МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

**«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**(ФГБОУ ВО «КубГУ»)**

**Физико-технический факультет**

**Кафедра оптоэлектроники**

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

**ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ И РАЗВИТИЯ ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ**

Работу выполнил \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Черников А.В.

Курс 3

Направление 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Научный руководитель

канд. физ.-мат. наук, доцент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Сморщевский В.С.

Нормоконтролер инженер \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Лысенко В.Е.

Краснодар 2017

**CОДЕРЖАНИЕ:**

Введение………………………………………………………………….3

1. Общие принципы организации и функционирования оптических транспортных сетей связи…………………………………………………….…5

1.1 Основные принципы оптических транспортных сетей связи……………………………………………………………………………....5

1.2 Схема построения оптических транспортных сетей связи...…….8

2.Принципы организации оптических транспортных сетей для цифровой телефонной связи……………………………………………..…….14

2.1 Структура местной (города) транспортной сети на базе технологии SDH………………………………………………………………………….…..14

2.2 Централизованное управление оптических транспортных сетей связи для цифровых сетей связи……………………………………………...18

2.3 Принципы организации транспортных сетей для современных сетей передачи данных……………………………………………………….……….…………23

3. Принципы организации транспортных сетей для современных сетей передачи данных……………………………………………………………….27

Заключение……………………………………………………………..31

Список использованных источников…………………………………30

**Введение**

Технология синхронной цифровой иерархии (Synchronous Digital Hierarchy, SDH) позволяет создавать надежные транспортные сети и гибко формировать цифровые каналы в широком диапазоне скоростей — от нескольких мегабит до десятков гигабит в секунду. Основная область ее применения — первичные сети операторов связи.

Первичные сети предназначены для создания коммутируемой инфраструктуры, с помощью которой можно достаточно быстро и гибко организовать постоянный канал с двухточечной топологией между двумя пользовательскими устройствами, подключенными к такой сети. В первичных сетях применяется техника коммутации каналов. На основе каналов, образованных первичными сетями, работают наложенные компьютерные или телефонные сети. Каналы, предоставляемые первичными сетями своим пользователям, отличаются высокой пропускной способностью – обычно от 2 Мбит/с до 10 Гбит/с.

Сети SDH относятся ко второму поколению первичных сетей. Технология SDH пришла на смену устаревшей технологии плезиохронной цифровой иерархии (Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH). В настоящее время SDH не является последним достижением технологии первичных сетей. Существуют также уплотненное волновое мультиплексирование (Dense Wave Division Multiplexing, DWDM) и технология, определяющая способы передачи данных по волновым каналам DWDM – оптическая транспортная сеть (Optical Transport Network, OTN).

Предметом является принципы оптических транспортных сетей.

Главной целью курсовой работы является углублённое изучение всех известных технологий транспортных сетей .

Задачами курсовой работы :

- изучить основные принципы оптических транспортных сетей;

- принципы организации транспортных сетей;

- принципы оптических транспортных сетей для передачи цифровых телефонных сигналов.

1. Общие принципы организации и функционирования оптических транспортных сетей связи

1.1 Основные принципы оптических транспортных сетей связи

Технология синхронной цифровой иерархии первоначально была разработана компанией Bellcore под названием «синхронные оптические сети» (Synchronous Optical NETs, SONET) и, по сути, является развитием технологии PDH. Быстрое развитие телекоммуникационных технологий привело к необходимости расширения иерархии скоростей PDH и максимального использования всех возможностей, которые предоставляла новая среда — волоконно-оптические линии связи.

Одновременно с расширением линейки скоростей нужно было освободиться от выявленных за время эксплуатации этих сетей недостатков PDH, прежде всего, от принципиальной невозможности выделения отдельного низкоскоростного потока из высокоскоростного без полного демультиплексирования последнего. Сам термин «плезиохронный», т. е. «почти» синхронный, говорит о причине такого явления — отсутствии полной синхронности потоков данных при объединении низкоскоростных каналов в более скоростные. Кроме этого, в технологии PDH не были предусмотрены встроенные средства обеспечения отказоустойчивости и управления сетью.

Была создана технология, способная передавать трафик всех существующих цифровых каналов уровня PDH (как американских T1–T3, так и европейских E1–E4) по высокоскоростной магистральной сети на базе волоконно-оптических кабелей и обеспечить иерархию скоростей, продолжающую иерархию технологии PDH до скорости в несколько Гбит/с.

В результате длительной работы удалось создать стандарт на синхронную цифровую иерархию (Synchronous Digital Hierarchy, SDH) — спецификации ITU-T G.702, G.703, G.704, G.707, G.708, G.709, G.773, G.774, G.782, G.783, G.784, G.957, G.958, Q.811, Q.812 и ETSI — ETS 300 147.

Мультиплексоры SDH с волоконно-оптическими линиями связи между ними образуют среду, в которой администратор сети SDH организует цифровые каналы между точками подключения абонентского оборудования или оборудования вторичных (наложенных) сетей самого оператора — телефонных сетей и сетей передачи данных.

На рисунке 1 представлен пример первичной сети, построенной по технологии SDH.

Каналы SDH относятся к классу полупостоянных (semipermanent) — формирование (provisioning) канала происходит по инициативе оператора сети SDH, пользователи же лишены такой возможности, поэтому такие каналы обычно применяются для передачи достаточно устойчивых во времени потоков. Из-за полупостоянного характера соединений в технологии SDH чаще используется термин «кросс-коннект» (cross-connect), а не коммутация.



Рисунок 1 – Пример первичной сети, построенной на технологии SDH

Сети SDH относятся к классу сетей с коммутацией каналов на базе синхронного мультиплексирования с разделением по времени (Time Division Multiplexing, TDM), при котором адресация информации от отдельных абонентов определяется ее относительным временным положением внутри составного кадра, а не явным адресом, как это происходит в сетях с коммутацией пакетов.

