

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
« МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ»

Кафедра радиотехнических устройств

А.Л. Горбунов

ПЕРЕДАЧА ДИСКРЕТНЫХ СООБЩЕНИЙ

Пособие по выполнению практических занятий
для студентов 3 курса специальности 090106

Москва – 2010

Данное пособие по выполнению практических занятий по дисциплине "Передача дискретных сообщений" издается в соответствии с учебной программой для студентов третьего курса очного обучения специальности 090106.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры РТУ от _____ г.
и методического совета от _____ г.

Научный редактор канд. техн. наук, проф.. В.Г. Сергеев.

Вводные замечания

Первая часть настоящего Пособия содержит отсутствующие в доступной на момент издания учебной литературе по дисциплине «Передача дискретных сообщений» сведения по технологии Synchronous Digital Hierarchy (SDH). Несмотря на обострившуюся в последнее время конкуренцию со стороны IP-сетей, SDH составляет основу подавляющего большинства современных цифровых систем передачи дискретных сообщений и будет продолжать оставаться таковой в течение ближайших лет.

Вторая часть включает наборы контрольных задач и вопросов для практических занятий, часть которых касается тематики SDH.

1. Технология синхронной цифровой иерархии - Synchronous Digital Hierarchy (SDH)

Канал связи

Канал связи организуется между приемником и передатчиком для передачи сигналов различной природы (голос, факсимильные сообщения, данные и пр.) по линиям связи, которые являются физической средой направляющей распространение сигнала. Основные характеристики канала связи — ширина полосы пропускания и уровень допустимых искажений сигнала, которые и определяют емкость канала связи (количество информации, передаваемой в единицу времени) По типу передаваемого сигнала различают аналоговые и цифровые каналы.

Аналоговый сигнал имеет, как правило, очень сложную форму как во времени, так и в пространстве и математически может быть представлен как сумма синусоидальных сигналов с различными амплитудами и частотами.

Цифровой сигнал – последовательность импульсов с дискретным набором уровней сигнала (обычно не более трех) и заданной частотой следования.

По сравнению с аналоговыми, цифровые методы передачи имеют ряд преимуществ среди которых:

- высокая помехоустойчивость;

- слабая зависимость качества передачи от длины линии связи, так как искажения передаваемых сигналов при регенерации оказываются ничтожными;
- возможность построения цифровых сетей связи на базе оборудования, имеющего высокую степень унификации узлов;
- высокая эффективность при передаче данных.

Начало использования цифровых каналов связано не с передачей данных, а с внедрением систем цифровой телефонии, используемых для передачи голоса. Поэтому структура и характеристики этих каналов тесно связаны с технологиями передачи голоса и их появление было связано со стремлением устранить недостатки, присущие каналам тональной частоты (ТЧ каналам), которые повсеместно использовались в системах телефонной связи. Поэтому прежде чем перейти к описанию цифровых каналов связи необходимо несколько слов сказать об их предшественниках – ТЧ каналах.

Стандартный телефонный канал (канал ТЧ)

Стандартный канал ТЧ является единицей измерения емкости систем передачи и используется для передачи телефонных сигналов, а также сигналов данных, факсимильной и телеграфной связи. Требования, которые предъявлялись к каналам ТЧ, при их стандартизации были прежде всего связаны с обеспечением качественной передачи голосовых сообщений. Так, для передаваемого речевого сигнала, была установлена полоса частот в диапазоне от 300 до 3400 Гц, что соответствовало 90% уровню разборчивости слов и 99% уровню разборчивости фраз, при этом сохранялась удовлетворительная натуральность звучания. Для организации каждого канала в первых системах телефонной связи использовались отдельные линии связи. Позднее появились технологии, позволяющие передавать по одной линии связи несколько телефонных каналов, которые получили название мультиплексирование.

Наиболее применимым методом мультиплексирования в системах аналоговой связи, является мультиплексирование с частотным разделением каналов. В этом методе из исходных сигналов с помощью систем амплитудного модулирования и полосовых фильтров формируют сигналы, спектры которых занимают неперекрывающиеся диапазоны частот и образуют результирующий сигнал. Так, при объединении телефонных сигналов в групповой, каждый из них занимает в групповом сигнале полосу в 4 КГц (рис. 1). На базе ТЧ каналов стандартизированы различные

групповые тракты, среди них первичный К-12 (12 каналов, 60 – 180 КГц), вторичный К-60 (60 каналов, 312 – 552 КГц), третичный К-300 (300 каналов, 812 – 2044 КГц).

