

37. Технологии цифровых выделенных линий

Цифровые выделенные линии образуются путем постоянной коммутации в первичных сетях, построенных на базе коммутационной аппаратуры, работающей на принципах разделения канала во времени – TDM. Существуют два поколения технологий цифровых первичных сетей - технология плезиохронной («плезио» означает «почти», то есть почти синхронной) цифровой иерархии (Plesiochronic Digital Hierarchy, PDH) и более поздняя технология - синхронная цифровая иерархия (Synchronous Digital Hierarchy, SDH). В Америке технологии SDH соответствует стандарт SONET.

Технология плезиохронной цифровой иерархии PDH. Цифровая аппаратура мультиплексирования и коммутации была разработана в конце 60-х годов компанией AT&T для решения проблемы связи крупных коммутаторов телефонных сетей между собой. Для решения этой задачи была разработана аппаратура T1, которая позволяла в цифровом виде мультиплексировать, передавать и коммутировать (на постоянной основе) данные 24 абонентов. Так как абоненты по-прежнему пользовались обычными телефонными аппаратами, то есть передача голоса шла в аналоговой форме, то мультиплексоры T1 сами осуществляли оцифровывание голоса с частотой 8000 Гц и кодировали голос с помощью импульсно-кодовой модуляции (Pulse Code Modulation, PCM). В результате каждый абонентский канал образовывал цифровой поток данных 64 Кбит/с. Для соединения магистральных АТС каналы T1 представляли собой слишком слабые средства мультиплексирования, поэтому в технологии была реализована идея образования каналов с иерархией скоростей. Четыре канала типа T1 объединяются в канал следующего уровня цифровой иерархии - T2, передающий данные со скоростью 6,312 Мбит/с, а семь каналов T2 дают при объединении канал T3, передающий данные со скоростью 44,736 Мбит/с. Аппаратура T1, T2 и T3 может взаимодействовать между собой, образуя иерархическую сеть с магистральными и периферийными каналами трех уровней скоростей. Аналогом каналов T в международном стандарте являются каналы типа E1, E2 и E3 с другими скоростями - соответственно 2,048 Мбит/с, 8,448 Мбит/с и 34,368 Мбит/с

Мультиплексор T1 обеспечивает передачу данных 24-х абонентов со скоростью 1,544 Мбит/с в кадре, имеющем достаточно простой формат. В этом кадре последовательно передается по одному байту каждого абонента, а после 24-х байт вставляется один бит синхронизации. Сегодня мультиплексоры и коммутаторы первичной сети работают на централизованной тактовой частоте, распределяемой из одной точки всей сети. Однако принцип формирования кадра остался, поэтому биты синхронизации в кадре по-прежнему присутствуют. Суммарная скорость пользовательских каналов составляет $24 \times 64 = 1,536$ Мбит/с, а еще 8 Кбит/с добавляют биты синхронизации. В аппаратуре T1 назначение восьмого бита каждого байта в кадре разное и зависит от типа передаваемых данных и поколения аппаратуры. При передаче голоса в сетях T1 все 24 канала являются абонентскими, поэтому управляющая и контрольная информация передается восьмым (наименее значащим) битом замеров голоса. При передаче компьютерных данных канал T1 предоставляет для пользовательских данных только 23 канала, а 24-й канал отводится для служебных целей, в основном - для восстановления искаженных кадров. Для одновременной передачи как голосовых, так и компьютерных данных используются все 24 канала, причем компьютерные данные передаются со скоростью 56 Кбит/с. Техника использования восьмого бита для служебных целей получила название «кражи бита» (bit robbing). При мультиплексировании 4-х каналов T1 в один канал T2 между кадрами DS-1 по-прежнему используется один бит синхронизации, а кадры DS-2 (которые состоят из 4-х последовательных кадров DS-1) разделяются 12 служебными битами, которые предназначены не только для разделения кадров, но и для их синхронизации. Соответственно, кадры DS-3 состоят из 7 кадров DS-2, разделенных служебными битами.