С помощью каналов SDH обычно объединяют большое количество периферийных (и менее скоростных) каналов плезиохронной цифровой иерархии (PDH).

Также очень широко используется высокоскоростная передача через оптический канал – это ключевой компонент архитектуры High Leverage Network, разработанной Alcatel-Lucent. Учёные в Вилларсо, Франция, использовали 155 лазеров, причём каждый работал на собственной частоте и обеспечивал 100 Гбит/с, чтобы увеличить возможности стандартной технологии WDM (Wavelength Division Multiplexing – спектральное уплотнение каналов). Число выведено путём умножения количества лазеров на обеспечиваемые ими 100 Гбит/с, а затем полученные 15,5 Тбит/с – на 7000 км дистанции. Комбинация из скорости и расстояния приводит к единице бит в секунду на километр – стандартной для измерений в высокоскоростных оптических каналах. В использованной сети применялись расположенные через каждые 90 км повторители – устройства, поддерживающие мощность оптического сигнала. Этот отрезок на 20% превышает типичный для оптических линий. Дальнейшее увеличение было затруднено из-за шума – возмущения в сигналах, - появлявшегося с ростом скорости. Пропускная способность также была повышена благодаря усовершенствованному цифровому сигнальному процессору с когерентной регистрацией – новой технологии, позволяющей использовать больше свойств света, чем прямой метод детектирования в сегодняшних системах. Она дала возможность эффективно повысить ёмкость сети, увеличив количество источников света на единственной оптоволоконной линии и разделить свет на составляющие по достижении им места назначения. Технология WDM позволяет существенно увеличить пропускную способность канала (к 2003 году достигнута скорость 10,72 Тбит/с, а к 2009 — 15,5 Тбит/с), причем она позволяет использовать уже проложенные волоконно-оптические линии. Благодаря WDM удается организовать двустороннюю многоканальную передачу трафика по одному волокну (в обычных линиях используется пара волокон — для передачи в прямом и обратном направлениях).

Также незаменима функциональная схема, поясняющая технологию DWDM. По мере прохождения по оптическому волокну сигнал постепенно затухает. Для того чтобы его усилить, используются оптические усилители. Теоретически это позволяет передавать данные на расстояния до 4000 км без перевода оптического сигнала в электрический (для сравнения, в SDH это расстояние не превышает 200 км)[2,с.608].

Рентабельный способ расширения полосы пропускания волоконно-оптических каналов в сотни раз. Пропускную способность оптических линий на основе систем DWDM можно наращивать, постепенно добавляя по мере развития сети в уже существующее оборудование новые оптические каналы. Частотный план для DWDM систем определяется стандартом ITU G.694.1. Область применения — магистральные сети. Этот вид WDM систем предъявляет более высокие требования к компонентам, чем CWDM (ширина спектра источника излучения, температурная стабилизация источника и т. д.). Толчок к бурному развитию DWDM сетей дало появление недорогих и эффективных волоконных эрбиевых усилителей (EDFA), работающих в промежутке от 1525 до 1565 нм (третье окно прозрачности кварцевого волокна).

* 1. Схема построения оптических транспортных сетей связи

Сети SDH обладают многими отличительными особенностями:

- Гибкая иерархическая схема мультиплексирования цифровых потоков разных скоростей позволяет вводить в магистральный канал и выводить из него пользовательскую информацию любого поддерживаемого технологией уровня скорости без демультиплексирования потока в целом — а это означает не только гибкость, но и экономию оборудования. Схема мультиплексирования стандартизована на международном уровне, что обеспечивает совместимость оборудования разных производителей.

- Отказоустойчивость сети. Сети SDH обладают высокой степенью «живучести» — технология предусматривает автоматическую реакцию оборудования на такие типичные отказы, как обрыв кабеля, выход из строя порта, мультиплексора или отдельной его карты, при этом трафик направляется по резервному пути или происходит быстрый переход на резервный модуль. Переключение на резервный путь осуществляется обычно в течение 50 мс.

- Мониторинг и управление сетью на основе включаемой в заголовки кадров информации обеспечивают обязательный уровень управляемости сети вне зависимости от производителя оборудования и создает основу для наращивания административных функций в системах управления производителей оборудования SDH.

- Высокое качество транспортного обслуживания для трафика любого типа — голосового, видео и компьютерного. Лежащее в основе SDH мультиплексирование TDM обеспечивает трафику каждого абонента гарантированную пропускную способность, а также низкий и фиксированный уровень задержек.

Транспортная сеть связи – это сеть, обеспечивающая перенос разных видов информации с использованием различных протоколов передачи.

Транспортные сети можно разделить на три уровня. Сети первого уровня – локальные или местные. Они организуются в городских или сельских местностях. Сети второго уровня – региональные или внутризоновые. Третий уровень – глобальная (магистральная) сеть. При построении транспортных сетей разных уровней сохраняется единообразие в способах транспортировки информации, методах управления сетями и организации синхронизации. Различия в сетях разного уровня состоят лишь в иерархии используемых скоростей, архитектуре сетей (кольцевая, звездообразная, линейная и др.), мощности узлов кросс-коммутации. В качестве линии передачи в транспортных сетях используются волоконно-оптические линии передачи, радиорелейные и спутниковые стволы, коаксиальные кабели.

Для построения современных транспортных и корпоративных сетей любого уровня наибольшее применение находят сетевые технологии ПЦИ/ PDH, СЦИ/SDH и ATM.  В настоящее время наибольший прогресс достигнут в создании магистральных сетей на основе вышеназванных технологий. Появились новые технологии передачи IP-трафика с унифицированными соединениями IP-маршрутизаторов, использующими в качестве канальной среды такие технологии, как WDM, DWDM, SDH и ОВ в виде «темных волокон». В транспортных сетях используется иерархия скоростей передачи в соответствии с международными рекомендациями ITU-T и получившим наибольшее распространение, европейским стандартом, который применяют на сетях связи России.