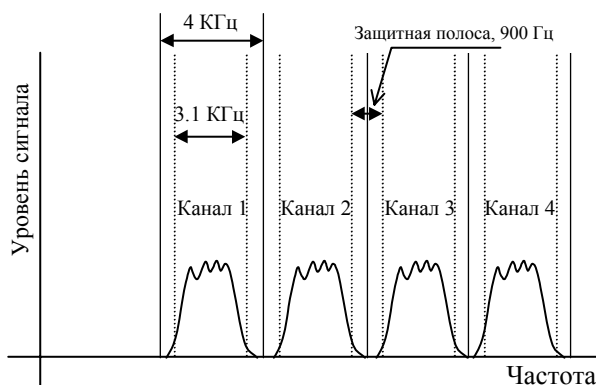


Рис. 1. Схема уплотнения с частотным разделением каналов

1.1 Основной цифровой канал

Внедрение систем цифровой телефонии вызвало необходимость представления аналогового сигнала в цифровой форме. Метод, принятый связистами для преобразования аналогового сигнала к цифровому носит название импульсно-кодовой модуляции (ИКМ). В англоязычной литературе этот термин имеет аббревиатуру PCM – Puls Code Modulation. Суть этого метода состоит сначала в дискретизации аналогового сигнала, когда он представляется в виде последовательности отсчетов уровня сигнала взятых периодически с определенной частотой (частотой дискретизации), и последующем квантовании, когда каждому отсчету ставится в соответствие численное значение.

Частота дискретизации должна быть такой, чтобы на приемном конце канала можно было восстановить исходный сигнал. Для сигнала с ограниченным спектром, согласно теореме Котельникова, это возможно, если частота дискретизации не менее чем в два раза превышает максимальную частоту в спектре сигнала. Так, при аналогово-цифровом преобразовании стандартного телефонного сигнала, спектр которого ограничен частотой в 4 КГц, частота дискретизации равна 8 КГц, а численное значение каждой выборки представляют в виде 8 битного двоичного кода. Поэтому для передачи стандартного телефонного сигнала организуется цифровой канал скорость передачи данных в котором равна $8 \text{ КГц} \times 8 \text{ бит} = 64 \text{ Кбит/сек}$. Этот канал называется основным цифровым

каналом или DS0 (Digital Signal level zero), он является тем строительным "кирпичиком", на базе которого создаются более мощные цифровые системы передач, емкость которых измеряется числом DS0, содержащихся в них.

Проблемы синхронизации. Кодирование данных в канале.

Двоичные последовательности при посылке в линию связи кодируются последовательностью импульсов и пауз. Передача этих последовательностей в линию связи или их считывание в приемопередающих устройствах привязано к тактовым импульсам, которые вырабатывают тактовые генераторы этих устройств. Для того, чтобы битовые последовательности считывались на принимающем конце без ошибок, тактовые генераторы приемника и передатчика должны быть синхронизированы. Тактовый сигнал, используемый для синхронизации, может быть получен от отдельного источника, либо выделен из передаваемого информационного сигнала. С этой целью, а также с целью уменьшить влияние искажений при передаче через линию связи применяют особые методы кодирования данных в канале связи.

Мультиплексирование с временным разделением каналов

В цифровых системах связи для передачи нескольких цифровых сигналов по одной линии связи, также, как и в аналоговых системах, применяется мультиплексирование, но используется иной метод, называемый мультиплексированием с временным разделением каналов. В англоязычной литературе эквивалентный термин — Time Division Multiplexing (TDM).

Схематично эта процедура выглядит следующим образом: на вход мультиплексора подается n двоичных последовательностей, мультиплексор поочередно отбирает из этих входных каналов заданную последовательность бит, составляя из них выходную последовательность. Непрерывную последовательность бит в выходном потоке, принадлежащую определенному входному каналу, называют канальным интервалом или тайм-слотом. На практике наиболее употребительными являются схемы мультиплексирования с байт-интерливингом, когда канальный интервал состоит из 8 бит, либо с бит-интерливингом, когда на выход последовательно коммутируется по одному биту из каждого канала.

Для того, чтобы демultipлексировать полученную последовательность, на принимающем конце линии связи тактовой синхронизации недостаточно, так как в получаемом потоке бит необходимо еще привязаться к началу первого канального интервала. С этой целью при формировании уплотненного потока в него с определенной периодичностью вставляют фиксированную битовую последовательность, которая вместе с группой канальных интервалов, следующих за ней и содержащих равное количество интервалов из каждого входного потока, образует кадр или фрейм (рис. 2).

