3. Резервирование оборудования по схемам 1:1 и 1:N.
4. Восстановление работоспособности путем обхода неработоспособного узла.
5. Использование систем оперативного переключения.

Резервирование по схеме 1+1 – в приемном устройстве сигналы анализируются, и выбирается тот, который имеет наилучшее соотношение параметров.

Резервирование по схеме 1:1 – альтернативным маршрутам назначаются приоритеты: высокий и низкий. Ветвь с низким приоритетом находится в режиме горячего резерва, переключение на нее происходит по аварийному сигналу от системы управления. В этом случае на каждой станции сигнал E1, предназначенный для другой станции, направляется к последней сразу по обоим направлениям передачи кольца, а на приеме автоматически выбирается наилучший сигнал из двух. Эта система гарантирует сохранение заданного количества потоков E1 между станциями, но в линии каждая такая связь занимает вдвое большее число трактов. Данная система может применяться не по всей сети, а только для тех связей, которые требуют такого качества связи. При использовании ее для станций на линиях ответвления эти линии должны быть продублированы.

Резервирование оборудования по системе N:1, когда на N основных блоков используется один резервный. Переключение на резерв осуществляется автоматически при отказе одного из основных. Следует отметить,

что такая схема резервирования не влияет на общую схему сети, увеличивая ее надежность.

и здесь не рассматриваются, но могут быть учтены при принятии окончательных решений по вышеуказанным вопросам.

Окончательные решения по уровню SDH, системе резервирования оборудования и линейных трактов может быть принято на основе конкретных данных по стоимости аппаратуры и кабеля с учетом требований по надежности и качеству связи.

5. Тактовая синхронизация сети SDH

Важной проблемой при строительстве, настройке и технической эксплуатации цифровых сетей связи, в том числе и SDH, является передача информации с высоким качеством, в соответствии с международными нормами. Так, одним из показателей качества передачи цифровых трактов и каналов является наличие проскальзываний (*проскальзывания* (slips) - исключение или повторение одного или группы передаваемых по сети двоичных символов), приводящих к потере или неверной передаче части информации. Основной причиной проскальзываний является наличие значительного количества оборудования группообразования, которое подстраивает тактовую частоту данного цифрового канала под свой внутренний задающий генератор. Количество таких подстроек и стабильность задающих генераторов приводят к искажению передаваемой информации. Данная проблема решается несколькими способами – введением балансных битов, буферов памяти, синхронизацией внутренних задающих генераторов и т. д. Однако, при значительном увеличении скорости передачи информации с одной стороны (количество балансных, применяемых для выравнивания скоростей битов по отношению к полезной информации резко увеличивается) и при объединении цифровых систем передачи (ЦСП) с электронными системами коммутации в единую цифровую сеть, обеспечивающую передачу и коммутацию сигналов в цифровой форме с другой стороны. Вследствие данных причин возникает острая необходимость создания системы *тактовой синхронизации сети* (ТСС).

Задача ТСС и сводится к устранению искажений в передаваемой информации, вызываемых различием частоты передачи/ обработки этой информации на сети и создающих проскальзывания, занимая как можно меньше ресурсов под балансную нагрузку для исправления нестабильности частоты задающих генераторов.

Исходя из вышесказанного, необходима корректно построенная система ТСС сети SDH и узлов коммутации цифровых каналов.

В данной статье рассматривается система ТСС и некоторые требования по ее построению.

Система TCC SDH является одним из основных факторов, обеспечивающих высокое качество передачи информации и строится по иерархическому принципу (см. рис. 1).

Верхний уровень иерархии занимает *первичный эталонный задающий генератор* (primary reference clock, PRC), который вырабатывает сигнал синхронизации высокого качества (долговременная (см. прим.) стабильность частоты PRC составляет не более, чем 1×10^{-11}).

В качестве PRC чаще всего используется цезиевый стандарт частоты. Возможен прием и подстройка частоты PRC от *глобальной системы позиционирования* (global positioning system, GPS), в подчиненных цифровых сетях вместо PRC можно использовать тактовые сигналы генераторов высших сетей.

Второй уровень иерархии занимают *ведомые задающие генераторы* (synchronization supply unit, SSU), которые синхронизируются от генератора более высокого порядка. Собственная долговременная стабильность частоты SSU составляет не более 10^{-9} (согласно ITU-T G. 812).