Поддерживаемая технологией SDH/SONET (соответствующий американский стандарт) иерархия скоростей представлена в таблице 1.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| SDH | SONET | Скорость |
|  | STS–1, OC–1 | 51,840 Мбит/с |
| STM–1 | STS–3, OC–3 | 155,520 Мбит/с |
| STM–3 | STS–9, OC-9 | 466,560 Мбит/с |
| STM–4 | STS–12, OC–12 | 622,080 Мбит/с |
| STM–6 | STS–18, OC–18 | 933,120 Мбит/с |
| STM–8 | STS–24, OC–24 | 1,244 Гбит/с |
| STM–12 | STS–36, OC–36 | 1,866 Гбит/с |
| STM–16 | STS–48, OC–48 | 2,448 Гбит/с |

Таблица 1 – Поддерживаемые скорости SDH/ SONET

В стандарте SDH все уровни скоростей (и, соответственно, форматы кадров для этих уровней) имеют общее название: Synchronous Transport Module level N (STM-N). В технологии SONET существует два обозначения для уровней скоростей: Synchronous Transport Signal level N (STS-N) в случае передачи данных в виде электрического сигнала, и Optical Carrier level N (OC-N) в случае передачи данных по волоконно-оптическому кабелю. Далее для упрощения изложения будем ориентироваться на STM-N.

**Физический уровень.**Данный уровень образован средой передачи сигналов (волоконно-оптической линией, медной линией, радиолинией) и секциями - участками, где происходит регенерация (ретрансляция) сигналов и мультиплексирование (объединение и разделение) различных сигналов. Благодаря наличию секции регенерации (ретрансляции) удается "очистить" сигнал от искажений и помех. Организация секций мультиплексирования позволяет эффективно использовать физическую среду за счет временного разделения передачи каналов. При этом можно реализовать резервирование любой секции мультиплексирования, если предусмотреть дополнительную физическую цепь, оборудование для передачи сигналов по ней и оборудование автоматического переключения.

Физический уровень оптической транспортной сети имеет свою особенность, которая состоит в том, что все преобразования сигналов (усиление, ретрансляция, объединение и разделение, вывод и ввод) производятся исключительно оптическими средствами. Таким способом достигаются наивысшие скорости передачи информационных данных - от десятков гигабит до десятков терабит в секунду (Тбит/с). В физической среде, представляемой одномодовым стекловолокном, объединяются (мультиплексируются) множество оптических несущих частот (от 2х до 132 и более), каждая из которых модулирована информационным сигналом.

**Уровень трактов.**Тракты каждой транспортной сети создаются, чтобы обеспечить сквозное прохождение информационных сигналов. Их можно сравнить с маршрутами движения поездов на железной дороге (железнодорожные пути - это физическая среда, а крупные узловые станции подобно мультиплексорам объединяют и разделяют транспортные потоки). По маршрутам железных дорог могут следовать различные поезда и перевозить различные грузы. Аналогично в транспортной телекоммуникационной сети через физические цепи могут передаваться строго циклически цифровые потоки в виде двоичных импульсных последовательностей, сформированных из различных сигналов. Каждому сигналу отведены в циклах временные позиции. Эти позиции могут быть закреплены за соединениями - маршрутами в сети. В сети SDH маршруты прописываются в заголовках циклически передаваемых данных под названием виртуальные контейнеры (VC-12, VC-3, VC-4). При этом виртуальные контейнеры VC-12 могут быть объединены в блоки данных и помещены в виртуальные контейнеры VC-3, VC-4, имеющие большую емкость, но отправляемые также циклически, как VC-12. Это совмещение данных VC-12 и VC-3, VC-4 можно сравнить с размещением железнодорожных контейнеров на специальных платформах, которые перемещаются по железной дороге от станции формирования состава до станции его расформирования.

Тракты в сети ATM отличаются от трактов сети SDH тем, что они образуются только при наличии информационного сообщения, а в его отсутствии физические ресурсы транспортной сети отдаются для передачи других сигналов. Сравните, на место ожидавшего пассажира в пассажирском вагоне поезда может быть посажен на любой станции пассажир, следующий своим маршрутом. По этой причине путь следования данных в сети ATM называют виртуальным. Он прописывается в специальных таблицах коммутатором ATM и ячейках, переносящих информационные сообщения. По данным таблиц считываются заголовки ячеек ATM для каждого участка сети, и происходит маршрутизация групповых информационных потоков.

Маршруты в оптической транспортной сети определяются номиналами несущих частот оптического диапазона. При этом частота может быть одной и той же или изменяться на разных участках сети, однако маршрут следования информационных данных сохраняется.

**Уровень каналов.**Для любой из рассмотренных моделей транспортных сетей этот уровень выполняет функции интерфейса с вторичными сетями (коммутаторами телефонных, широкополосных, компьютерных сетей и т.д.). Как правило, на уровне каналов создаются типовые электрические и оптические интерфейсы.

Транспортные сети, построенные в соответствии с различными моделями, совместимы между собой на уровнях каналов или трактов.

Развитие инфотелекоммуникационных технологий постоянно стимулируется поиском возможностей и технологий, способных наиболее эффективно объединять сети, превращая их в мультисервисные широкополосные и сверхширокополосные. В настоящее время наибольший прогресс достигнут в создании глобальных магистральных сетей на основе технологий IP поверх ATM и IP поверх SDH. Появились новые технологии передачи IP-трафика, предусматривающие унифицированные соединения маршрутизаторов через системы и среды, такие как WDM, DWDM, «темное волокно». Примером такой технологии может быть предложенный в 1999г. компанией Cisco Systems протокол SRP (Spatial Reuse Protocol)который впоследствии стал называться DPT (Dynamic Packet Transport). В технологии DPT воплотились лучшие качества таких технологий как SDH, FDDI и др. Технология DPT позволяет избежать промежуточных протоколов других сетевых технологий, например, SDH и ATM при передаче трафика IP по волокну. К основным преимуществам технологии DPT можно отнести следующие. Применение формата SDH (уровня STM-1) позволяет передавать трафик DPT по сетям SDH, благодаря чему обеспечивается их совместимость. При этом магистральные тракты занимают полосу пропускания лишь между точками передачи и приема сигналов, что позволяет более эффективно использовать пропускную способность кольцевой топологии сети DPT. Технологии DPT присущи развитые возможности резервирования трафика за счет реализации механизмов восстановления в кольцевой топологии сети. Применение протокола IP позволяет реализовать сквозной мониторинг всей сети DPT, начиная от магистральной (транспортной) и заканчивая сетями доступа.

