

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ
(МГТУ ГА)**

**Кафедра авиационного радиоэлектронного оборудования
Иркутского филиала МГТУ ГА**

Назаренко Е.В., Горбачев О.А., Сосновский М.Ю.

**СИСТЕМЫ СВЯЗИ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

Учебное пособие

Часть 2

Рекомендуется УМО для межвузовского использования в качестве учебного пособия для студентов специальностей 230101 и 160905 всех форм обучения

Москва – 2008

ББК 0561.5

К 55

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Московского государственного технического университета ГА

Рецензенты: д.т.н., профессор Андреев Г.Н.
доцент Кобылкин Ю.И.

Назаренко Е.В., Горбачев О.А., Сосновский М.Ю.

К 55 Системы связи гражданской авиации.

Учебное пособие. Часть II.:

–М.: МГТУ ГА, 2008. –76с.

ISBN 5-86311-331-6

В учебном пособии в соответствии с рабочей программой дисциплины
«Системы связи гражданской авиации» рассмотрены:

- основы организации первичных и глобальных систем электросвязи;
- принцип работы АТС и их классификация;
- устройство учрежденческой системы связи DEFINITY.

Данное учебное пособие издается в соответствии с учебным планом специальности 230101 и 160905 для студентов всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры АРЭО Иркутского филиала МГТУ ГА 28.02.2008 г. и научно-методического совета филиала 04.03.2008 г.

Ил. 25. Табл. 2. Библиогр. 9 назв.

© Московский государственный
технический университет ГА, 2008

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1. СОВРЕМЕННЫЕ СЕТИ С КОММУТАЦИЕЙ КАНАЛОВ.....	8
1.1. Первичные сети.....	8
1.1.1. Коммутация каналов на основе частотного и волнового мультиплексирования.....	8
1.1.2. Коммутация каналов на основе разделения времени.....	11
1.1.3. Общие свойства сетей с коммутацией каналов.....	13
1.1.4. Обеспечение дуплексного режима работы на основе технологий FDM, TDM и WDM.....	14
1.2. Сети PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy).....	16
1.2.1. Иерархия скоростей.....	16
1.2.2. Методы мультиплексирования.....	18
1.2.3. Ограничения технологии PDH.....	19
1.3. Сети SDH (Synchronous Digital Hierarchy).....	20
1.3.1. История возникновения.....	22
1.3.2. Иерархия скоростей и методы мультиплексирования.....	23
1.3.3. Типы оборудования.....	26
1.3.4. Типовые топологии.....	28
1.4. Сети DWDM.....	30
1.4.1. Принципы работы.....	30
1.4.2. Типовые топологии.....	33
1.4.3. Аппаратный состав.....	37
2. ГЛОБАЛЬНЫЕ СЕТИ С КОММУТАЦИЕЙ КАНАЛОВ.....	43
2.1. Аналоговые телефонные сети.....	44
2.1.1. Передача данных.....	48
2.2. Цифровые сети с интегральными услугами.....	50
2.2.1. Цели и история создания технологии ISDN.....	50
2.2.2. Организация сети ISDN.....	51
2.3. Пользовательские интерфейсы ISDN.....	53
3. ПРИНЦИП РАБОТЫ АТС И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ.....	58
3.1. Устройство абонентского комплекта.....	58
3.2. История развития АТС.....	61
3.3. Классификация АТС.....	63
3.4. Устройство учрежденческой системы связи DEFINITY.....	64
ЛИТЕРАТУРА.....	76

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ААР	– авиационная автономная радиостанция;
АППЦ	– авиационный приемо-передающий центр;
АТС	– автоматическая телефонная станция;
АТСК	– автоматическая телефонная станция координатная;
ВД	– воздушное движение;
ВОЛС	– волоконно-оптическая линия связи;
ВП	– воздушное пространство;
ВПП	– взлетно-посадочная полоса;
ВЧ	– высокочастотный диапазон волн;
ДШИ	– декадно-шаговый искатель;
ЕС ОрВД	– единая система организации воздушного движения;
ИКМ	– импульсно-кодовая модуляция;
ЛПД	– линия передачи данных;
МКС	– многократный координатный соединитель;
ОВЧ	– особо высокие частоты;
ОЗУ	– оперативное запоминающее устройство;
ОПВД	– организация планирования воздушного движения;
ПК	– персональный компьютер;
ТФОП	– телефонная сеть общего пользования;
ЦОД	– центр обработки данных;
ШИ	– шаговый искатель;
АСС	– авиационная административная связь;
ADM	– Add-Drop Multiplexer – мультиплексор ввода-вывода;
AFTN	– Aeronautical Fixed Telegraphic Network – авиационная фиксированная телеграфная сеть;
ANSI	– Американский национальный институт стандартизации;
АОС	– авиационный оперативный контроль;
АРС	– связь для пассажиров;
АТIS	– Automate Terminal Information Service – служба автоматического оповещения о погоде и состоянии ВПП в пункте посадки;
АТМ	– Asynchronous Transfer Mode – асинхронный режим передачи;
АТN	– сеть авиационной электросвязи;
АТS-QSIC	– цифровая система речевой связи с функциями сетеобразования;
AU	– Administrative Unit – административный блок;
AWG	– Arrayed Waveguide Grating – дифракционная структура;
BRI	– Basic Rate Interface – начальный интерфейс;
ССITТ	– международный консультативный комитет по телефонии и

	телеграфии;
CIDIN	– Common ICAO Data Interchange Network – протокол сети ICAO для обмена данными;
CNS/ATM	– Communication Navigation Surveillance/ Air Traffic Management – концепция управления воздушным движением;
CPE	– Customer Premises Equipment – оборудование устанавливаемого в помещении пользователя;
CSS	– узловой коммутатор;
DBR	– Distributed Feed Reflector – распределенная решетка;
DFB	– Distributed Feed Back – распределенная обратная связь;
DEFINITY	– DEFINITY Enterprise Communications Server – учрежденческая система связи;
ECS	
DRAM	– устройство динамической памяти;
DPG	– Diffraction Phase Gratings – дифракционные фазовые решетки;
DSL	– Digital Subscriber Line - цифровое абонентское окончание;
DWDM	– Dense Wave Division Multiplexing – техника плотного мультиплексирования по длине волны;
GLONASS	– глобальная навигационная система России;
GNSS	– глобальная навигационная система;
EDFA	– Erbium-Doped Fiber Amplifier – волоконно-оптический усилитель на основе кварца легированного эрбием;
EPN	– периферийная сеть портов;
ETSI	– европейский институт коммуникационных стандартов;
FBG	– Fiber Bragg Gratings- волоконные решетки Брэгга;
FDM	– Frequency Division Multiplexing – техника частотного мультиплексирования;
IDN	– Integrated Digital Network – интегрированная цифровая сеть;
ISDN	– Integrated Services Digital Network -цифровая сеть с интеграцией услуг;
ITU	– Т рекомендации;
MEMS	– Micro-Electro Mechanical Systems микроэлектронные механические системы;
MUX	– мультиплексор;
NDSF	– Non-Dispersion Shifted Fiber – стандартное бездисперсионное одномодовое волокно;
NT	– Network Termination – сетевое оборудование;
NRZ	– потенциальный код;
NZDSF	– Non-Zero Dispersion Shifted Fiber – волокно со смещенной ненулевой дисперсией;
OADM	– оптические мультиплексоры ввода-вывода;
OXC	– оптический кросс-коннектор;