Третим уровнем иерархии являются *задающие генератор(ы) оборудования SDH* (SDH equipment clock, SEC), подстраиваемые от внешнего источника.

Синхросигнал между PRC/SSU или PRC /SEC распределяется двумя возможными методами (см. рис. 2):

- *каскадным* методом, при котором сигналы синхронизации передаются по так называемым *трактам синхронизации* (в качестве которых используются линейные тракты STM-N). Линейный сигнал непосредственно не несет информацию о синхронизации; на NE подчиненная аппаратура выделяет сигнал тактовой синхронизации из принимаемого линейного сигнала STM-N и синхронизирует SEC и SSU;

- передачей сигнала 2,048 Мбит/с, используя оборудование PDH и линейный тракт, который синхронизирует SSU и, в свою очередь, распределяет синхронизацию по SEC.

Факторы, влияющие на передачу сигналов синхронизации

Требования к синхронизации цифровых сетей - это компромисс между несколькими конфликтующими параметрами. С одной стороны, это конкретные параметры сигналов синхронизации в аппарате, с другой - выполнение данных параметров на сети в целом. Количество синхронизируемых от одного задающего генератора цифровых сетей может быть безгранично, но в какой-то момент происходит ухудшение следующих параметров (с позиции синхронизации):

- фазовый шум оборудования и тракта синхронизации для SSU, SEC, PRC;

- дрейф фазы тракта синхронизации;

- дрожание фазы тракта синхронизации;

- сдвиги фазы, вызванные переходными процессами, вследствие некоторых операций по преобразованию или испытанию (данные операции

происходят в среднем не реже 1 раза в месяц, в связи с перестройками и сбоями системы синхронизации для достаточно разветвленной ТСС; поэтому, для разумного снижения качества, которое входит в международные нормы качества было принято, что сдвиг фазы любой полярности между двумя SSU допускается не более 1 мкс в 25 дней.

С учетом перечисленных выше дестабилизирующих факторов (на основании теоретических и практических исследований) были определены структуры, количество цепей и элементов синхронизации - согласно ETS 300 462-2 один PRC распределяет синхронизацию на десять SSU через 20 SEC (возможен вариант 40 SEC между двумя SSU, но данный случай может вызвать ухудшение качества передачи сигналов синхронизации).

Режимы синхронизации оборудования SDH

В SDH возможны два режима синхронизации оборудования - *нормальный* и *аварийный*.

1. Нормальный режим

Система ТСС строится по принципу распределительной древовидной (радиально-узловой) структуры. Синхронизация производится передачей сигнала синхронизации от одного *задающего генератора элемента сети* (network element clock, NEC) к следующему (см. рис.3).

Для обеспечения высоконадежной работы системы синхронизации NEC обязательно резервируется и передается по системам, изолированным от синхронизируемой сети (в идеальном случае).

В качестве переносчиков синхросигнала в системах SDH используются линейные сигналы STM-N, т. к. они не подвержены *согласованию указателей* (pointer justification). Информацию о синхронизации содержит первый ряд STM-1 SOH (который не скремблируется), в байте S1 (биты 5-8) находится информация о статусе синхронизации. Информация, принятая в байте S1, сравнивается с ожидаемым значением и в случае пяти последовательных несовпадений генерируется аварийный сигнал.

Для обеспечения надежности подачи сигнала синхронизации оборудование SDH имеет возможность синхронизироваться от нескольких источников, для каждого из которых задается соответствующий приоритет использования (так называемая *таблица приоритетов*). Так, при пропадании источника синхронизации с высшим выбранным приоритетом происходит автоматический переход на более низший.

Ниже показаны возможные приоритеты синхронизации аппарата SDH (см. рис. 4):

_____ - *от внешнего источника 1* - аппарат синхронизируется от внешнего синхросигнала, физически подаваемого на разъем 1;

_____ - *от внешнего источника 2* - аппарат синхронизируется от внешнего синхросигнала, физически подаваемого на разъем 2;

_____ - *от линии 1* - аппарат синхронизируется по синхросигналу, восстановленному из линейного сигнала STM-N, принимаемого с линии 1;

- от линии 2 - аппарат синхронизируется по синхросигналу, восстановленному из линейного сигнала STM-N, принимаемого с линии 2;
- от порта распределительного блока - аппарат синхронизируется по синхросигналу, восстановленному из одного входного компонентного сигнала (2 Мбит/с, 34 Мбит/с, 140 Мбит/с).