2.Принципы организации оптических транспортных сетей для цифровой телефонной связи

2.1 Структура местной (города) транспортной сети на базе технологии SDH

На рисунке 2 показана структура местной (города) транспортной сети на базе технологии SDH.

 

Рис. 2 Структура транспортной сети города на базе технологии SDH

Oсновным элементом сети SDH является мультиплексор. Обычно он оснащен некоторым количеством портов PDH и SDH: например, портами PDH на 2 и 34/45 Мбит/с и портами SDH STM-1 на 155 Мбит/c и STM-4 на 622 Мбит/c. Порты мультиплексора SDH делятся на агрегатные и трибутарные. Трибутарные порты часто называют также портами ввода/вывода, а агрегатные — линейными. Эта терминология отражает типовые топологии сетей SDH, где имеется ярко выраженная магистраль в виде цепи или кольца, по которой передаются потоки данных, поступающие от пользователей сети через порты ввода/вывода (т. е. втекающие в агрегированный поток: tributary дословно означает «приток»).

Мультиплексоры SDH обычно делят на терминальные (Terminal Multiplexor, TM) и ввода/вывода (Add-Drop Multiplexor, ADM). Разница между ними состоит не в составе портов, а в положении мультиплексора в сети SDH, как показано на рисунке 2. Терминальное устройство завершает агрегатные каналы, мультиплексируя в них большое количество каналов ввода/вывода (трибутарных). Мультиплексор ввода/вывода транзитом передает агрегатные каналы, занимая промежуточное положение на магистрали (в кольце, цепи или смешанной топологии). При этом данные трибутарных каналов вводятся в агрегатный канал или выводятся из него. Агрегатные порты мультиплексора поддерживают максимальный для данной модели уровень скорости STM-N, значение которой служит для характеристики мультиплексора в целом, например мультиплексор STM-4 или STM-64.



Рисунок 2 – Положение мультиплексоров в сети SDH синхронный цифровой сеть мультиплексирование

Иногда различают так называемые кросс-коннекторы (Digital Cross-Connect, DXC) — в отличие от мультиплексоров ввода/вывода, они выполняют коммутацию произвольных виртуальных контейнеров, а не только контейнера из агрегатного потока с соответствующим контейнером трибутарного потока. Чаще всего кросс-коннекторы реализуют соединения между трибутарными портами (точнее — виртуальными контейнерами, формируемыми из данных трибутарных портов), но могут применяться кросс-коннекторы и агрегатных портов, т. е. контейнеров VC-4 и их групп. Последний вид мультиплексоров пока встречается реже, чем остальные, так как его применение оправдано при большом количестве агрегатных портов и ячеистой топологии сети, а это существенно увеличивает стоимость, как мультиплексора, так и сети в целом.

Большинство производителей выпускает универсальные мультиплексоры, которые могут использоваться в качестве терминальных, ввода/вывода и кросс-коннекторов — в зависимости от набора установленных модулей с агрегатными и трибутарными портами. Однако возможности использования таких мультиплексоров в качестве кросс-коннекторов весьма ограничен, поскольку производители часто выпускают модели мультиплексоров с возможностью установки только одной агрегатной карты с двумя портами. Конфигурация с двумя агрегатными портами является минимальной, обеспечивающей работу в сети с топологией кольцо или цепь. Такая конструкция мультиплексора не слишком дорога, но способна усложнить проектирование сети, если требуется реализовать ячеистую топологию на максимальной для мультиплексора скорости.

Кроме мультиплексоров в состав сети SDH могут входить регенераторы, они необходимы для преодоления ограничений по расстоянию между мультиплексорами, зависящих от мощности оптических передатчиков, чувствительности приемников и затухания волоконно-оптического кабеля. Регенератор преобразует оптический сигнал в электрический и обратно, восстанавливая при этом форму сигнала и его временные параметры. В настоящее время регенераторы SDH применяются достаточно редко, так как стоимость их ненамного меньше стоимости мультиплексора, а функциональные возможности несоизмеримы.

В структурах VC по транспортной сети переносится исходная цифровая информация, дополненная определенным количеством служебных информационных каналов, названных трактовыми заголовками (Path Overheard - РОН). В общем случае дополнительные каналы, предназначены для эффективного управления транспортной сетью и выполняют функции передачи оперативной, административной и обслуживающей информации (Operation, Administration, Maintenance, ОАМ). Это обеспечивает высокие функциональные возможности и высокую надежность сети связи.

Группы однотипных или разнотипных виртуальных контейнеров VC передаются между элементами транспортной сети (от отправителя информации к получателю) по линиям передачи в виде информационных структур, называемых синхронными транспортными модулями (Synchronous Transport Module - STM). “Транспортирование” STM осуществляется с разными скоростями передачи соответствующим различным порядком STM-1,4, 16, 64. STM-N оснащаются соответствующими заголовками, обеспечивающими передачу STM с полной функцией ОАМ в пределах регенерационной секции (Regeneration Section ОН - RSOH) и мультиплексорной секции (Multiplex Section ОН - MSOH). Упрощенная функциональная схема системы передачи SDH, которая является основным структурным звеном транспортной сети.

«Регенерационная секция» представляет собой сегмент системы передачи между оконечным оборудованием сетевого элемента, в котором сигнал STM-N передается или принимается и регенератором, или между двумя смежными регенераторами.