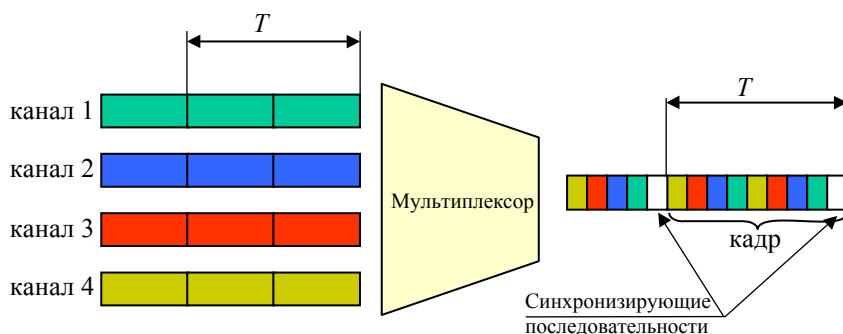


Рис. 2. Схема мультиплексирования с временным разделением каналов

Выделяя эту битовую последовательность, принимающая аппаратура может привязаться к началу каждого кадра в последовательности бит. Такой вид синхронизации называют кадровой или цикловой синхронизацией. Часто в цифровых системах несколько кадров объединяют в структуру, называемую сверхкадром (или сверхциклом). Для правильного приема таких структур, кроме тактовой и кадровой синхронизаций, необходима еще и сверхкадровая синхронизация.

Первая система передачи голоса, использующая ИКМ и мультиплексирование с временным разделением каналов, была установлена в 1957 году компанией Bell System. В одном канале было объединено 24 цифровых потока по 64 Кбит/сек, что с учетом бита для кадровой синхронизации и частоте следования кадров 8 КГц дало цифровой поток со скоростью $24 \times 64 + 8 = 1544$ Кбит/сек, который в дальнейшем был стандартизирован и теперь известен как канал DS1 (Digital Signal level one) или T1.

В Европе (в том числе и в России) в качестве стандартной была принята иная схема объединения каналов DS0 в первичный цифровой канал, известный, как канал E1.

1.2 Первичный цифровой канал E1

Канал E1 объединяет 32 канала DS0, два из которых используются для кадровой синхронизации и передачи сигнализации. Кадр этого потока состоит из 32 тайм-слотов по 8 бит каждый. Частота следования кадров 8 КГц, что дает скорость потока $32 \times 8 \times 8 = 2048$ Кбит/сек. Кадры потока E1 объединяются в сверхкадр. Количество кадров в сверхкадре зависит от типа используемой в потоке E1 сигнализации. Под сигнализацией, здесь понимается информация, необходимая сетевым элементам, для выполнения их функций, например, установка и отбой телефонных соединений. Наиболее употребительны два типа сигнализации: CAS (Channel Associated Signalling), CCS (Common Channel Signaling).

В первом случае сверхкадр состоит из 16 кадров (с 0 по 15), занимая 2 мсек интервал. Таймслот 0 (TS0) используется для передачи битов покадровой синхронизации и другой служебной информации. Таймслот 16 (TS16) в кадрах начиная с первого используется для передачи сигнализации связанной с каждым из каналов (отсюда и название Channel Associated Signaling). Оставшиеся таймслоты используются для передачи информации. Таймслоты с 1 по 15 соответствуют каналам с 1 по 15, а таймслоты с 17 по 31 соответствуют каналам с 16 по 30. При этом распределение сигнализации TS16 по каналам происходит следующим образом: старшие 4 бита TS16 кадра 1 в сверхкадре соответствуют сигнализации 1 канала, младшие 4 бита — сигнализации 16 канала; старшие 4 бита TS16 кадра 2 в сверхкадре соответствуют сигнализации 2 канала, младшие — сигнализации 17 канала и т.д. В нулевом кадре сверхкадра таймслот 16 используется для организации сверхкадровой синхронизации. Соответствие между таймслотами и каналами показано в таблице 1. Более подробно распределение служебных битов в таймслотах 0 и 16 показано на 3.

Таблица 1

Тайм слот	0 1 2 3 ...	15 16 17 ...	29 30 31
Канал	F 1 2 3 ...	15 S 16 ...	28 29 30

Один сверхкадр = 16 кадров

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----

Один кадр = 32 таймслота

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

i | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | -TS0, четный кадр

0 | 0 | 0 | 0 | x | y | x | x | - TS16, кадр 0

I | I | r | n | n | n | n | n | -TS0, нечетный кадр

a | b | c | d | a | b | c | d | - TS16, кадры с 1 по 15

i - бит зарезервированный для международного использования

r - бит-индикатор аварии на дальнем конце

n - биты, зарезервированные для национального использования

abcd - биты сигнализации для речевых каналов

y - бит-индикатор аварии сверхкадровой синхронизации

Рис. 3. Структура тракта E1

В случае общеканальной (CCS) сигнализации, сверхкадр состоит из двух кадров. Таймслот 0 используется для организации кадровой синхронизации, как и в CAS, а таймслот 16 используется, как канал сигнализации общий для всего потока. Если поток E1 используется только для передачи данных, где сигнальная информация передается в заголовках пакетов данных и отдельный тайм-слот для этого не нужен, то 16 тайм-слот можно задействовать для передачи данных и он будет соответствовать каналу 31.