PCM	– Pulse Code Modulation – импульсно-кодовая модуляция;
PDH	– Plesiochronous Digital Hierarchy – плезиохронная цифровая иерархия;
POTS	– Plain Old Telephone Service – старая телефонная служба;
PPN	– сеть процессорных портов;
PRI	– Primary Rate Interface- основной интерфейс;
PSTN	– Public Switched Telephone Network – публичная коммутируемая телефонная сеть;
RCP	– требуемые характеристики связи;
RISC	– программа управления процессором компьютера с сокращенным набором команд;
SDH	– Synchronous Digital Hierarchy – синхронная цифровая иерархия;
SLIC	– Subscriber Line Interface Circuit микросхемы, выполненные по гибридной технологии;
SN	коммутационный узел;
SONET	– Synchronous Optical Net – стандартная синхронная цифровая сеть;
SPE	– компьютер, который управляет сетью портов;
SSMF	– Standard Single Mode Fiber- стандартное одномодовое волокно;
STDM	– Statistical Time Division Multiplexing – статистическое разделение каналов во времени;
STM	– Synchronous Transfer Mode – техника синхронного режима передачи;
TDM	– Time Division Multiplexing – техника мультиплексирования с разделением времени;
TE	– Terminal Equipment – пользовательское оборудование;
TM	– Terminal Multiplexer – терминальный мультиплексор;
TU	– Tributary Unit – трибутарный блок;
VCSEL	– Vertical-cavity surface-emitting laser – лазер с вертикальными резонаторами;
WDM	– Wave Division Multiplexing – техника мультиплексирования по длине волны;
ZDSF	– Zero Dispersion Shifted Fiber – одномодовое волокно со смещенной нулевой дисперсией;
X25	– протокол пакетной коммутации;
xDSL	– марка модема.

ВВЕДЕНИЕ

Авиационная электросвязь гражданской авиации является одним из основных средств обеспечения руководства деятельностью гражданской авиации и управления воздушным движением. Правильная организация связи является одним из главных условий обеспечения безопасности и регулярности полетов воздушных судов, а также производственной деятельности предприятий и организаций гражданской авиации.

Электросвязь гражданской авиации представляет собой совокупность центров, станций связи, оконечных устройств, различных средств электросвязи, объединенных между собой сетями электросвязи [1].

Авиационная электросвязь гражданской авиации выполняет следующие основные функции:

- передачу центрами (пунктами) УВД экипажам воздушных судов указаний, распоряжений и различных видов сообщений по обеспечению безопасности и регулярности воздушного движения и получения от них донесений, сообщений на всех этапах полета;

- взаимодействие центров (пунктов) управления воздушным движением в процессе управления воздушным движением, планирования и организации полетов;

- оперативное взаимодействие служб авиапредприятий (предприятий по ИВП и УВД);

- передачу административно-управленческой и производственной информации;

- передачу данных различных АСУ гражданской авиации.

Основные требования, предъявляемые к авиационной электросвязи гражданской авиации:

- своевременность установления связи;
- надежность и бесперебойность связи;
- обеспечение требуемой скорости передачи информации;
- обеспечение требуемой достоверности передачи информации;
- обеспечение необходимой скрытности при передаче информации;
- максимальная эффективность и экономичность функционирования электросвязи.

1. СОВРЕМЕННЫЕ СЕТИ С КОММУТАЦИЕЙ КАНАЛОВ

1.1. Первичные сети

Первичные или опорные сети предназначены для создания коммутируемой инфраструктуры, с помощью которой можно достаточно быстро и гибко организовать постоянный канал с топологией «точка-точка» между двумя пользовательскими устройствами, подключенными к такой сети. Так как канал является коммутируемым и по истечении какого-то, пусть и большого, периода времени коммутация разрывается, то такие каналы называют также полупостоянными (semi permanent). На основе полупостоянных каналов, образованных первичными сетями, работают вторичные сети — компьютерные или телефонные. Так как последние работают «поверх» инфраструктуры первичной сети, то их иногда называют также наложенными (overlay). Каналы, предоставляемые первичными сетями своим пользователям, отличаются высокой пропускной способностью — обычно от 2 Мбит/с до 10 Гбит/с. Коммутация каналов — основной принцип первичных сетей.

Первичные сети основаны на технике коммутации каналов. Для создания абонентского канала коммутаторы первичных сетей должны поддерживать какую-либо технику мультиплексирования и коммутации.

В настоящее время для мультиплексирования абонентских каналов используются:

- техника частотного мультиплексирования (Frequency Division Multiplexing, FDM);
- техника мультиплексирования с разделением времени (Time Division Multiplexing, TDM);
- техника мультиплексирования по длине волны (Wave Division Multiplexing).

1.1.1. Коммутация каналов на основе частотного и волнового мультиплексирования

Техника частотного мультиплексирования каналов (FDM) была разработана для телефонных сетей, но применяется она и для других видов сетей, например сетей кабельного телевидения.

Рассмотрим особенности этого вида мультиплексирования на примере телефонной сети.

Речевые сигналы имеют спектр шириной примерно в 10 000 Гц, однако основные гармоники укладываются в диапазон от 300 до 3400 Гц. Поэтому для качественной передачи речи достаточно образовать между двумя собеседниками канал с полосой пропускания в 3100 Гц, который и используется в телефонных сетях для соединения двух абонентов. В то же время полоса пропускания кабельных систем с промежуточными усилителями, соединяющих телефонные коммутаторы между собой, обычно составляет сотни килогерц, а иногда и сотни мегагерц. Однако непосредственно передавать сигналы нескольких абонент-

ских каналов по широкополосному каналу невозможно, так как все они работают в одном и том же диапазоне частот и сигналы разных абонентов смешиваются между собой так, что разделить их невозможно.

Для разделения абонентских каналов характерна техника модуляции высокочастотного несущего синусоидального сигнала низкочастотным речевым сигналом (рис. 1.1). Эта техника подобна технике аналоговой модуляции при передаче дискретных сигналов модемами, только вместо дискретного исходного сигнала используются непрерывные сигналы, порождаемые звуковыми колебаниями. В результате спектр модулированного сигнала переносится в другой диапазон, который симметрично располагается относительно несущей частоты и имеет ширину, приблизительно совпадающую с шириной модулирующего сигнала [2].

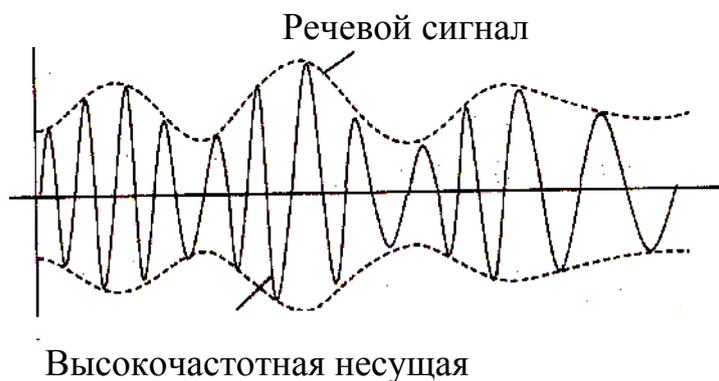


Рис. 1.1. Модуляция речевым сигналом

Если сигналы каждого абонентского канала перенести в собственный диапазон частот, то в одном широкополосном канале можно одновременно передавать сигналы нескольких абонентских каналов.

На входы FDM-коммутатора поступают исходные сигналы от абонентов телефонной сети. Коммутатор выполняет перенос частоты каждого канала в свой диапазон частот. Обычно высокочастотный диапазон делится на полосы, которые отводятся для передачи данных абонентских каналов (рис. 1.2). Чтобы низкочастотные составляющие сигналов разных каналов не смешивались между собой, полосы делают шириной в 4 кГц, а не в 3,1 кГц, оставляя между ними страховой промежуток в 900 Гц. В канале между двумя FDM-коммутаторами одновременно передаются сигналы всех абонентских каналов, но каждый из них занимает свою полосу частот. Такой канал называют уплотненным.