Непосредственно для синхронизации оборудования, расположенного на узлах и станциях цифровой сети, в оборудовании SDH обычно предусматривается несколько выходов синхронизации 2,048 кбит/с.

2. Аварийный режим

Если NE теряет принудительную синхронизацию (внешнюю, линейную), аппаратура способна продолжать синхронизацию передаваемого сигнала от NEC. Так, в случае потери сигналов синхронизации от ведущего NEC ведомый NEC переходит в режим *удержания* (holdover), что соответствует переходу данного участка сети SDH в плезиохронный режим. В этом режиме частота и фаза отражает последнюю известную частоту и фазу синхронизации еще некоторое время с достаточной точностью с отклонением не более $\pm 2,0$ ppm (миллионных долей) в течение около 48 часов, а затем переходит в режим *свободного генерирования* (free running) с отклонением тактовой частоты от номинальной величины не более $\pm 4,6$ ppm.

После устранения неисправности автоматически возвращается источник синхронизации высшего приоритета.

Топология организации системы ТСС

С точки зрения топологии построения синхронной сети необходимо правильно выставить приоритеты синхронизации каждого аппарата (NE) в отдельности и всей сети в целом, так ТСС должна строиться по следующим принципам

- удовлетворять по всем параметрам рекомендациям ИТУ-Т;
- не должна оказывать какие-либо отрицательные влияния на устойчивость сети (предполагаться резервирование наиболее важных синхротрасс и задающих генераторов);
- должна быть рассчитана на работу в условиях постоянно перестраиваемой и модернизируемой сети и обладать достаточной гибкостью для перестройки и модернизации в режиме действующего трафика.

Рассмотрим организацию передачи сигналов синхронизации по стандартным топологиям сети SDH.

При топологии *цель* и *звезда* сигналы синхронизации обычно передаются в цикле STM-N без резервирования, для резервирования применяются другие сети (рис. 5).

В случае, когда сеть SDH строится по топологии *кольцо*, появляется возможность в полной мере использовать ресурсы резервирования синхронизации при потере или ухудшении качества синхросигнала (см. рис. 6). Однако, при неправильной расстановке приоритетов синхронизации и при определенных обстоятельствах ухудшения основного сигнала синхронизации (при переходе на источник более низкого приоритета) происхо-

дит не восстановление системы синхронизации, а переход части аппаратов в режим работы от внутреннего генератора (кольцо по синхронизации). Поэтому должен выдерживаться строго иерархический принцип распределения синхронизирующего сигнала при установке приоритетов синхронизации. Для избежания изменения системы ТСС синхронизации при нарушениях в работе части кольца и спонтанного перехода аппаратов на другие приоритеты используется протокол *информации о статусе синхронизации* (synhronisation status message, SSM).

В байте S1 секционного заголовка STM-N SOH передается информация, являющаяся причиной закрытия внешних выходов синхронизации (распространения синхронизации на другие NEC), когда принимаемый сигнал синхронизации более низкого качества, чем от внутреннего генератора NE.

Дополнительное применение протокола SSM - это управление системой синхронизации цепи или кольца. Каждой подсеть меняет направление синхронизации, при потере главного пути, но для того, чтобы сохранилась строго иерархическая структура, т. е. избежания *колец по синхронизации*, каждый NE должен послать сообщение *“Не использовать”* обратно в тот NE, из которого он берет синхронизацию, чтобы отдающий синхронизацию аппарат при потере собственных источников синхронизации не переключился на использование синхросигнала от аппаратов, которым он должен распределять синхросигнал.

Литература

1. ITU-T Recommendation G. 803 /1993/. Architectures of Transport Networks Based on the Synchronous Digital Hierarchy (SDH).
2. ITU-T Recommendation G. 810 /1988/. Considerations on Timing and Synchronization Issues.
3. ITU-T Recommendation G. 811 /1988/. Timing Requirements at the Outputs of Primary Reference Clocks Suitable for Plesiochronous Operation of International Digital Links.
4. ITU-T Recommendation G. 812 /1988/. Timing Requirements at the Outputs of Slave Clocks Suitable for Plesiochronous Operation of International Digital Links.
5. ITU-T Recommendation G. 813 /1996/. Timing Characteristics of SDH Equipment Slave Clocks (SEC).
6. ETSI ETS 300 462 /1997/, Transmission and Multiplexing (TM); Generic requirements for synchronization networks. Part 1-6.
7. Синхронизация цифровых сетей связи. Информационное обеспечение общесоюзных научно-технических программ. Обзорная информация. - М.: 1989. Вып. 4.
8. Зеленьяк-Кудрейко И. В., Костомаров Н. В. Восстановление синхронизации в SDH сетях // Вестник связи, 1998, № 1-2.