Плезиохронная цифровая иерархия

Метод мультиплексирования с разделением по времени может быть применен и для первичных цифровых каналов E1 или T1. Несколько таких каналов могут быть объединены в один канал с более высокой скоростью передачи в так называемый вторичный цифровой канал. Несколько вторичных каналов, аналогичным образом, могут быть объединены в еще более высокоскоростной третичный канал и т.д. Таким образом можно сформировать различные иерархические наборы скоростей передачи, в зависимости от количества цифровых потоков, подаваемых на вход мультиплексора на каждом этапе мультиплексирования.

Наибольшее распространение получили две иерархии: североамериканская и европейская. В таблице 2 представлены скоростные ряды и схемы мультиплексирования для каждой из иерархий.

Таблица 2

Уровень сигнала	Североамериканская иерархия			
	Название сигнала	Скорость, Кбит/сек	Схема мультиплексирования	Кол-во голосовых каналов
1	DS1 (T1)	1544	24DS0 —> T1	24
2	DS2 (T2)	6312	4T1 —> T2	96
3	DS3 (T3)	44736	7T2 —> T3	672
	Европейская иерархия			
1	E1	2048	30DS0 —> E1	30
2	E2	8448	4E1 —> E2	120
3	E3	34368	4E2 —> E3	480
4	E4	139246	4E3 —> E4	1920

Скорости цифровых потоков одной и той же ступени иерархии, которые образованы цифровыми системами передачи, расположенными на различных узлах сети и имеющие независимые источники синхронизации, могут несколько отличаться в пределах допустимой нестабильности тактовых генераторов. Так как эта нестабильность невелика, то объединяемые потоки называют плезиохронными («почти синхронными»),

а иерархию цифровых систем на основе объединения плезиохронных потоков называют плезиохронной цифровой иерархией (Plesiochronous Digital Hierarchy – PDH).

Для объединения таких потоков используется схема мультиплексирования с бит-интерливингом, а для выравнивания скоростей, через несколько тысяч бит, когда расхождения накапливаются, используется либо вставка бит (стаффинг), либо исключение бит ("исключенные" биты передают в битах служебной информации). Этот процесс называется согласованием скоростей. Для того, чтобы правильно демультиплексировать такой поток, кроме синхронизирующей последовательности бит, он содержит дополнительные служебные биты в которых передается информация о согласовании скоростей. Так в канале E2 количество служебной информации (вместе с синхронизирующей последовательностью) составляет 32 бита на кадр, частота следования кадров как и у E1 – 8 КГц, что дает результирующую скорость потока $2048 \times 4 + 32 \times 8 = 8448$ Кбит/сек, E3 содержит 36 бит служебной информации, но частота следования кадров у него 16 КГц, что в два раза выше, чем у E1 или E2, поэтому его скорость равна $8448 \times 4 + 36 \times 16 = 34368$ Кбит/сек, у E4 частота следования кадров 64 КГц, служебных бит 28, что дает $34368 \times 4 + 28 \times 64 = 139264$ Кбит/сек.

G.703

Для стыковки элементов цифровых сетей необходимо наличие в них стандартных интерфейсов, регламентирующих назначение, разводку сигналов, их характеристики. Наиболее известные интерфейсы, используемые для стыковки цифровой аппаратуры – RS-232, X.21, V.35. В системах PDH используется интерфейс, физические и электрические характеристики которого описаны в рекомендации ITU-T G.703. G.703 включает характеристики интерфейсов для скоростей, соответствующих каналу DS0 и цифровым иерархиям: американской и европейской, а также описан электрический интерфейс на скорость 155.52 Мбит/сек, соответствующий первой ступени иерархии SDH, речь о которой пойдет ниже.

Для каждой из вышеперечисленных скоростей G.703 регламентирует более десятка параметров, такие, как тип линейного кодирования, амплитуды импульса и паузы, форма импульса, тип используемой пары (коаксиальная или симметричная), нагрузочный импеданс и др.

Так, для скорости 64 Кбит/сек стандартом определено три типа организации взаимодействия между терминальными устройствами: сонаправленный (оба терминала равноправны, информационный и тактовый сигнал направлены в одну сторону), разнонаправленный (один терминал управляющий, другой подчиненный, тактовый сигнал направлен от управляющего терминала к подчиненному), интерфейс с центральным тактовым генератором (терминалы получают тактовые сигналы от внешнего источника). Отметим, что во всех трех случаях информационный сигнал симметричен и передается от каждого терминала к каждому. В таблице 3 приведены некоторые характеристики G.703 для европейских систем PDH.