«Мультиплексорная секция» - это средство передачи информации между двумя сетевыми элементами, в одном из которых формируется (собирается) сигнал STM-N, а в другом “разбирается” до компонентных потоков. В общем случае транспортная сеть SDH состоит из мультиплексорных секций, для которых уровень SDH-сигнала может быть разным в зависимости от требуемой емкости канала передачи для каждой секции.

2.2 Централизованное управление оптических транспортных сетей связи для цифровых сетей связи

Централизованное управление осуществляется из единого центра управления сетью, в который стекается вся информация управления от всех управляемых объектов. Достоинствами централизованного управления являются: концентрация всей информации о состоянии сети в одном узле управления; полная картина построения сети; простота управления правами администраторов; непротиворечивость принимаемых решений.

В то же время при большом масштабе сети централизованное управление теряет преимущества. К недостаткам следует отнести:

уязвимость системы управления;

большой объём обрабатываемой информации требует высокопроизводительных серверов;

большая часть пропускной способности каналов сети используется для передачи служебной информации центру управления.

Уровни управления

Уровни управления сетью

Система управления сетью строится иерархически и имеет следующие уровни (снизу вверх): сетевых элементов; управления элементами; управления сетью; управления обслуживанием; административного управления (рис. 2). Самый нижний уровень представляет собой саму сеть связи, т. е. объект управления.

Каждый последующий уровень имеет более высокую степень обобщения, чем предыдущий. Информация о состоянии каждого уровня передается наверх, а оттуда вниз поступают управляющие воздействия. Степень автоматизации управления может быть различной, обычно автоматизированные процедуры сочетаются с ручными. Как правило, чем выше уровень иерархии управления, тем ниже его степень автоматизации.

Уровень управления элементами включает в себя контроль, отображение параметров работы, техническое обслуживание, тестирование, конфигурирование применительно к отдельным элементам или некоторым их подмножествам.

Уровень сетевого управления позволяет охватить единым взглядом всю сеть, контролируя подмножества сетевых элементов в их взаимосвязи между собой и управляя всеми сетевыми ресурсами.

Уровень управления обслуживанием, в отличие от всех нижележащих уровней, которые непосредственно связаны с сетью, т. е. с техническими средствами, «обращен лицом» к пользователю. Здесь принимаются решения по предоставлению и прекращению услуг, ведутся соответствующие планирование и учет и т. п. Ключевым фактором на этом уровне является обеспечение качества обслуживания.

На уровне административного управления обеспечивается функционирование компании-оператора сети связи. Здесь решаются организационные и финансовые вопросы, осуществляется взаимодействие с компаниями-операторами других сетей связи.

На сегодняшний день разработанные и предлагаемые ведущими фирмами СУ сетями связи реализуют функции уровней не выше уровня управления элементами или управления сетью, а в отдельных случаях — управления обслуживанием.

Любая цифровая система в своей основе требует тактовый задающий генератор, который должен тактировать все внутренние и внешние операции по обработке цифровых данных. Наибольшие сложности в цифровых системах возникают, когда необходимо наладить взаимодействие различных в своей основе цифровых систем, т.е. систем с различными тактовыми генераторами и функциональными реализациями (системы передачи и коммутации). Даже внутри одной системы, например, системы передачи, требуется синхронизировать приемник сигнала с передатчиком (тактовый синхронизм, цикловой синхронизм, сверхцикловой синхронизм). Применение разных тактовых генераторов может повлечь за собой сбои передачи, если не произвести принудительной синхронизации генератора приемника генератором передатчика. При этом на стабильность частот генераторов на обоих концах линии цифровой передачи будут влиять различные физические факторы, которые вызывают дрожание фазы тактирующих импульсов.

Этими факторами являются:

-шум и помехи, действующие на цепь синхронизации в приемнике;

- изменение длины пути передачи сигнала, обусловленные температурными перепадами, рефракцией в атмосфере и т. д.;

- изменение скорости распространения сигналов в физической среде (в проводных и беспроводных линиях);

- нарушение регулярности поступления хронирующей информации;

- доплеровские сдвиги от подвижных оконечных устройств;

- переключения в линиях (срабатывание автоматического резервирования);

- систематические дрожания фазы цифрового сигнала, возникающие в регенераторах (повторителях).

Транспортная сеть на любом уровне иерархии может быть представлена совокупностью звеньев (двухсторонних трактов обмена информацией), которые соединяют между собой сетевые узлы (СУ). Структура местных транспортных сетей различается по уровням иерархии. Между СУ, в которых размещаются узлы и станции ТФОП, используются кольцевая, полносвязная, древовидная структуры и их комбинации. В эксплуатируемых сетях доступа реализованы древовидная и звездообразная структуры. Кольцевая топология – основная структура транспортной сети при использовании оборудования синхронной цифровой иерархии (SDH). Основные принципы SDH разработаны для повышения эффективности пропускания трафика речи. При этом не учитывалось начинающее изменение бизнес-процессов Оператора, связанное с так называемым набором трех видов обслуживания – Triple Play Service (речь, данные и видео). Очевидно, что, на уровне транспортной сети Оператору выгоднее создавать и эксплуатировать одну систему. Для общей транспортной сети, ориентированной на поддержку всех видов обслуживания (Triple Play Service), технология SDH не считается оптимальной. Предлагаемая модель учитывает намечаемый переход к IP технологии.