9. Руководящий технический материал по построению тактовой сетевой синхронизации на цифровой сети связи Российской Федерации. - М.: ЦНИИС, 1995.

10. Н. Н. Слепов. Синхронные цифровые сети SDH. - М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 1997.

11. Hirschinger, J. Are You in SYNC? Rapid Evaluation of Telecom Network Synchronization Quality to ITU-T/ETSI Standards, Application Note. - Eningen, Germany: Wandel & Goltermann GmbH & Co., 1997.

12. Solving SDH/PDH Network Timing Problems, Application Note. - Germantown, Maryland (USA): TTC Dynatech Company, 1997.

13. Synchronizing Telecommunications Networks: Synchronizing SDH/SONET, Hewlett-Packard Application Note 1262-2. - Santa Clara, USA: Hewlett-Packard Company, 1995.

14. Synchronizing Telecommunications Networks: Fundamentals of Synchronization Planning, Hewlett-Packard Application Note 1262-3. - Santa Clara, USA: Hewlett-Packard Company, 1995.

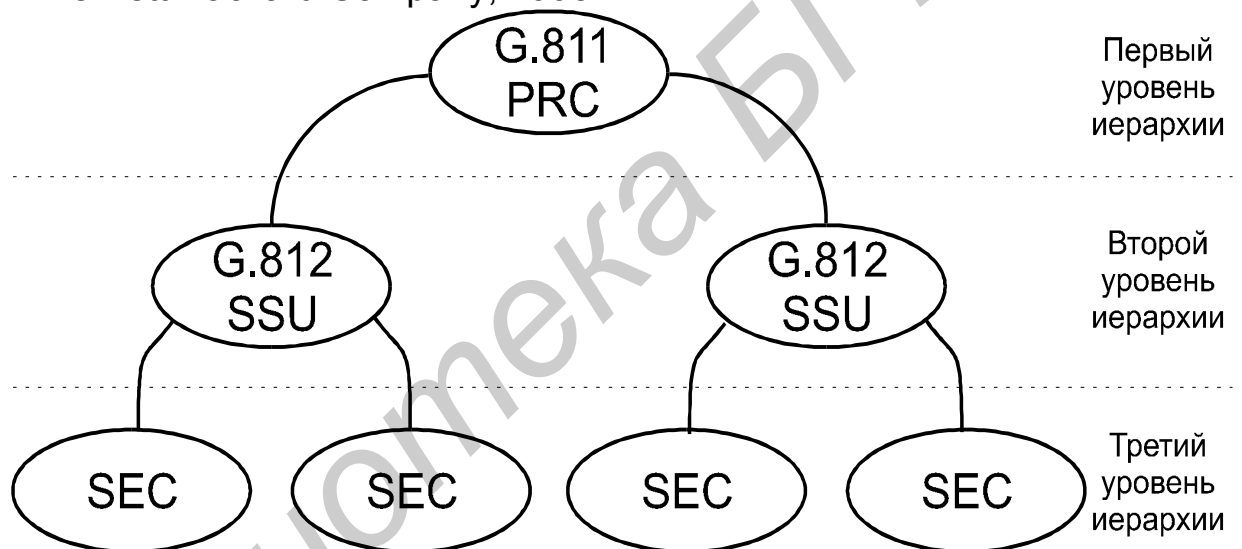


Рис. 1

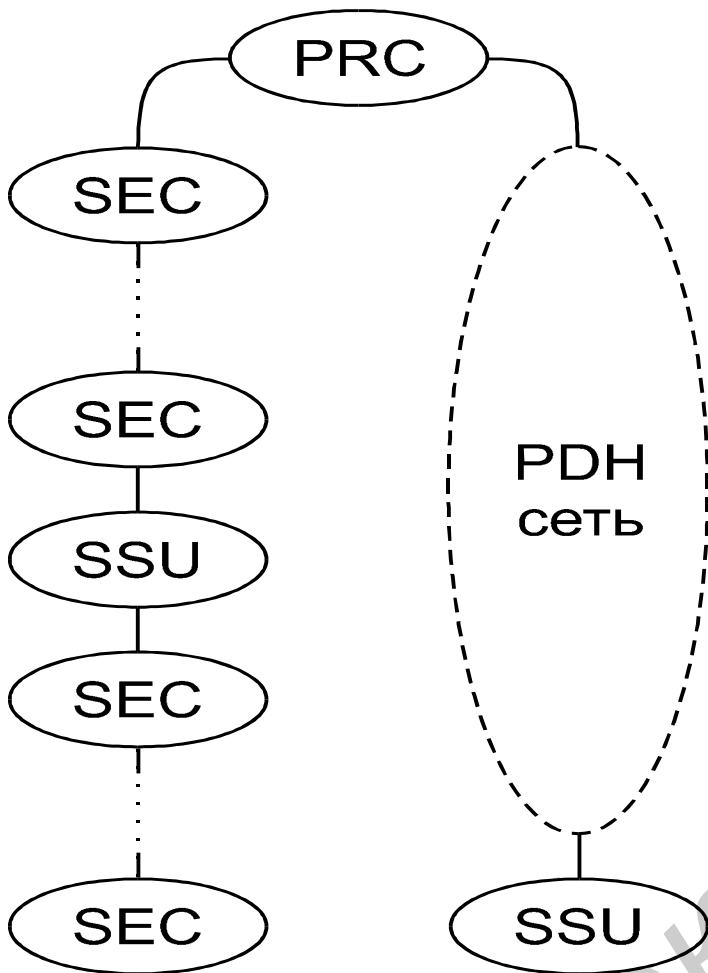


Рис. 2

Библиотека БГУИР

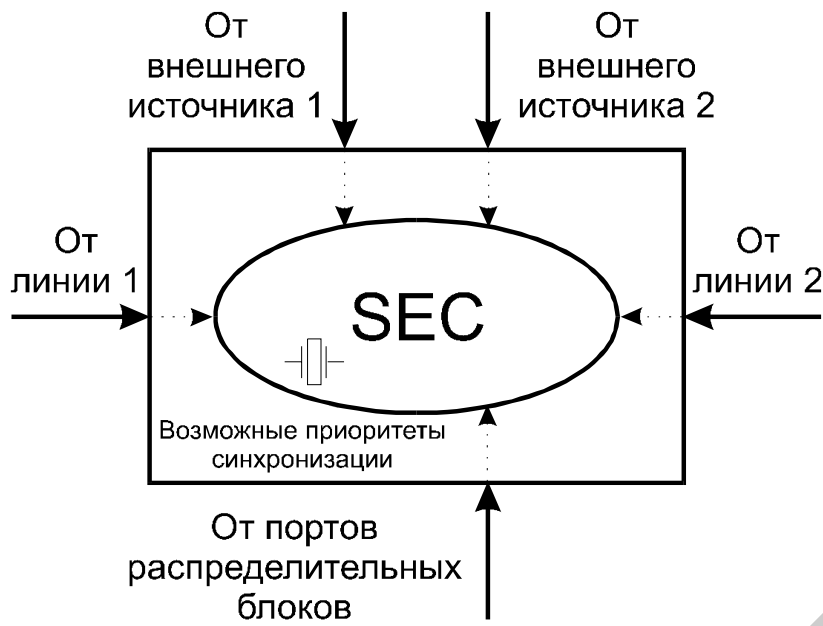


Рис. 4



Рис. 5

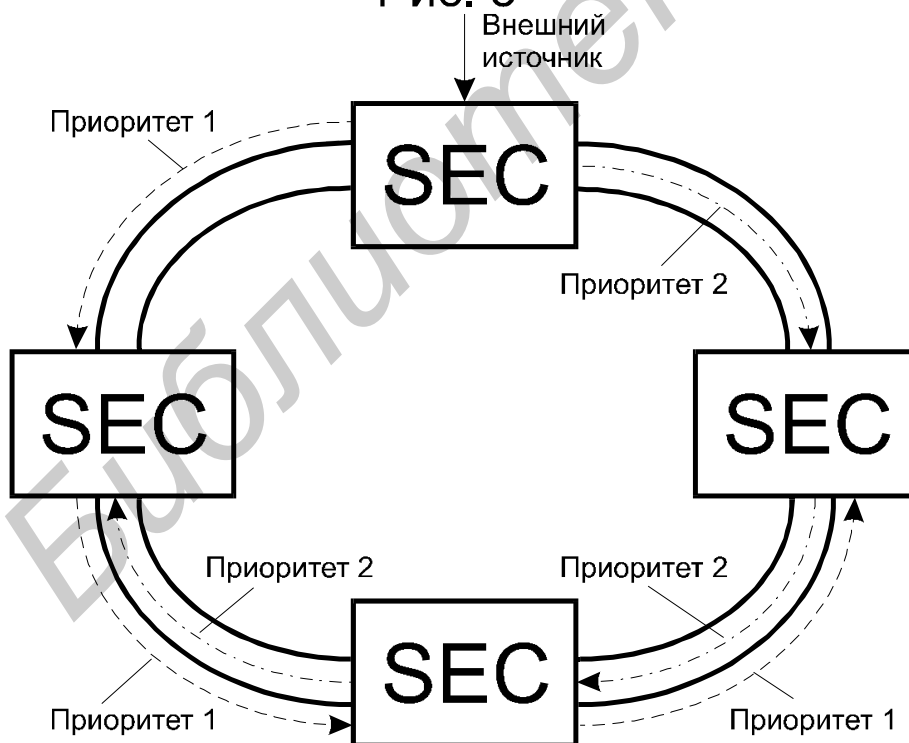