Выходной FDM-коммутатор выделяет модулированные сигналы каждой несущей частоты и передает их на соответствующий выходной канал, к которому непосредственно подключен абонентский телефон.

В сетях на основе FDM-коммутации принято несколько уровней иерархии уплотненных каналов. Первый уровень уплотнения образуют 12 абонентских каналов, которые составляют базовую группу каналов, занимающую полосу частот шириной в 48 кГц с границами от 60 до 108 кГц.

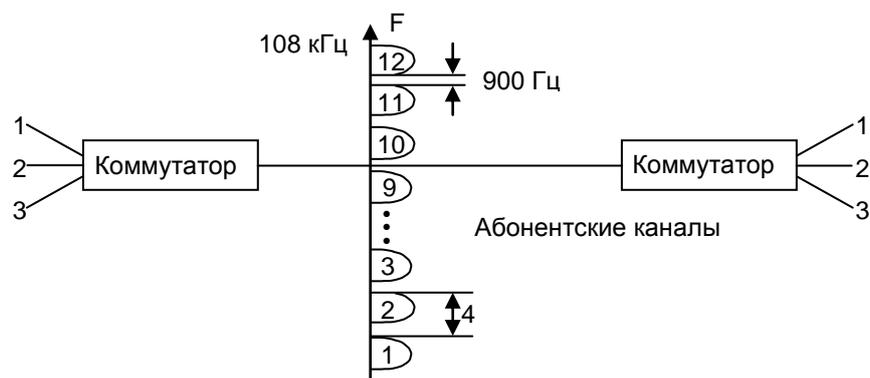


Рис. 1.2. Коммутация на основе частотного уплотнения

Второй уровень уплотнения образуют 5 базовых групп, которые составляют супергруппу, с полосой частот шириной в 240 кГц и границами от 312 до 552 кГц. Супергруппу передает данные 60 абонентских каналов тональной частоты. Десять супергрупп образуют главную группу, которая используется для связи между коммутаторами на больших расстояниях. Главная группа передает данные 600 абонентов одновременно и требует от канала связи полосу пропускания шириной не менее 2520 кГц с границами от 564 до 3084 кГц.

FDM-коммутаторы могут выполнять как динамическую, так и постоянную коммутацию. При динамической коммутации один абонент инициирует соединение с другим абонентом, посылая в сеть номер вызываемого абонента. Коммутатор динамически выделяет данному абоненту одну из свободных полос своего уплотненного канала. При постоянной коммутации за абонентом полоса в 4 кГц закрепляется на длительный срок путем настройки коммутатора по отдельному входу, недоступному пользователям.

Принцип коммутации на основе разделения частот остается неизменным и в сетях другого вида, меняются только границы полос, выделяемых отдельному абонентскому каналу, а также количество низкоскоростных каналов в уплотненном высокоскоростном.

Первичные сети с мультиплексированием по длине волны (WDM и DWDM) используют тот же принцип частотного разделения каналов, но только информационным сигналом в них является не электрический ток, а свет. Соответственно, изменяется и частотный диапазон, в котором образуются пользовательские полупостоянные каналы — это инфракрасный диапазон с длинами волн от 850 до 1565 нм, что соответствует частотам от 196 до 350 ТГц (1 ТГц равен 10^{12} Гц).

В магистральном канале обычно мультиплексируется несколько спектральных каналов — до 16, 32, 40, 80 или 160 (начиная с 16 каналов, такая техника мультиплексирования называется обычно плотной, то есть Dense WDM или DWDM). Внутри такого спектрального канала данные могут кодироваться как дискретным способом, так и аналоговым. По сути, WDM и DWDM — это реализации идеи частотного аналогового мультиплексирования, но в другой форме. Отличие сетей WDM/DWDM от сетей FDM в предельных скоростях, с

которыми они могут передавать информацию. Если сети FDM обычно обеспечивают на магистральных каналах одновременную передачу до 600 разговоров, что соответствует суммарной скорости в 36 Мбит/с (для сравнения с цифровыми каналами скорость пересчитана из расчета 64 кбит/с на один разговор), то сети DWDM обеспечивают общую пропускную способность до сотен гигабит и даже нескольких терабит в секунду.

1.1.2. Коммутация каналов на основе разделения времени

Коммутация на основе техники разделения частот разрабатывалась в расчете на передачу непрерывных сигналов, представляющих голос. При переходе к цифровой форме представления голоса была разработана новая техника мультиплексирования, ориентирующаяся на дискретный характер передаваемых данных. Эта техника носит название мультиплексирования с разделением времени (Time Division Multiplexing, TDM). Реже используется и другое ее название - техника синхронного режима передачи (Synchronous Transfer Mode, STM). Рис. 1.3 поясняет принцип коммутации каналов на основе техники TDM. Аппаратура TDM-сетей - мультиплексоры, коммутаторы, демультимплексоры - работает в режиме разделения времени, поочередно обслуживая в течение цикла своей работы все абонентские каналы. Цикл работы оборудования TDM равен 125 мкс, что соответствует периоду следования замеров голоса в цифровом абонентском канале. Это значит, что мультиплексор или коммутатор успевает вовремя обслужить любой абонентский канал и передать его очередной замер далее по сети. Каждому соединению выделяется один квант времени цикла работы аппаратуры, называемый также тайм-слотом. Длительность тайм-слота зависит от числа абонентских каналов, обслуживаемых мультиплексором TDM или коммутатором.

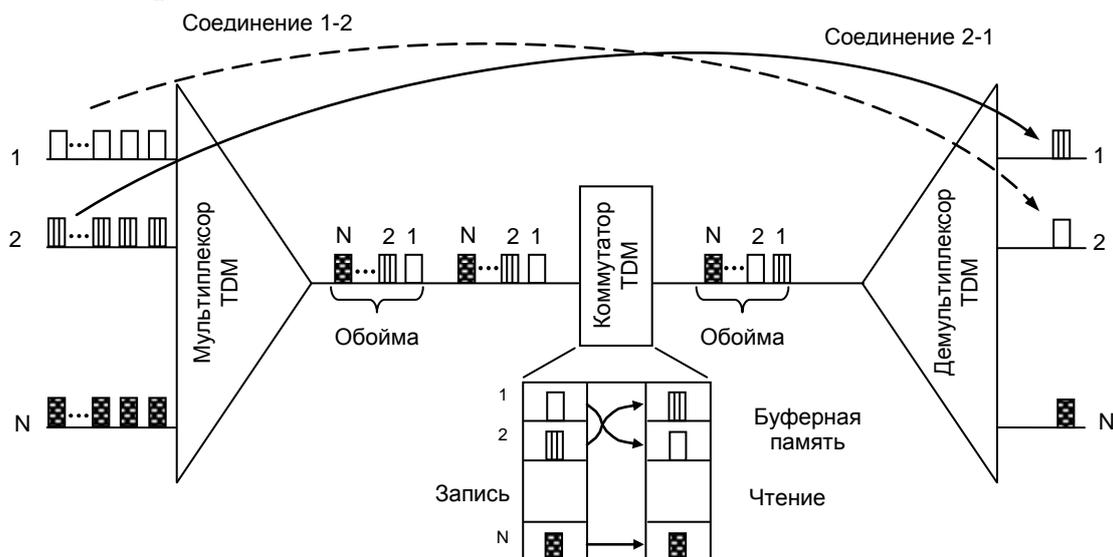


Рис. 1.3. Коммутация на основе разделения каналов времени

Мультиплексор принимает информацию по N входным каналам от конечных абонентов, каждый из которых передает данные по абонентскому каналу

со скоростью 64 кбит/с — 1 байт каждые 125 мкс. В каждом цикле мультиплексор выполняет следующие действия:

- прием от каждого канала очередного байта данных;
- составление из принятых байтов уплотненного кадра, называемого обоймой;
- передачу уплотненного кадра на выходной канал с битовой скоростью, равной $N \times 64$ кбит/с.