Таблица 3

Скорость, Кбит/сек	2048	8448	34368	139264
Тип кода	HDB3	HDB3	HDB3	CMI
Импеданс, Ом	75 (коакс.), 120 (симм.)	75	75	75

Отметим, что для сигналов со скоростями $n \times 64$ Кбит/сек ($n=2, 3, \dots, 31$), передаваемых через оборудование PDH, характеристики интерфейса те же, что и у интерфейса для 2048 Кбит/сек.

Синхронная цифровая иерархия – Synchronous Digital Hierarchy (SDH)

Системы PDH стали применяться не только для организации телефонных каналов, но и для передачи данных. Однако наличие в PDH потоков выравнивающих битов, делает невозможным прямое извлечение из потока, составляющих его компонентов. Так, чтобы извлечь из потока E4 поток E1 необходимо демультиплексировать E4 на четыре E3, затем один из E3 на четыре E2, и только после этого можно вывести требуемый E1. А для организации ввода/вывода требуется трехуровневое демультиплексирование, а затем трехуровневое мультиплексирование. Понятно, что использование систем PDH в сетях передачи данных, требует большого количества мультиплексоров, что значительно удорожает сеть и усложняет ее эксплуатацию.

Этот недостаток можно устранить, если объединяемые потоки будут синхронными, для чего оборудование этих сетей должно использовать синхронизацию от одного высокоточного источника.

В 80-х годах прошлого века были разработаны стандарты (ITU-T G.707, G.708, G.709) на иерархию синхронной оптической сети SONET в США и в Европе на синхронную цифровую иерархию SDH для использования на волоконно-оптических линиях связи, а также стандарты на соответствующие интерфейсы, необходимые для стыковки оборудования.

В сетях SDH, как и в SONET, используются синхронные схемы передачи с байт-интерливингом при мультиплексировании. В качестве формата основного сигнала первого уровня в иерархии SDH был принят синхронный транспортный модуль STM-1, скорость передачи которого 155.52 Мбит/сек. Мультиплексирование с коэффициентом кратности 4 дает следующий ряд скоростей SDH иерархии: STM-4, STM-16, STM-64 или соответственно 622.08, 2488.32, 9953.28 Мбит/сек. Ряд скоростей SONET начинается с сигнала OC-1, имеющего скорость 51.84 Мбит/сек, а далее сигналы OC-3, OC-12, OC-48 и т.д. совпадают по скорости с STM-1, STM-4, STM-16 и т.д. Отметим, что выбор скорости 155.52 Мбит/сек для STM-1 (или 51.84 для OC-1) был неслучаен. Это было сделано при разработке стандартов SONET/SDH для "примирения" американской и европейской систем PDH и позволило мультиплексировать потоки, как одной, так и другой иерархий в STM-1.

Мультиплексирование STM-1 в STM-N может осуществляться как каскадно: $4 \times \text{STM-1} = \text{STM-4}$, $4 \times \text{STM-4} = \text{STM-16}$, $4 \times \text{STM-16} = \text{STM-64}$, так и непосредственно: $4 \times \text{STM-1} = \text{STM-4}$, $16 \times \text{STM-1} = \text{STM-16}$, $64 \times \text{STM-1} = \text{STM-64}$. Кадр STM-1 имеет 2430 байт и представляется в виде матрицы размером в 9 строк и 270 столбцов (Рис. 3). Первые 9 столбцов составляют байты секционного заголовка (Section Overhead – SOH), которые содержат байты служебных каналов, индикации ошибок передачи, управления синхронизацией, идентификации наличия STM-1 в кадре STM-N, а также указатель на начало административного блока в поле полезной нагрузки, в котором размещаются виртуальные контейнеры четвертого или третьего уровней (речь о них пойдет ниже). Поле полезной нагрузки состоит из оставшихся 261 столбца. Учитывая, что частота следования кадров STM-1 равна 8 КГц, получаем скорость полезной нагрузки $9 \times 261 \times 8 \times 8 = 150336$ Кбит/сек.