Рис. 6

Св. план 2000 , поз **

Учебное издание

Авторы: Тарченко Надежда Владимировна

**Системы передачи синхронной
цифровой иерархии**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ
по дисциплине

«Многоканальные системы передачи»

для студентов

специальности Т12.01 “Телекоммуникационные системы”.

Редактор Е.Н. Батурчик

Подписано в печать 26.10.01

Формат 60x84

1/16

Бумага офсетная.

Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,5

Уч.-изд. Л.

Тираж 100 экз.

Заказ 509

Белорусский государственный университет

информатики и радиоэлектроники

Отпечатано в БГУИР. Лицензия ЛП № 156.220027, Минск, П.Бровки, 6

Таблица 1.2 - Параметры оптических сигналов уровней STM-1 и STM-4

	Ед.изм	Величина							
		STM-1 (Рек. G.707, G.958): 155520				STM-4 (Рек. G.707, G.958): 622080			
Цифровой сигнал, Номинальная скорость передачи информации	Кбит/с								
Код применения		S-1.1	L-1.1	L-1.2	L-1.3	S-4.1	L-4.1	L-4.2	L-4.3
Рабочий диапазон длины волны	нм	1261-1360	1280-1335	1430-1576 1480-1580	1480-1580	1293-1334 1274-1356	1280-1335	1480-1580	1480-1580
Передатчик в опорной точке S:									
Тип источника		MLM	SLM	SLM	SLM	MLM	SLM	SLM	SLM