Порядок следования байта в обойме соответствует номеру входного канала, от которого этот байт получен. Количество обслуживаемых мультиплексором абонентских каналов зависит от его быстродействия. Например, мультиплексор T1, представляющий собой первый промышленный мультиплексор, работавший по технологии TDM, поддерживает 24 входных абонентских канала, создавая на выходе обоймы стандарта T1, передаваемые с битовой скоростью 1,544 Мбит/с. Демультимплексор выполняет обратную задачу — он разбирает байты уплотненного кадра и распределяет их по своим нескольким выходным каналам, при этом он считает, что порядковый номер байта в обойме соответствует номеру выходного канала.

Коммутатор принимает уплотненный кадр по скоростному каналу от мультиплексора и записывает каждый байт из него в отдельную ячейку своей буферной памяти, причем в том порядке, в котором эти байты были упакованы в уплотненный кадр. Для выполнения операции коммутации байты извлекаются из буферной памяти не в порядке поступления, а в том порядке, который соответствует поддерживаемым в сети соединениям абонентов. Так, например, если первый абонент левой части сети (рис. 1.3) должен соединиться со вторым абонентом в правой части сети, то байт, записанный в первую ячейку буферной памяти, будет извлекаться из нее вторым. «Перемешивая» нужным образом байты в обойме, коммутатор обеспечивает соединение конечных абонентов в сети.

Однажды выделенный номер тайм-слота остается в распоряжении соединения «входной канал — выходной слот» в течение всего времени существования этого соединения, даже если передаваемый трафик является пульсирующим и не всегда требует захваченного количества тайм-слотов. Это означает, что соединение в сети TDM всегда обладает известной и фиксированной пропускной способностью, кратной 64 кбит/с.

Работа оборудования TDM напоминает работу сетей с коммутацией пакетов, так как каждый байт данных можно считать некоторым элементарным пакетом. Однако в отличие от пакета компьютерной сети, «пакет» сети TDM не имеет индивидуального адреса. Его адресом является порядковый номер в обойме или номер выделенного тайм-слота в мультиплексоре или коммутаторе. Сети, использующие технику TDM, требуют синхронной работы всего оборудования, что и определило второе название этой техники — синхронный режим передач (STM). Нарушение синхронности разрушает требуемую коммутацию абонентов, так как при этом теряется адресная информация. Поэтому перерас-

пределение тайм-слотов между различными каналами в оборудовании TDM невозможно, даже если в каком-то цикле работы мультиплексора тайм-слот одного из каналов оказывается избыточным, так как на входе этого канала в этот момент нет данных для передачи (например, абонент телефонной сети молчит).

Существует модификация техники TDM, называемая статистическим разделением канала во времени (Statistical TDM, STDM). Эта техника разработана специально для того, чтобы с помощью временно свободных тайм-слотов одного канала можно было увеличить пропускную способность остальных. Для решения этой задачи каждый байт данных дополняется полем адреса небольшой длины, например в 4 или 5 бит, что позволяет мультиплексировать 16 или 32 канала. Фактически STDM представляет собой уже технику коммутации пакетов, но только с очень упрощенной адресацией и узкой областью применения. Техника STDM не нашла широкого применения и используется в основном в нестандартном оборудовании подключения терминалов к мэйнфреймам. Развитием идей статистического мультиплексирования стала технология асинхронного режима передачи — АТМ, которая вобрала в себя лучшие черты техники коммутации каналов и пакетов.

Сети TDM могут поддерживать либо режим динамической коммутации, либо режим полупостоянной коммутации, а иногда и оба этих режима. Так, например, основным режимом цифровых телефонных сетей, работающих на основе технологии TDM, является динамическая коммутация, но они поддерживают также и постоянную коммутацию, предоставляя своим абонентам службу выделенных каналов. Первичные сети режим динамической коммутации не используют, хотя перспективы предоставления клиентам первичной сети, возможности коммутировать канал по своей инициативе в настоящее время обсуждаются. Существует аппаратура, которая поддерживает только режим постоянной коммутации. К ней относится оборудование типа T1/E1, а также высокоскоростное оборудование SDN. Такое оборудование используется для построения первичных сетей, основной функцией которых является создание выделенных каналов между коммутаторами, поддерживающими динамическую коммутацию.

Сегодня практически все данные — голос, изображение, компьютерные данные передаются в цифровой форме [3]. Поэтому выделенные каналы TDM-технологии, которые обеспечивают нижний уровень для передачи цифровых данных, являются универсальными каналами для построения сетей любого типа: телефонных, телевизионных и компьютерных.

1.1.3. Общие свойства сетей с коммутацией каналов

Сети с коммутацией каналов обладают несколькими важными общими свойствами независимо от того, какой тип мультиплексирования в них используется.

Сети с динамической коммутацией требуют предварительной процедуры установления соединения между абонентами. Для этого в сеть передается адрес

вызываемого абонента, который проходит через коммутаторы и настраивает их на последующую передачу данных. Запрос на установление соединения маршрутизируется от одного коммутатора к другому и, в конце концов, достигает вызываемого абонента. Сеть может отказать в установлении соединения, если емкость требуемого выходного канала уже исчерпана. Для FDM-коммутатора емкость выходного канала равна количеству частотных полос этого канала, а для TDM-коммутатора — количеству тайм-слотов, на которые делится цикл работы канала. Сеть отказывает в соединении также в том случае, если запрашиваемый абонент уже установил соединение с кем-нибудь другим. В первом случае говорят, что занят коммутатор, а во втором — абонент. Возможность отказа в соединении является недостатком метода коммутации каналов.

Если соединение может быть установлено, то ему выделяется фиксированная полоса частот в FDM-сетях или же фиксированная пропускная способность в TDM-сетях. Эти величины остаются неизменными в течение всего периода соединения. Гарантированная пропускная способность сети после установления соединения является важным свойством, необходимым для таких приложений, как передача голоса, изображения или управления объектами в реальном масштабе времени. Однако динамически изменять пропускную способность канала по требованию абонента сети с коммутацией каналов не могут, что делает их неэффективными в условиях пульсирующего трафика.

Недостатком сетей с коммутацией каналов является невозможность применения пользовательской аппаратуры, работающей с разной скоростью. Отдельные части составного канала работают с одинаковой скоростью, так как сети с коммутацией каналов не буферизуют данные пользователей.

Сети с коммутацией каналов хорошо приспособлены для коммутации потоков данных постоянной скорости, когда единицей коммутации является не отдельный байт или пакет данных, а долговременный синхронный поток данных между двумя абонентами. Для таких потоков сети с коммутацией каналов добавляют минимум служебной информации для маршрутизации данных через сеть, используя временную позицию каждого бита потока в качестве его адреса назначения в коммутаторах сети.

1.1.4. Обеспечение дуплексного режима работы на основе технологий FDM, TDM и WDM

В зависимости от направления возможной передачи данных способы передачи данных по линии связи делятся на следующие типы:

- симплексный - передача осуществляется по линии связи только в одном направлении;
- полудуплексный - передача ведется в обоих направлениях, но попеременно во времени (примером такой передачи служит технология Ethernet);
- дуплексный - передача ведется одновременно в двух направлениях.

Дуплексный режим — наиболее универсальный и производительный способ работы канала. Самым простым вариантом организации дуплексного режи-

ма является использование двух независимых физических каналов (двух пар проводников или двух световодов) в кабеле, каждый из которых работает в симплексном режиме, то есть передает данные в одном направлении. Именно такая идея лежит в основе реализации дуплексного режима работы во многих сетевых технологиях, например Fast Ethernet или ATM.