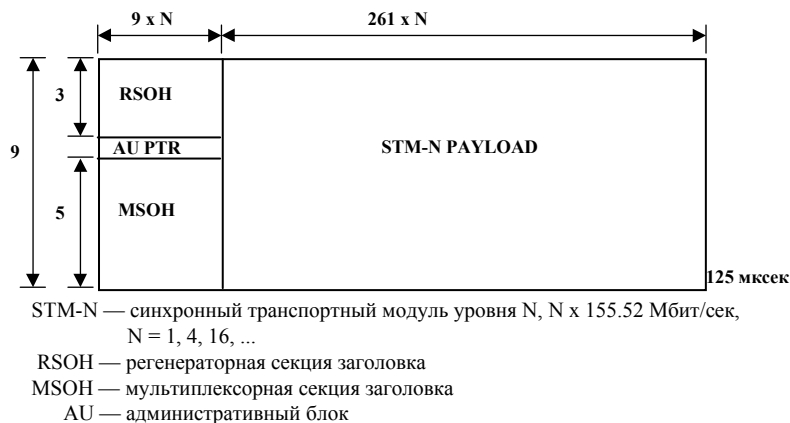


Рис.4 Структура STM-N

Синхронные сети не смогли бы получить широкого распространения, если бы они не обеспечивали поддержки скоростей PDH. Поэтому стандартами SDH определена поддержка в сетях доступа сигналов PDH (исключение для европейской иерархии составил сигнал E2). Для передачи в общем случае несинхронных PDH потоков в поле полезной нагрузки синхронного транспортного модуля, была разработана специальная схема мультиплексирования. По этой схеме кадры потоков PDH отображаются в контейнеры фиксированного размера C-n (C-11 для T1, C-12 для E1, C-31 для E3, C-32 для T3 и C-4 для E4). Контейнеры C-n снабжаются маршрутными заголовками (Path Overhead – POH), содержащими управляющую информацию и статистику о прохождении контейнера. Такие контейнеры (снабженные POH) получили название виртуальных контейнеров (VC) и, в зависимости от уровня соответствующего им PDH сигнала, различают виртуальные контейнеры первого, третьего и четвертого уровней. В виртуальные контейнеры третьего и четвертого порядка вместо C-n могут входить группы компонентных блоков (TUG). Для устранения несинхронности входных потоков, каждому виртуальному контейнеру приписывается указатель, содержащий информацию о положении виртуального контейнера в поле полезной нагрузки, т.е виртуальный контейнер не привязан жестко к определенному месту в поле полезной нагрузки, а может как бы «плавать» в нем. На рис. 5 приведена европейская схема мультиплексирования потоков T1, E1, E3, T3 и E4 в STM-N, которая является частью общей схемы мультиплексирования PDH сигналов в технологии SDH.

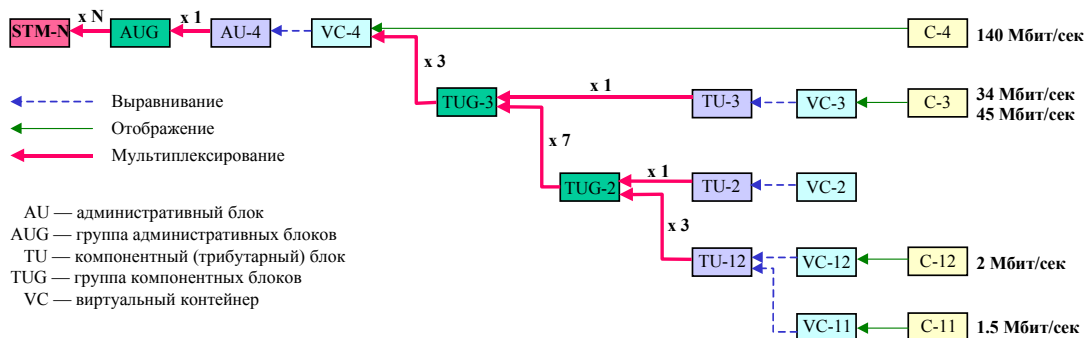


Рис. 5. Схема мультиплексирования PDH сигналов в технологии SDH

Из этой схемы легко увидеть, что в STM-1 могут быть мультиплексировано до 63 потоков E1, до трех E3 и один E4.

Сети SDH

Основные типы оборудования, применяемые в сетях SDH, условно можно разделить на терминальные мультиплексоры, мультиплексоры ввода/вывода и кросс-коннекторы или коммутаторы. Это деление условно, так как выпускаемые производителями SDH оборудования устройства, как правило, могут сочетать в себе несколько функций.

Терминальный мультиплексор (ТМ) предназначен для мультиплексирования и демultipлексирования сигналов PDH и STM (в терминологии SDH их называют трибутарными или компонентными интерфейсами) в агрегатный поток STM-N. Он также может осуществлять локальную коммутацию с одного трибутарного интерфейса на другой. Мультиплексоры ввода/вывода (ADM) имеют на входе те же наборы интерфейсов, что и ТМ, и, как правило, два агрегатных потока STM-N (условно называемых "восточный" и "западный"). В этих мультиплексорах часть данных из агрегатных потоков выводится на трибутарный интерфейс, другая часть вводится (добавляется) с трибутарного интерфейса для последующей передачи, остальной трафик проходит через устройство без какой-либо дополнительной обработки. Кросс-коннектор (DSX) — распределительный узел сети, имеющий несколько, как правило, однотипных интерфейсов STM-N, осуществляющий между ними коммутацию виртуальных контейнеров различного уровня.

Основные конфигурации сетей SDH это точка-точка, линейная цепь и кольцо, хотя применяются и другие топологии, например ячеистая (рис. 6).