Нижний уровень модели – среда передачи сигналов. Для услуг типа Triple Play Service этот уровень должен быть реализован на кабелях с оптическими волокнами (ОВ) или на цифровых радиорелейных линиях (РРЛ). Обещания некоторых разработчиков сохранить в эпоху NGN старые транспортные ресурсы (аналоговые тракты, воздушные цепи и прочее) представляются неудачными маркетинговыми акциями, лишенными технического обоснования. В некоторых ситуациях в качестве среды передачи сигналов могут быть использованы двухсторонние каналы спутниковой связи. Для сетей доступа приемлемым решением можно считать комбинированные среды: ОВ и двухпроводная физическая цепь (технологии FTTx и xDSL), а также ОВ и коаксиал (HFC). В сельской местности одним из основных видов доступа становится беспроводный. Он реализуется за счет технологий WLL. На втором уровне целесообразно выделить два слоя. На нижнем слое выполняются функции формирования цифрового тракта, в качестве которого могут понадобиться тракты STM, Ethernet или основанные на иных стандартах. Верхний слой отвечает за поддержку заданных качественных показателей (QoS). Для телефонной связи при использовании тракта STM (в качестве транспортных ресурсов) и технологии коммутации каналов (в ТФОП) функции этого слоя будут нулевыми, то есть они не нужны. В мультисервисной сети поддержка показателей QoS осуществляется за счет технологий ATM, MPLS и им подобных. Третий уровень модели – IP технология, используемая для обмена всеми видами информации в форме пакетов. На этом уровне реализуются услуги предоставления требуемой пропускной способности, а также обеспечивается надежность связи. В большинстве российских городов уже построены транспортные сети (за исключением уровня доступа) на основе оборудования SDH. В некоторых случаях кабель с ОВ задействован полностью. Это означает, что у Оператора нет так называемых "темных волокон" для формирования тех транспортных ресурсов, которые не связаны с трактами STM. На  рисунке 3 показан тот подход, которым может воспользоваться Оператор для образования новых транспортных средств без создания STM трактов.



Рис. 3 Образование новых транспортных ресурсов

Из общего числа ОВ, равного K + L, выделяются два множества волокон. Первое множество, состоящее из K волокон, уплотняется, как и ранее, оборудованием SDH. Для создания необходимого числа STM трактов может использоваться оборудование компактного спектрального уплотнения DWDM. Второе множество, состоящее из L волокон, используется для создания Ethernet трактов. Эта технология – одно из оптимальных транспортных средств для Интернет и мультисервисной сети в целом.

2.3 Принципы оптических транспортных сетей для совместной передачи цифровых телефонных сигналов и передачи данных

Сегодня миллионы людей по всему миру не представляют своей жизни без интернета. Ведь посредством этой системы знания, созданные человечеством в течение своей истории, становятся достоянием каждого, вне зависимости от его местонахождения и социального статуса. Кроме того, интернет позволяет налаживать контакты между людьми, живущими на разных континентах, и организовывать взаимодействие различных государственных, коммерческих, образовательных и общественных учреждений. И это лишь краткий список возможностей одного из величайших изобретений человечества, которому всего чуть больше 45 лет. Именно поэтому большой интерес вызывает история развития интернета, так как она является уникальным примером сверхбыстрого внедрения новейших достижений науки в сферу практического решения задач, связанных с коммуникациями.

Всемирная сеть появилась в результате коллективного труда многих ученых и инженеров. Имена большинства из них, скорее всего, так и останутся неизвестными, однако некоторые личности еще при жизни были признаны отцами интернета. Кроме уже названного Дж. Ликлидера, на такое звание претендует Винтон Серф, которому, благодаря преклонному возрасту, оно более всего подходит. Он является разработчиком стека протоколов TCP/IP, на которых уже многие годы строится передача данных в сети. Еще два патриарха, которым история развития сети интернет и компьютерных технологий обязана многими своими важными станицами — Роберт Уильям Тейлор, первым осуществивший объединение четырех ЭВМ в единую сеть, и Леонард Клейнрок, разработавший принцип пакетных коммуникаций, позволяющий осуществлять скачивание медиафайлов.

Транспортные сети различаются на городскую оптическую транспортную сеть, внутризоновую оптическую транспортную сеть и на магистральную оптическую транспортную сеть. Они занимают различные позиции в иерархии и охватывают различный масштаб территории.

Для организации таких транспортных сетей в начале 2000-х годов была разработана технология и оборудование NG-SDH. Сигналы передачи данных в виде кадров Ethernet не могут в прямом виде передаваться по телефонным трактам Е1-Е4 сетей SDH. Поэтому были разработаны процедуры объединения трактов Е1 в высокоскоростные тракты для передачи пакетного трафика (кадров Ethernet ) сетей передачи данных для нового поколения NG-SDH.

Для преодоления ряда ограничений, производители SDH оборудования пошли по пути создания систем SDH следующего поколения (Next Generation SDH, NG SDH). Оборудование NG SDH имеет интегрированные интерфейсы передачи данных (в частности, Ethernet), а также использует новые технологии, которые позволяют более эффективно выделять требуемую полосу для служб данных и обеспечивать низкую стоимость внедрения этих технологий в уже существующие сети, так как поддержка дополнительной функциональности требуется только на граничных узлах сети.

Системы SDH следующего поколения — многофункцональные мультисервисные платформы, предоставляющие множество услуг без дороговизны и сложности наложенных сетей.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Функция | «Классическая» SDH | NG SDH |
| Основное назначение | Обеспечить между двумя точками TDM канал первичной сети | Обеспечить между двумя точками коридор передачи трафика IP |
| Параметры канала | Уровни PDH | Коридор произвольной пропускной способности |
| Интерфейсы доступа | PDHРек. G.703 | Произвольные. Наиболее часто 10/100/100/10000 Ethernet |

Таблица - Сравнение «классической» SDH и NG SDH

Принято считать, что система SDH относится к новому поколнию, если она включает поддержку следующих компонент:

Общая процедура разбиения на кадры (General Framing Procedure, GFP), которая обеспечивает адаптацию асинхронного трафика данных на основе кадров переменной длины к байт ориентированному трафику SDH с минимальными задержками и избыточностью заголовков; ITU-T G.7041

Виртуальная конкатенация (Virtual Concatenation, VCAT), обеспечивает возможность объединения на логическом уровне нескольких контейнеров VC-12, VC-3 или VC-4 в один канал передачи данных. ITU-T G.707, G.783

Схема регулировки емкости канала (Link Capacity Adjustment Scheme, LCAS) — позволяет реализовать любые изменения пропускной способности без прекращения передачи данных. ITU-T G.7042

Модернизация сети передачи данных даёт возможность внедрить самые передовые взаимодействующие сервисы. Это сделает сеть более эффективной и функциональной, тем самым снизив эксплуатационные затраты.