Иногда такое простое решение оказывается недоступным или неэффективным. Чаще всего это происходит в тех случаях, когда для дуплексного обмена данными имеется всего один физический канал, а организация второго связана с большими затратами. Например, при обмене данными с помощью модемов через телефонную сеть у пользователя имеется только один физический канал связи с АТС — двухпроводная линия и приобретать второй вряд ли целесообразно. В таких случаях дуплексный режим работы организуется на основе разделения канала на два логических подканала с помощью техники FDM или TDM.

Модемы для организации дуплексного режима работы на двухпроводной линии применяют технику FDM. Модемы, использующие частотную модуляцию, работают на четырех частотах: две частоты — для кодирования единиц и нулей в одном направлении, а остальные две частоты — для передачи данных в обратном направлении.

При цифровом кодировании дуплексный режим на двухпроводной линии организуется с помощью техники TDM. Часть тайм-слотов используется для передачи данных в одном направлении, а часть — для передачи в другом направлении. Обычно тайм-слоты противоположных направлений чередуются, из-за чего такой способ иногда называют «пинг-понговой» передачей. TDM-разделение линии характерно, например, для цифровых сетей с интеграцией услуг (ISDN) на абонентских двухпроводных окончаниях.

В волоконно-оптических кабелях с одним оптическим волокном для организации дуплексного режима работы применяется передача данных в одном направлении с помощью светового пучка одной длины волны, а в обратном — другой длины волны. Собственно, решение частной задачи — создания двух независимых спектральных каналов в окне прозрачности оптического волокна - и привело к созданию новой технологии на основе мультиплексирования по длине волны. Сначала в каждом направлении использовалось по одному каналу, что обеспечивало только дуплексный режим работы, а потом стали применять по 2 или 4 канала, и такая технология получила название Wave Division Multiplexing (WDM). Дальнейшее повышение числа каналов до 16, 32 и 40 заставило несколько изменить название, технология получила приставку dense (плотное) - Dense WDM или DWDM.

Выводы:

- Первичные или опорные сети предназначены для создания коммутируемой инфраструктуры, с помощью которой можно достаточно быстро и гибко

организовать постоянный канал с топологией «точка-точка» между двумя пользовательскими устройствами, подключенными к такой сети.

- Современные первичные сети используют технику коммутации каналов различного типа: с частотным мультиплексированием (FDM), с разделением времени (TDM), с мультиплексированием по длине волны (WDM/DWDM).

- В сетях FDM каждому абонентскому каналу выделяется полоса частот шириной 4 кГц. Существует иерархия каналов FDM, при этом 12 абонентских каналов образуют группу каналов первого уровня иерархии (базовую группу) полосой 48 кГц, 5 каналов первого уровня объединяются в канал второго уровня иерархии (супергруппу) с полосой 240 кГц, а 10 каналов второго уровня составляют канал третьего уровня иерархии (главную группу) с полосой в 2,4 МГц.

1.2. Сети PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)

Существует два поколения технологий цифровых первичных сетей — технология плезиохронной («плезио» означает «почти», то есть почти синхронной) цифровой иерархии и более поздняя технология — синхронная цифровая иерархия (Synchronous Digital Hierarchy, SDH). В Америке технологии SDH соответствует стандарт SONET.

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. Каналы с частотным уплотнением, применяемые до этого на участках АТС—АТС, исчерпали свои возможности по организации высокоскоростной многоканальной связи по одному кабелю. В технологии FDM для одновременной передачи данных 12 или 60 абонентских каналов использовалась витая пара, а для повышения скорости связи приходилось прокладывать кабели с большим количеством пар проводов или более дорогие коаксиальные кабели. Кроме того, метод частотного уплотнения высокочувствителен к разного рода помехам, которые всегда присутствуют в территориальных кабелях, да и высокочастотная несущая речей сама создает помехи в приемной аппаратуре, будучи плохо отфильтрованной.

1.2.1. Иерархия скоростей

Для решения этих проблем 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 путем 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.

С середины 70-х годов выделенные каналы, построенные на аппаратуре T1, стали сдаваться телефонными компаниями в аренду на коммерческих условиях, перестав быть внутренней технологией этих компаний. Сети T1, а также более скоростные сети T2 и T3, позволяют передавать не только голос, но и любые данные, представленные в цифровой форме, — компьютерные данные, телевизионное изображение, факсы и т.п.

Технология цифровой иерархии была позже стандартизована ССИТТ. При этом в нее были внесены некоторые изменения, что привело к несовместимости американской и международной версий цифровых сетей. Американская версия распространена сегодня кроме США также в Канаде и Японии (с некоторыми различиями), а в Европе применяется международный стандарт. Аналогом каналов T в международном стандарте являются каналы типа E1, E2 и E3 с другими скоростями - соответственно 2,048 Мбит/с; 8,488 Мбит/с и 34,368 Мбит/с. Американский вариант технологии также был стандартизован ANSI.

Несмотря на различия американской и международных версии технологии цифровой иерархии, для обозначения иерархии скоростей принято использовать одни и те же обозначения — DS_n (Digital Signal n). В табл. 1.1 приводятся значения для всех введенных стандартами уровней скоростей обеих технологий. На практике в основном используются каналы T1/E1 и T3/E3.

Таблица 1.1

Иерархия цифровых скоростей

Обозначение скорости	Америка			ССИТТ(Европа)		
	Кол-во голосовых каналов	Кол-во каналов пред. уровня	Скорость Мбит/с	Кол-во голосовых каналов	Кол-во каналов пред. уровня	Скорость Мбит/с
DS-0	1	1	0,064	1	1	0,064
DS-1	24	24	1,544	30	30	2,048
DS-2	96	4	6,312	120	4	8.488
DS-3	672	7	44,736	480	4	34,368
DS-4	4032	6	274,176	1920	4	139,246

1.2.2. Методы мультиплексирования

Мультиплексор T1 обеспечивает передачу данных 24 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 байт вставляется один бит синхронизации. Первоначально устройства T1 (которые дали имя также и всей технологии, работающей на скорости 1,544 Мбит/с) работали только на внутренних тактовых генераторах, и каждый кадр с помощью битов синхронизации мог передаваться асинхронно. Аппаратура T1, а также более скоростная аппаратура T2 и T3 за долгие годы существования претерпела значительные изменения. 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. В частности, с помощью этого бита передается служебная информация, переносящая номер вызываемого абонента и другие сведения, необходимые для установления соединения между абонентами сети. Протокол, обеспечивающий такое соединение, называется в телефонии протоколом сигнализации (signaling protocol), этот термин иногда используется и в компьютерных сетях, работающих на основе техники логических соединений (например, frame relay или АТМ). При передаче голоса в сетях T1 все 24 канала являются абонентскими, поэтому управляющая и контрольная информация передается восьмым (наименее значащим) битом замеров голоса. В ранних версиях сетей T1 служебным был 8-й бит каждого байта кадра, поэтому реальная скорость передачи пользовательских данных составляла 56 кбит/с (обычно восьмой бит отводился под такие служебные данные, как номер вызываемого телефонного абонента, сигнал занятости линии, сигнал снятия трубки и т.п.). Затем технология была улучшена, и для служебных целей стали использовать только каждый шестой кадр. Таким образом, в пяти кадрах из шести пользовательские данные представлены всеми восемью битами, а в шестом — только семью.

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 каналов T1 в один канал T2 между кадрами DS-1 по-прежнему используется один бит синхронизации, а кадры DS-2 (кото-

рые состоят из 4 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.

Международная версия этой технологии описана в стандартах G.700-G.706. Она более логична, так как не использует схему «кражи бита». Кроме того, она основана на постоянном коэффициенте кратности скорости 4 при переходе к следующему уровню иерархии. Вместо восьмого бита в канале E1 на служебные цели отводятся два байта из 32, а именно нулевой (для целей синхронизации приемника и передатчика) и шестнадцатый (в нем передается служебная информация сигнализации). Для голосовых каналов или каналов данных остается 30 каналов со скоростью передачи 64 кбит/с каждый.