Спектральные характеристики									
- Максимальная среднеквадратическая ширина	нм	7.7	4	-	-	4/2,5	-	-	-
- Максимальная -20дБ ширина	нм	-	-	1	1	-	1	1	1
- Минимальный коэффициент подавления боковой моды	дБ	-	-	30	30	-	30	30	30
Средняя выходная мощность									
- Максимальное значение	дБм	-8	0	0	0	-8	+2	+2	+2
- Минимальное значение	дБм	-15	-5	-5	-5	-15	-3	-3	-3
- Типичное значение	дБм	-12	-2.7	-2.7	-2.7	-	-	-	-
Минимальное соотношение затухания	дБ	8.2	10	10	10	8,2	10	10	10
Приёмник в опорной точке R:									
Минимальная чувствительность	дБм	-34	-34	-34	-34	-28	-28	-28	-28
Минимальная перегрузка	дБм	-4	-4	-4	-4	-8	-8	-8	-8
Максимальные потери на оптическом канале	дБ	1	1	1	1	1	1	1	1
Максимальный коэффициент отражения приёмника, измеренный в точке R	дБ	-	-	-25	-25	-	-14	-27	-14
Оптический канал между S и R:									
Минимальное оптическое затухание несогласованности кабеля, размещённого в точке S	дБ	-	-	20	20	-	20	24	20
Максимальное дискретное отражение между S и R	дБ	-	-	-27	-27	-	-25	-27	-25
Максимальная дисперсия	имп/нм	100	185	1900	-	46/74	-	-	-
Диапазон затухания	дБ	0-12	0-28	0-28	0-28	0-12	10-24	10-24	10-24