Физический уровень технологии PDH поддерживает различные виды кабелей: витую пару, коаксиальный кабель и волоконно-оптический кабель. Основным вариантом абонентского доступа к каналам T1/E1 является кабель из двух витых пар с разъемами RJ-48. Две пары требуются для организации дуплексного режима передачи данных со скоростью 1,544/2,048 Мбит/с. Для представления сигналов используется: в каналах T1 биполярный потенциальный код B8ZS, в каналах E1-биполярный потенциальный код HDB3. Для усиления сигнала на линиях T1 через каждые 1800 м (одна миля) устанавливаются регенераторы и аппаратура контроля линии.

Коаксиальный кабель благодаря своей широкой полосе пропускания поддерживает канал T2/E2 или 4 канала T1/E1. Для работы каналов T3/E3 обычно используется либо коаксиальный кабель, либо волоконно-оптический кабель, либо каналы СВЧ.

PDH обладают несколькими недостатками.

Одним из основных недостатков является сложность операций мультиплексирования и демultipлексирования пользовательских данных. Сам термин «плезиохронный», используемый для этой технологии, говорит о причине такого явления - отсутствии полной синхронности потоков данных при объединении низкоскоростных каналов в более высокоскоростные. Другим существенным недостатком технологии PDH является отсутствие развитых встроенных процедур контроля и управления сетью.

Служебные биты дают мало информации о состоянии канала, не позволяют его конфигурировать и т. п. Нет в технологии и процедур поддержки отказоустойчивости, которые очень полезны для первичных сетей, на

основе которых строятся ответственные междугородные и международные сети. Третий недостаток состоит в слишком низких по современным понятиям скоростях иерархии PDH. Волоконно-оптические кабели позволяют передавать данные со скоростями в несколько гигабит в секунду по одному волокну, что обеспечивает консолидацию в одном кабеле десятков тысяч пользовательских каналов, но это свойство технология PDH не реализует - ее иерархия скоростей заканчивается уровнем 139 Мбит/с. Все эти недостатки устранены в новой технологии первичных цифровых сетей, получившей название *синхронной цифровой иерархии Synchronous Digital Hierarchy, SDH*.

Была разработана компанией Bellcore под названием «Синхронные оптические сети» - Synchronous Optical NETs, SONET. Первый вариант стандарта появился в 1984 году. Основной целью разработчиков международного стандарта было создание такой технологии, которая позволяла бы передавать трафик всех существующих цифровых каналов (как американских T1 - T3, так и европейских E1 - E3) в рамках высокоскоростной магистральной сети на волоконно-оптических кабелях и обеспечила бы иерархию скоростей, продолжающую иерархию технологии PDH, до скорости в несколько гигабит в секунду.

В стандарте SDH все уровни скоростей (и, соответственно, форматы кадров для этих уровней) имеют общее название: STM-n - Synchronous Transport Module level n. В технологии SONET существуют два обозначения для уровней скоростей: STS-n - Synchronous Transport Signal level n, употребляемое при передаче данных электрическим сигналом, и OC-n - Optical Carrier level n, употребляемое при передаче данных световым лучом по волоконно-оптическому кабелю. Форматы кадров STS и OC идентичны.

Стандарт SONET начинается со скорости 51,84 Мбит/с, а стандарт SDH - со скорости 155,52 Мбит/с, равной утроенной начальной скорости SONET. Международный стандарт определил начальную скорость иерархии в 155,52 Мбит/с, чтобы сохранялась стройность и преемственность технологии SDH с технологией PDH - в этом случае канал SDH может передавать данные уровня DS-4, скорость которых равна 139,264 Мбит/с. Любая скорость технологии SONET/SDH кратна скорости STS-1. Некоторая избыточность скорости 155,52 Мбит/с для передачи данных уровня DS-4 объясняется большими накладными расходами на служебные заголовки кадров SONET/SDH.

Кадры данных технологий SONET и SDH, называемые также циклами, по форматам совпадают, естественно начиная с общего уровня STS-3/STM-1.