Пользователь может арендовать несколько каналов 64 кбит/с (56 кбит/с) в канале T1/E1. Такой канал называется «дробным» (fractional) каналом T1/E1. В этом случае пользователю отводится несколько тайм-слотов работы мультиплексора. 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 V8ZS, 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.

Физический уровень международного варианта технологии определяется стандартом G.703, названием которого обозначается тип интерфейса маршрутизатора или моста, подключаемого к каналу E1. Американский вариант интерфейса носит название T1.

1.2.3. Ограничения технологии PDH

Как американский, так и международный варианты технологии PDH обладают несколькими недостатками.

Одним из основных недостатков является сложность и неэффективность операций мультиплексирования и демуплексирования 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. Изначально асинхронный подход к передаче кадров породил вставку бита или несколько битов синхронизации между кадрами.

В результате для извлечения пользовательских данных из объединенного канала необходимо полностью демультиплексировать кадры этого объединенного канала. Например, чтобы получить данные одного абонентского канала 64 кбит/с из кадров канала T3, необходимо произвести демультиплексирование этих кадров до уровня кадров T2, затем — до уровня кадров T1, а затем демультиплексировать и сами кадры T1. Для преодоления этого недостатка в сетях PDH реализуют некоторые дополнительные приемы, уменьшающие количество операций демультиплексирования при извлечении пользовательских данных из высокоскоростных каналов. Например, одним из таких приемов является «обратная доставка» (back hauling). Пусть коммутатор 1 канала T3 принимает поток данных, состоящий из 672 пользовательских каналов. И пусть при этом он должен передать данные одного из этих каналов пользователю, подключенному к низкоскоростному выходу коммутатора. Весь же остальной поток данных он должен направить транзитом через другие коммутаторы в некоторый конечный демультиплексор 2, где поток T3 будет полностью разобран на каналы 64 кбит/с. Для экономии времени коммутатор 1 пропускает операцию демультиплексирования для своего пользователя, откладывая ее на тот момент, когда конечный демультиплексор выполнит операцию разбора кадров и вернет данные одного из каналов коммутатору 1. Естественно, такие сложные взаимоотношения коммутаторов усложняют работу сети, требуют ее тонкого конфигурирования, что ведет к большому объему ручной работы и ошибкам.

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, очень полезных для первичных сетей, на основе которых строятся ответственные междугородные и международные сети. В современных сетях управлению уделяется большое внимание, причем считается, что управляющие процедуры желательно встраивать в основной протокол передачи данных 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).

1.3. Сети SDH (Synchronous Digital Hierarchy)

Технология синхронной цифровой иерархии разработана для создания надежных транспортных сетей, позволяющих гибко формировать цифровые каналы широкого диапазона скоростей — от единиц мегабит до десятков гига-

бит в секунду. Основная область применения технологии SDH — первичные сети операторов связи, но иногда такие сети строят крупные предприятия и организации, имеющие разветвленную структуру подразделений и филиалов, покрывающих большую территорию, например, в сетях предприятий энергетического комплекса или железнодорожных компаний. Каналы SDH относятся к классу полупостоянных (semi permanent) — формирование канала происходит по инициативе оператора сети SDH, пользователи же лишены такой возможности, поэтому каналы SDH 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.

Сети SDH относятся к классу сетей с коммутацией каналов, использующих синхронное мультиплексирование с разделением времени (Time Division Multiplexing, TDM), при котором информация от отдельных абонентов адресуется относительным временным положением внутри составного кадра, а не явным адресом, как это происходит в сетях с коммутацией пакетов. Каналы SDH обычно применяют для объединения большого количества периферийных (и менее скоростных) каналов, работающих по технологии плезиохронной цифровой иерархии (Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH). Пример использования каналов SDH для соединения между собой абонентского оборудования разного типа приведен на рис. 1.4. Сети SDH обладают многими достоинствами, главные из которых перечислены ниже:

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

2) Отказоустойчивость сети. Сети SDH обладают высокой степенью «живучести» — технология предусматривает автоматическую реакцию оборудования на такие типичные отказы, как обрыв кабеля, отказ порта, выход из строя мультиплексора или отдельной его карты, направляя трафик по резервному пути или переходя на резервный модуль. Переход на резервный путь происходит очень быстро — обычно в течение 50 мс.

3) Мониторинг и управление сетью на основе информации, встроенной в заголовки кадров. Это обеспечивает обязательный уровень управляемости сети, не зависящий от производителя оборудования, и создает основу для наращивания функций менеджмента в фирменных системах управления.

4) Высокое качество транспортного обслуживания для трафика любого типа - голосового, видео и компьютерного. Техника мультиплексирования TDM, лежащая в основе SDH, обеспечивает трафику каждого абонента гарантирован-

ную пропускную способность, а также низкий и фиксированный уровень задержек.

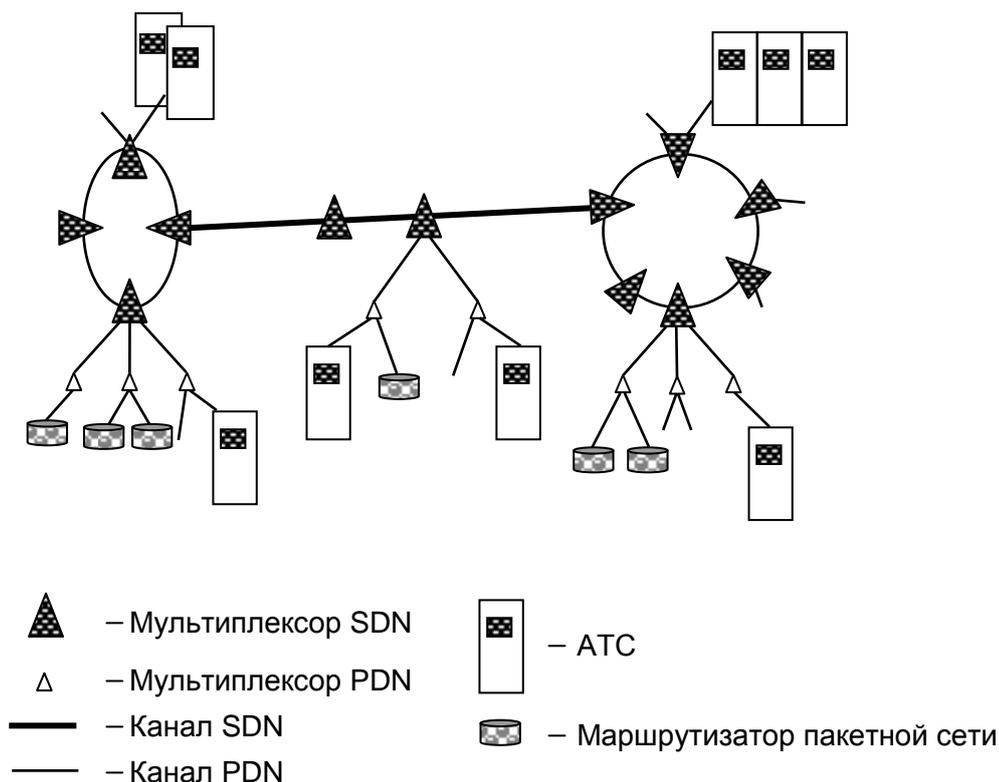


Рис. 1.4. Применение технологии SDN

Сети SDN добились прочного положения в телекоммуникационном мире; сегодня они составляют фундамент практически всех крупных сетей — региональных, национальных и международных. Укрепляет это положение и то, что технология SDN может легко интегрироваться с технологией DWDM, обеспечивающей передачу информации по оптическим магистралям с еще более высокими скоростями — сотни гигабит в секунду и выше — за счет мультиплексирования с разделением по длине волны. В магистральных сетях с ядром DWDM сети SDN будут играть роль сети доступа, то есть ту же роль, которую играют сети PDN по отношению к SDN.