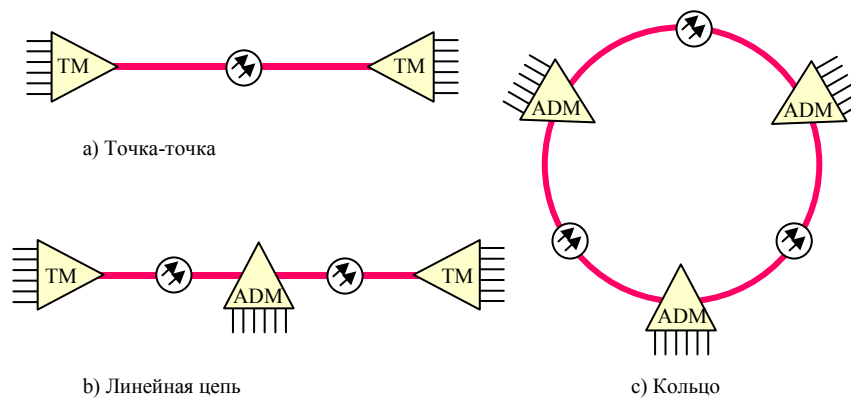


Рис. 6. Базовые топологии SDH сетей

Защитные свойства сетей SDH достигаются за счет средств контроля, переносимых в служебных байтах заголовков (SOH, POH). Один из способов — резервирование участков сети по схеме 1+1, используя разнесенные трассы для прокладки оптического кабеля. В этом случае при повреждении кабеля на одном участке сети, происходит автоматическое переключение на резервный участок. Однако наиболее популярная топология — самовосстанавливающееся кольцо. При разрыве в кольце служебные байты пострадавших линий сигнализируют о невозможности прохождения трафика. В ответ на это ближайшие узлы перенаправляют потоки с поврежденного участка в обход по кольцу. Этот процесс занимает доли секунды.

Надежность сетей SDH, их способность к самовосстановлению, возможность поддержки потоков в широком диапазоне скоростей, развитые средства конфигурирования, мониторинга и администрирования привели к тому, что эти сети широко используются в качестве транспортных сетей поддерживающих передачу различных типов трафика (голос, данные, видео и т.д.) от широкого круга технологий (Frame Relay, ISDN, ATM и др.)

2 Контрольные задачи и вопросы для практических занятий

2.1 Тема «Понятия и определения»

- 2.1.1 Дайте определения понятиям «информация», «сообщение», «сигнал».
- 2.1.2 Как измеряется количество информации? Определите энтропию источника, вырабатывающего независимые символы a_1 и a_2 , если $p(a_1)=0,3$.
- 2.1.3 Что такое цифровой сигнал?
- 2.1.4 Что такое изохронные и анизохронные сигналы?
- 2.1.5 Определите скорость передачи в бодах и в битах в секунду если длительность единичного элемента 20 мс, передача осуществляется кодовыми комбинациями длиной 10 элементов, число информационных элементов 8.
- 2.1.6 Каковы основные характеристики систем передачи дискретных сообщений?
- 2.1.7 Что такое энергетический спектр сигнала?
- 2.1.8 Каковы методы вычисления цифровой свертки?

Литература: [2, 3, 4, 5].

2.2 Тема «Каналы передачи дискретных сообщений»

- 2.2.1 Дайте характеристики гауссовских, импульсных и сосредоточенных по спектру помех.
- 2.2.2 Что такое аддитивные и мультипликативные помехи?
- 2.2.3 Каковы методы регистрации сигналов?
- 2.2.4 К каким видам искажений импульсов двоичной информации приводит воздействие помех?
- 2.2.5 Что такое каналы с памятью и без памяти?
- 2.2.6 Опишите модель источника ошибок в канале на основе марковских цепей.
- 2.2.7 Охарактеризуйте помехоустойчивость интегрального метода регистрации при искажениях дробления.
- 2.2.8 Каковы способы снижения количества ошибок при передаче дискретных сообщений?

Литература: [4, 5].

2.3 Тема «Корректирующие коды»

2.3.1 Что такое расстояние Хэмминга и кодовое расстояние?

2.3.2 Какова связь между кодовым расстоянием и кратностью обнаруживаемых ошибок?

2.3.3 Какие коды называют: блочными, непрерывными, равномерными, неравномерными?

2.3.4 При каких условиях применение корректирующих кодов целесообразно?

2.3.5 Является ли множество элементов 110, 000, 101, 010 группой, если в качестве групповой операции выбрано сложение по модулю 2?

2.3.6 Правила формирования проверочных элементов для кода (8.4) записываются в виде:

$$a_5 = a_2 + a_3 + a_4$$

$$a_6 = a_1 + a_2 + a_3$$

$$a_7 = a_1 + a_2 + a_4$$

$$a_8 = a_1 + a_3 + a_4$$

Найдите проверочную матрицу и определите, сколько ошибок может обнаружить такой код.