3. Принципы организации транспортных сетей для современных сетей передачи данных

Транспортная сеть, и прежде всего оптическая транспортная сеть, является основой любой реальной сети связи от магистральной до местной и в том числе сети доступа. Транспортная сеть — это универсальная неспециализированная среда доставки информационных сообщений в любом формате ( пакеты Ethernet, пакеты MPLS, циклы PDH и т.д.). Транспортная сеть — базовая сеть типовых универсальных каналов передачи, сетевых трактов и секций передачи, на основе которых формируются возможности вторичных сетей связи, обеспечивающих спектр услуг через специализированные пользовательские интерфейсы для отдельных видов услуг (телефония, Интернет, телевидение и т.д.) и интегрированных услуг (У-ЦСИС — N-ISDN, Ш-ЦСИС — B-ISDN). При этом транспортная сеть должна быть полностью прозрачной для пользовательских услуг.

Прозрачность транспортной сети закладывается при планировании и последующем детальном проектировании, которые опираются на следующие принципы:

– сеть планируется с учетом длительной перспективы (от 5 до 20 лет) ее развития и изменения;

– осуществляется учет специальных условий и требований заказчика (пользователя) транспортной сети;

– предусматривается необходимый уровень эксплуатации транспортной сети и кадровый потенциал;

– определяется существующая и перспективная нагрузка сети с подразделением на

виды и объемы предоставляемых услуг (коммутируемые каналы, коммутируемые

виртуальные каналы, пакетная передача с заданным качеством и т.д.) [12, 13];

– выбирается подходящая среда передачи (оптоволокно, стволы радиолиний, медные провода) и базовые транспортные технологии (SDH, OTH, ATM, Ethernet,

T-MPLS);

– выполняется обоснованный выбор архитектуры транспортной сети;

– обосновывается использование методов повышения надежности сети через реализацию видов защиты линейных и групповых трактов, резервирования оборудования и т.д.;

– разрабатываются схемы организации связи, синхронизации и управления;

– рассчитываются передаточные характеристики линейных трактов [1, 2, 3, 4, 5, 11];

– оптимизируется использование оборудования и линий;

– производится комплектация выбранного оборудования и оценка стоимостных показателей;

– оптимизируется сеть по стоимостным и качественным показателям при сравнении как минимум двух вариантов топологий, оборудования, линейных сооружений и т.д.

Перечень этих принципов планирования необходимо использовать при формулировании требований к проектируемой транспортной сети и ее характеристикам:

– сеть должна обеспечивать пропускную способность или базовые скорости передачи в STM-N, OTUk или волновыми каналами λi;

– сеть должна обеспечить перенос суммарного трафика в трактах магистрали (VC-12, VC-3, VC-4, VC-X-CCAT, VC-X-VCAT, ODU1, ODU2, ODU3, Ethernet на скорости 100 или 1000 Мбит/с);

– сеть должна удовлетворять заданным значениям надежности или коэффициента готовности;

– сеть должна быть расширяемой;

– сеть должна быть управляемой;

– в сети должно совмещаться оборудование различных производителей;

– сеть должна быть устойчива к повреждениям, сбоям и т.д.

Для организации транспортных сетей операторов связи, интернет-провайдеров, сотовых и ведомственных операторов мы предлагаем решения на базе хорошо известных и зарекомендовавших себя технологий:

Транспортные сети строятся на основе:

* волоконно-оптических систем связи с применением технологий:
	+ DWDM (технология плотного спектрального мультиплексирования);
	+ CWDM - использование технологии спектрального уплотнения для передачи до 16 потоков со скоростями до 2,5 Гбит/с каждый между магистральными узлами сети с возможностью ввода/вывода потоков в промежуточных узлах.
	+ SDH (синхронная цифровая иерархия) - создание транспортных сетей различной топологии между большим числом узлов со скоростями от 155 Мбит/с до 10 Гбит/с.
	+ PDH (плезиохронная цифровая иерархия) - соединение двух узлов со скоростью от 2 Мбит/с до 34 Мбит/с.
	+ ATM (Asynchronous Transfer Mode) - это транспортный механизм, ориентированный на установление соединения при передаче разнообразной информации в сети. Для этого в ATM разработана концепция виртуальных соединений (virtual connection) вместо выделенных физических связей между конечными точками в сети.;
	+ IP - построение оптических сетей передачи данных с использованием технологий Gigabit Ethernet и 10 Gigabit Ethernet.
* беспроводных систем связи с применением технологий:
	+ SDH (синхронная цифровая иерархия) - создание транспортных сетей различной топологии между большим числом узлов со скоростями от 155 Мбит/с до 10 Гбит/с.
	+ PDH (плезиохронная цифровая иерархия) - соединение двух узлов со скоростью от 2 Мбит/с до 34 Мбит/с.
	+ IP - построение сетей передачи данных с использованием технологий Ethernet.
	+ FSO - беспроводные оптические каналы связи. В качестве среды передачи используется луч лазера распространяющийся в свободном пространстве. Скорости передачи в таких системах могут превышать 1 Гбит/с. Преимущество перед другими беспроводными системами у FSO в том, что она работает в диапазоне более 400 ГГц и для её применения не требуется получать разрешения на использование частот. Возможна организация пролётов длиной до 2 км;
* проводных систем связи с применением технологий:
	+ SDH (синхронная цифровая иерархия) - создание транспортных сетей различной топологии между большим числом узлов со скоростями от 155 Мбит/с до 10 Гбит/с.
	+ PDH (плезиохронная цифровая иерархия) - соединение двух узлов со скоростью от 2 Мбит/с до 34 Мбит/с.
	+ ATM ( Asynchronous Transfer Mode) - это транспортный механизм, ориентированный на установление соединения при передаче разнообразной информации в сети. Для этого в ATM разработана концепция виртуальных соединений (virtual connection) вместо выделенных физических связей между конечными точками в сети.;
	+ IP - построение оптических сетей передачи данных с использованием технологий Gigabit Ethernet.
	+ xDSL – организация транспортных потоков Е1 по медному кабелю с помощью систем передачи Megatrans. Длина регенерационного участка - до 26 км, общая длина линии - до 300 км, совместная работа с АСП по двухкабельной схеме.