У технологии SDN есть, естественно, и недостатки. Сегодня чаще всего говорят о ее неспособности динамически перераспределять пропускную способность между абонентами сети — свойстве, обеспечиваемом пакетными сетями. Значимость этого недостатка будет возрастать по мере увеличения доли и ценности трафика по отношению к стандартному голосовому трафику.

1.3.1. История возникновения

Технология синхронной цифровой иерархии первоначально была разработана компанией Bellcore под названием «Синхронные оптические сети» — Synchronous Optical NETs, SONET. Эта технология явилась развитием технологии

PDH, которая появилась в 60-е годы для построения качественных и относительно недорогих цифровых каналов между телефонными станциями. PDH долгое время хорошо справлялась со своими обязанностями в качестве магистральной технологии, предоставляя пользователям каналы T1 (1,5 Мбит/с) и T3 (45 Мбит/с) в американском варианте или каналы E1 (2 Мбит/с), E3 (34 Мбит/с) и E4(140 Мбит/с) в европейском и международном вариантах. Быстрое развитие телекоммуникационных технологий привело к необходимости расширения иерархии скоростей PDH и использовании всех возможностей, которые предоставляла новая среда — волоконно-оптические линии связи.

Одновременно с повышением верхней границы линейки скоростей нужно было освободиться от недостатков PDH, которые выявились за время эксплуатации этих сетей. Одним из основных недостатков PDH является, прежде всего, принципиальная невозможность выделения отдельного низкоскоростного потока из высокоскоростного без полного демультиплексирования последнего. Кроме того, в технологии PDH не были предусмотрены встроенные средства обеспечения отказоустойчивости и управления сетью.

Все эти недостатки были учтены и преодолены разработчиками технологии SONET. Первый вариант стандарта технологии SONET появился в 1984 году. Затем эта технология была стандартизована комитетом T1 ANSI. Международная стандартизация технологии проходила под эгидой Европейского института «коммуникационных стандартов (ETSI) и CCITT, совместно с ANSI и ведущими телекоммуникационными компаниями Америки, Европы и Японии. Основной целью разработчиков международного стандарта было создание такой технологии, которая бы позволяла передавать трафик всех существующих цифровых каналов уровня PDH (как американских T1-T3, так и европейских E1-E4) в рамках высокоскоростной магистральной сети, использующей волоконно-оптические кабели, и обеспечила бы иерархию скоростей, продолжающую иерархию технологии PDH до скорости в несколько Гбит/с.

В результате длительной работы удалось разработать международный стандарт 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, ETSI — ETS 300 147). Стандарты SONET также были доработаны так, что аппаратура и сети SDH и SONET являются совместимыми и могут мультиплексировать входные потоки практически любого стандарта PDH - и американского, и европейского.

1.3.2. Иерархия скоростей и методы мультиплексирования

Технология SONET/SDH поддерживает определенную иерархию скоростей, которую иллюстрирует табл. 1.2.

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 существует два обозначения для уровней скоростей: STS-N (Synchronous Transport Signal level N), употребляемое для

случая передачи данных электрическим сигналом, и OC-N (Optical Carrier level N), употребляемое в случае передачи данных по волоконно-оптическому кабелю. Далее для упрощения изложения сосредоточимся на технологии SDH. Кадры STM-N имеют достаточно сложную структуру, позволяющую агрегировать в общий магистральный поток потоки SDH и PDH различных скоростей, а также выполнять операции ввода-вывода без полного демультиплексирования магистрального потока.

Таблица 1.2

Иерархия скоростей SONET/SDN

SDN	SONET	Скорость
	STS-1,OC-1	51,84 Мбит/с
STM-1	STS-3,OC-3	155,520 Мбит/с
STM-3	OC-9	466,560 Мбит/с
STM-4	OC-12	622,080 Мбит/с
STM-6	OC-18	933,120 Мбит/с
STM-8	OC-24	1,244 Гбит/с
STM-12	OC-36	1,866 Гбит/с
STM-16	OC-48	2,488 Гбит/с
STM-64	OC-192	9,953 Гбит/с
STM-256	OC-768	39,61 Гбит/с

Операции мультиплексирования и ввода-вывода выполняются с использованием виртуальных контейнеров (Virtual Container, VC), которые позволяют переносить через сеть SDH блоки данных PDH. Виртуальный контейнер содержит кроме блоков данных PDH некоторую служебную информацию, в частности заголовок пути контейнера (Path OverHead, POH), в котором переносится статистическая информация о процессе прохождения контейнера вдоль пути от его начальной до конечной точки (сообщения об ошибках), а также другие служебные данные, например, индикатор установления соединения между конечными точками. В результате виртуальный контейнер имеет больший размер, чем соответствующий размер блока данных PDH, который он переносит. Например, виртуальный контейнер VC-12, переносящий 32 байта данных потока E1, состоит из 35 байт.

В технологии SDN (рис 1.5) определено несколько типов виртуальных контейнеров, предназначенных для транспортировки основных типов блоков данных PDH: VC-11 (1,5 Мбит/с), VC-12 (2Мбит/с) VC-3 (34 Мбит/с) и VC-4 (140 Мбит/с).

Виртуальные контейнеры являются единицей коммутации мультиплексов SDH. В каждом мультиплексе существует таблица соединений (называемая также таблицей кросс-соединений), в которой указано, например, что контейнер VC-12 порта P1 соединен с контейнером VC-12 порта P5, а контейнер VC-3 порта P8 соединен с контейнером VC-3 порта P9. Таблицу соединений формирует администратор сети с помощью системы управления или управля-

ющего терминала в каждом мультиплексоре так, чтобы обеспечить сквозной путь для соединения конечных точек сети, к которым присоединено оборудование пользователей.