2.3.7 В принятой кодовой комбинации 10100111 кода (8.4), заданного системой уравнений предыдущего пункта, имеется одна ошибка. Определите ее местоположение.

2.3.8 Каковы способы формирования кодовых комбинаций циклического кода?

2.3.9 Как исправляются ошибки в циклических кодах?

2.3.10 Принципы технической реализации корректирующих кодов.

Литература: [4, 6].

2.4 Тема «Адаптивные системы»

2.4.1 Какие системы называются адаптивными?

2.4.2 Каковы достоинства и недостатки прямых и косвенных методов оценки качества дискретных каналов?

2.4.3 Каковы достоинства и недостатки методов повышения достоверности передачи сообщений с обратной связью (ОС) и без нее?

2.4.4 Классификация систем с ОС.

2.4.5 Причины возникновения вставок и выпадений в системах с ОС.

2.4.6 Каковы достоинства и недостатки систем с ожиданием и блокировкой?

- 2.4.7 Каковы достоинства и недостатки систем с информационной и решающей ОС?
- 2.4.8 Из чего складывается время ожидания в системах с ожиданием?

Литература: [4, 5].

2.5 Тема «Синхронизация при передаче дискретных сообщений»

- 2.5.1 Каковы особенности поэлементной и групповой синхронизации?
- 2.5.2 Классификация методов и устройств поэлементной синхронизации.
- 2.5.3 Приведите пример замкнутого устройства поэлементной синхронизации с непосредственным воздействием на генератор.
- 2.5.4 Пусть допустимое расхождение по фазе генераторов передатчика и приемника равно $1/N$, где N – ваш номер в списке группы. За какое время уход по фазе превысит допустимое значение, если скорость передачи 1200 бод, а разница периодов генераторов составляет 0,02 мс?
- 2.5.5 Принцип действия устройств синхронизации без непосредственного воздействия на генератор.
- 2.5.6 Классификация методов и устройств групповой синхронизации.
- 2.5.7 Какие факторы влияют на время вхождения и поддержания синхронизации?
- 2.5.8 Как влияет точность синхронизации на достоверность передачи сообщений?

Литература: [4, 5].

2.6 Тема «Методы преобразования сигналов»

- 2.6.1 Какие задачи решают устройства преобразования сигналов?
- 2.6.2 Каковы виды согласования параметров сигнала и каналов?
- 2.6.3 Сравните спектры сигналов при амплитудной, частотной и фазовой модуляции.
- 2.6.4 На сколько процентов удлинится посылка, при амплитудной модуляции напряжение на входе приемника возрастет на 20%?
- 2.6.5 Поясните, почему вероятность неправильного приема при амплитудной модуляции для канала с перерывами не зависит от скорости модуляции?

- 2.6.6 Как принимается решение о типе принятого сигнала в оптимальном приемнике?
- 2.6.7 Опишите принцип работы синтезатора сигнала, представленного через базисные функции.
- 2.6.8 Каковы преимущества цифровой обработки сигналов?

Литература: [2, 4, 5].

2.7 Тема «Сети SDH»

- 2.7.1 Что такое основной цифровой канал или DS0 (Digital Signal level zero)?
- 2.7.2 Типы сигнализаций в сетях PDH.
- 2.7.3 Как осуществляется мультиплексирование с временным разделением каналов?
- 2.7.4 Где находится сигнализация 8 канала в сверхкадре с сигнализацией CAS?
- 2.7.5 Каковы недостатки PDH-систем?
- 2.7.6 Опишите структуру модуля STM-1/
- 2.7.7 Как осуществляется мультиплексирование и демultipлексирование в сетях SDH?
- 2.7.8 Опишите основные типы оборудования, применяемые в сетях SDH.
- 2.7.9 Каких принципов придерживаются при раздаче сигналов синхронизации в сетях SDH?

Литература: [1].

Литература

1. Бакланов И.Г. SDH-NGSDH. Практический взгляд на развитие транспортных сетей. М.: Метротек, 2006.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов : учебник СПб.: Питер, 2003.
3. Акимов П.С., Сенин А.И., Солёнов В.И. Сигналы и их обработка в информационных систем. / Учебное пособие для вузов. М.: Радио и связь, 1994.

4. Передача дискретных сообщений: учебник для вузов/Под ред. В. П. Шувалова. М.: Радио и связь, 1990.
5. Абдулаев В. А., Арипов М. Н. Передача дискретных сообщений в задачах и упражнениях: учеб. пособие. М.: Радио и связь, 1985.
6. Когновицкий О.С. Основы циклических кодов: учеб. пособие. / ЛЭИС. Л., 1990.