При выборе решения по построению транспортных сетей важно учитывать следующие критерии:

* пропускная способность;
* отказоустойчивость;
* скорость восстановления;
* масштабируемость;
* прозрачность;
* гибкость;
* управляемость.

Транспортные сети предоставляют пользователям возможность передавать большие объёмы разрозненного трафика с различным, оговоренным заранее, качеством обслуживания.

**Заключение**

Подводя итоги курсовой работы оптической транспортной сети необходимо подчеркнуть перспективные ключевые составляющие процесса.

 1. Технологии транспортных сетей продолжают развиваться. Готовятся стандарты: на скоростной режим передачи 100Гбит/с для Ethernet; на скоростной режим передачи 120Гбит/с для OTN-OTH (OТU-4). Внедряется технология квадратурной фазовой манипуляции с двойной поляризацией сигнала (DPQ-PSK, Dual Polarization Quadrature Phase Shift Keying), которая позволяет поддержать высокоскоростные режимы на протяженных участках волоконно-оптических систем передачи. Внедряется активная компенсация дисперсионных искажений в протяженных оптических линиях и упреждающая коррекция ошибок (FEC). Все шире используются рамановские усилители и полностью оптические регенераторы 2R, 3R. Происходит распространение оптических коммутаторов и интегрированных реконфигурируемых оптических мультиплексоров IROADM и т.д.

 2. Технологии оптических сетей вплотную приблизились к пользовательским терминалам, прежде всего, благодаря технологиям FTTx. При этом в распоряжение пользователя поступает сетевое окончание на скорости от 100Мбит/с до 1000Мбит/с.

3. Принципы развития транспортных сетей определяются тремя группами факторов – организационных, экономических и технических.
 4. Всё шире используются системы передачи мультиплексирования с разделением по длине волны (CWDM и DWDM) на различных участках транспортных сетей: от магистрального до доступа.

**Список использованных источников:**

1. Фокин В.Г. Оптические системы передачи и транспортные сети. –М.: Эко- Трендз, 2008.- 288с.

 2. Волоконно-оптическая техника;современное состояние и новые перспективы.3-е издание,переработанное и дополненное. / Сб. статей под ред.

Дмитриева С.А. и Слепова Н.Н. М.: Техносфера,2010.- 608 с.

4. Фриман Р. Волоконно-оптические сети. -3-е издание. –М.: Техносфера, 2007.- 496с.

 5. Заславский К.Е. Волоконно-оптические системы передачи со спектральным уплотнением. Учебное пособие УМО. – Новосибирск, СибГУТИ, 2005. -136с.

 6. Листвин А.В., Листвин В.Н., Швырков Д.В. Оптические волокна для линий связи.–М.: ЛЕСАР арт, 2003. -288с.

7. Слепов Н.Н. Англо-русский толковый словарь сокращений в области связи, компьютерных и информационных технологий. – М.: Радио и связь, 2005.-800с.

8. ГОСТ 21.406-88. Обозначение устройств СЦИ. 9. Гринфилд Д. Оптические сети.–М.: Тид-Дс, 2002.-256с.

 10. Технические рекомендации по применению оптических волокон фирмы Fujikura на волоконно-оптических сетях Российской Федерации. ОАО СКТБ- ТОМАСС. 2007.-39с.

11. Бакланов И.Г. SDH-NGSDH: практический взгляд на развитие транспортных сетей.-М.: Метротек, 2006.-736с.

12. Ершов В.А., Кузнецов Н.А. Мультисервисные телекоммуникационные сети.–М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003.-432с.

13. Синепол В.С., Цикин И.А. Системы компьютерной видеоконференцсвязи.- М.: ООО «Мобильные коммуникации», 1999. -166с.

14. Шмалько А.В. Цифровые сети связи. Основы планирования и построения.– М.: Эко-Трендз, 2001.-282с.

 15. Фокин В.Г. Малинкин В.Б. Технологии транспортных сетей последнего поколения. Учебное пособие УМО. – Новосибирск, СибГУТИ, 2006.–132с.

16. Безопасность в электросвязи и информационных технологиях. Обзор содержания и применения действующих Рекомендаций МСЭ-Т для обеспечения защищенной электросвязи. – ITU, 2006.-130с.

17. Щербо В.К. Стандарты вычислительных сетей. Справочник. -М.: Кудиц- Образ, 2000.-272с.

 18. Телекоммуникационные системы и сети. Том 3. Мультисервисные сети./Величко В.В, Субботин Е.А., Шувалов В.П., Ярославцев А.Ф./ Учебное пособие УМО.-М.: Горячая линия - Телеком, 2005.-592с.

19. Назаров А.Н., Разживин И.А., Симонов М.В. АТМ: Технические решения создания сетей. – М.: Горячая линия - Телеком, 2001.-376с.

20. Назаров А.Н. Модели и методы расчета структурно-сетевых параметров АТМ сетей. –М.: Горячая линия – Телеком, 2002.

21. Инструкция по паспортизации и эксплуатации ВОЛП с использованием аппаратуры спектрального уплотнения и синхронной цифровой иерархии. – М.: ЦНИИС - РОСТЕЛЕКОМ, 2007.-175с. 202

 22. Сухман С.М., Бернов А.В., Шевкопляс Б.В. Синхронизация в телекоммуникационных системах. Анализ инженерных решений. – М.: Эко- Трендз, 2013.-272с.