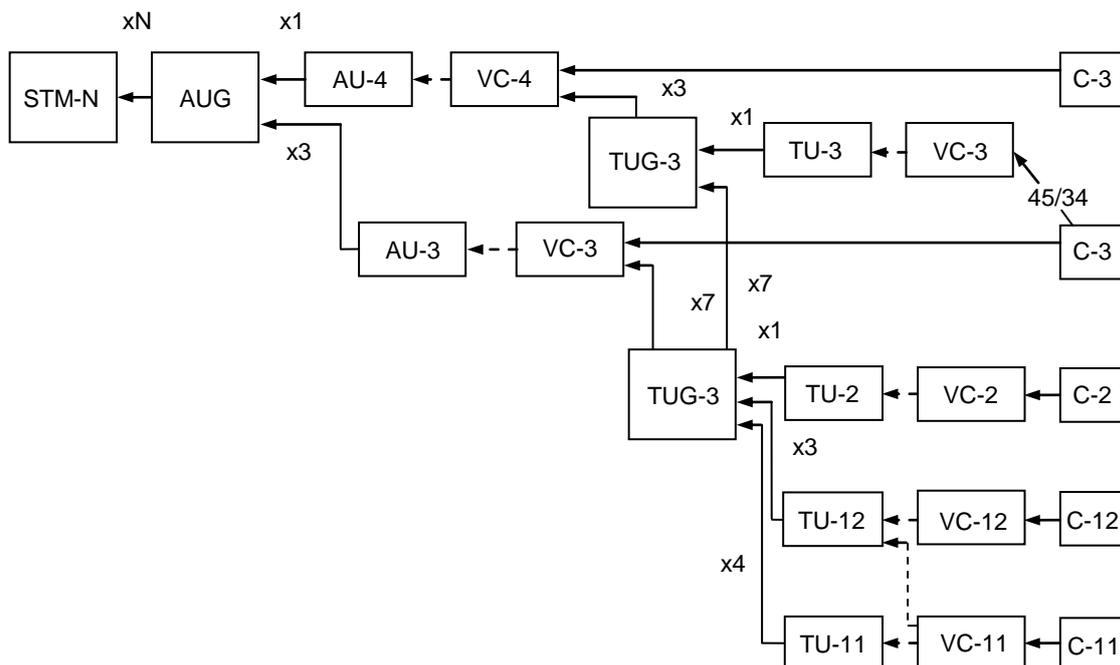


Рис. 1.5. Схема мультиплексирования данных в SDN

Для совмещения в рамках одной сети синхронной передачи кадров STM-N с асинхронным характером переносимых этими кадрами пользовательских данных PDH в технологии SDH применяются указатели (pointers). Концепция указателей является ключевой в технологии SDH, она заменяет выравнивание скоростей асинхронных источников с помощью дополнительных битов, принятое в технологии PDH. Указатель определяет текущее положение виртуального контейнера в структуре более высокого уровня — трибутарном блоке (Tributary Unit, TU) или административном блоке (Administrative Unit, AU). Применение указателя позволяет виртуальному контейнеру «плавать» в определенных пределах внутри своего трибутарного или административного блока, который, в свою очередь, занимает уже фиксированное положение в кадре. Собственно, основное отличие этих блоков от виртуального контейнера — это добавленное поле указателя. Система указателей и позволяет мультиплексору находить положение пользовательских данных в синхронном потоке байтов кадров STM-N и «на лету» извлекать их оттуда, что не позволяет механизм мультиплексирования, принятый в PDH.

Трибутарные блоки объединяются в группы, которые, в свою очередь, входят в административные блоки. Группа из N административных блоков (AUG) и образует полезную нагрузку кадра STM-N, помимо этого в кадр входит заголовок с общей для всех административных блоков служебной информацией. На каждом шаге преобразования к предыдущим данным добавляется несколько служебных байтов, помогающих распознать структуру группы бло-

ков или блока и затем с помощью указателей определить начало пользовательских данных.

Схема мультиплексирования SDH предоставляет разнообразные возможности по объединению пользовательских потоков PDH. Например, для кадра STM-1 можно реализовать такие варианты:

- один поток E4;
- 63 потока E1;
- один поток E3 и 42 потока E1.

1.3.3. Типы оборудования

Основным элементом сети SDH является мультиплексор (рис. 1.6). Мультиплексор обычно оснащен некоторым количеством портов PDH и SDH, например портами PDH 2 Мбит/с, 34 Мбит/с и портами SDH 155 Мбит/с STM-1 и 622 Мбит/с STM-4. Порты мультиплексора SDH делятся на агрегатные и трибутарные (трибы). Трибутарные порты часто называют также портами ввода-вывода, а агрегатные — линейными портами. Эта терминология отражает типовые топологии сетей SDH с ярко выраженной магистралью в виде цепи или кольца, через которую передаются потоки данных, поступающие от пользователей сети через порты ввода-вывода, то есть как бы «втекающие» в агрегированный поток (tributary — приток).

Мультиплексоры SDH обычно делят на терминальные мультиплексоры (Terminal Multiplexor, TM) и мультиплексоры ввода-вывода (Add-Drop Multiplexor, ADM). Разница между ними состоит не в составе портов, а в положении мультиплексора в сети SDH. Терминальный мультиплексор завершает агрегатные каналы, мультиплексируя в них большое количество каналов ввода-вывода (трибутарных).

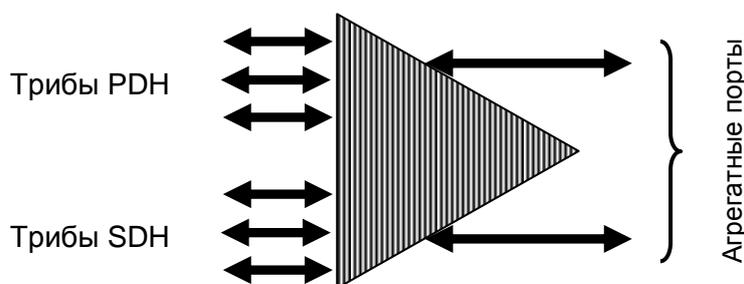


Рис. 1.6. Мультиплексор SDH

Мультиплексор ввода-вывода транзитом передает агрегатные каналы, занимая промежуточное положение на магистрали (в кольце, цепи или смешанной топологии). При этом данные трибутарных каналов вводятся или выводятся в агрегатный канал. Агрегатные порты мультиплексора поддерживают максимальный для данной модели уровень скорости STM-N, который является характеристикой мультиплексора в целом, например, STM-4 или STM-64.

Иногда различают так называемые кросс-коннекторы (Digital Cross-Connect, DXC) — мультиплексоры, которые выполняют операции коммутации

над произвольными виртуальными контейнерами, в отличие от мультиплексов ввода-вывода, поддерживающих только специальные операции, сводящиеся к коммутации 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, то есть контейнеров VC-4 и их групп. Последний вид мультиплексов пока применяется реже, чем остальные, так как требует наличия большого количества агрегатных портов и ячеистой топологии сети, а это существенно удорожает как сам мультиплексор, так и сеть в целом.

Большинство производителей выпускает универсальные мультиплексоры, которые могут использоваться как терминальные, ввода-вывода и кросс-коннекторы — в зависимости от набора установленных модулей с агрегатными и трибутарными портами. Ограничением может являться возможность установки нескольких агрегатных портов — производители часто выпускают модели мультиплексов, позволяющих устанавливать только одну агрегатную карту с двумя портами — минимальная конфигурация, обеспечивающая работу в сети с топологией кольцо или цепь. Такое построение мультиплексора снижает его стоимость, но может усложнить проектирование сети, если требуется реализовать ячеистую топологию на максимальной для мультиплексора скорости.

Кроме мультиплексов в состав сети SDH могут входить регенераторы, необходимые 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, при этом восстанавливается форма сигнала и его временные характеристики. В настоящее время регенераторы SDH применяются достаточно редко, так как стоимость их ненамного меньше стоимости мультиплексора, а функциональные возможности соизмеримы.

Стек протоколов SDH состоит из протоколов 4-х уровней:

1) Физический уровень, названный в стандарте фотонным (photonic), имеет дело с кодированием битов информации путем модуляции света. Для кодирования оптического сигнала применяется потенциальный код NRZ.

2) Уровень секции (section) поддерживает физическую целостность сети. Секцией в технологии SDH называется каждый непрерывный отрезок волоконно-оптического кабеля, который соединяет пару устройств SONET/SDH между собой, например мультиплексор и регенератор, регенератор и регенератор. Секцию часто называют регенераторной секцией, имея в виду, что выполнение функций этого уровня не требует, чтобы оконечные устройства секции были мультиплексорами.

3) Уровень линии отвечает за передачу данных между двумя мультиплексорами сети. Протокол этого уровня работает с кадрами уровня STS-N для выполнения различных операций мультиплексирования и демуплексиро-

вания, а также вставки и удаления пользовательских данных. Протокол линии также ответственен за проведение операций реконфигурирования линии в случае отказа какого-либо ее элемента – оптического волокна, порта или соседнего мультиплексора.

4) Уровень тракта (path) отвечает за доставку данных между двумя конечными пользователями сети. Тракт (путь) – это составное виртуальное соединение между пользователями. Протокол тракта должен принять данные, поступающие в пользовательском формате, например в формате T1, и преобразовать их в синхронные кадры STM-N.

На рис 1.7 показано распределение протоколов SDN по типам оборудования SDN.

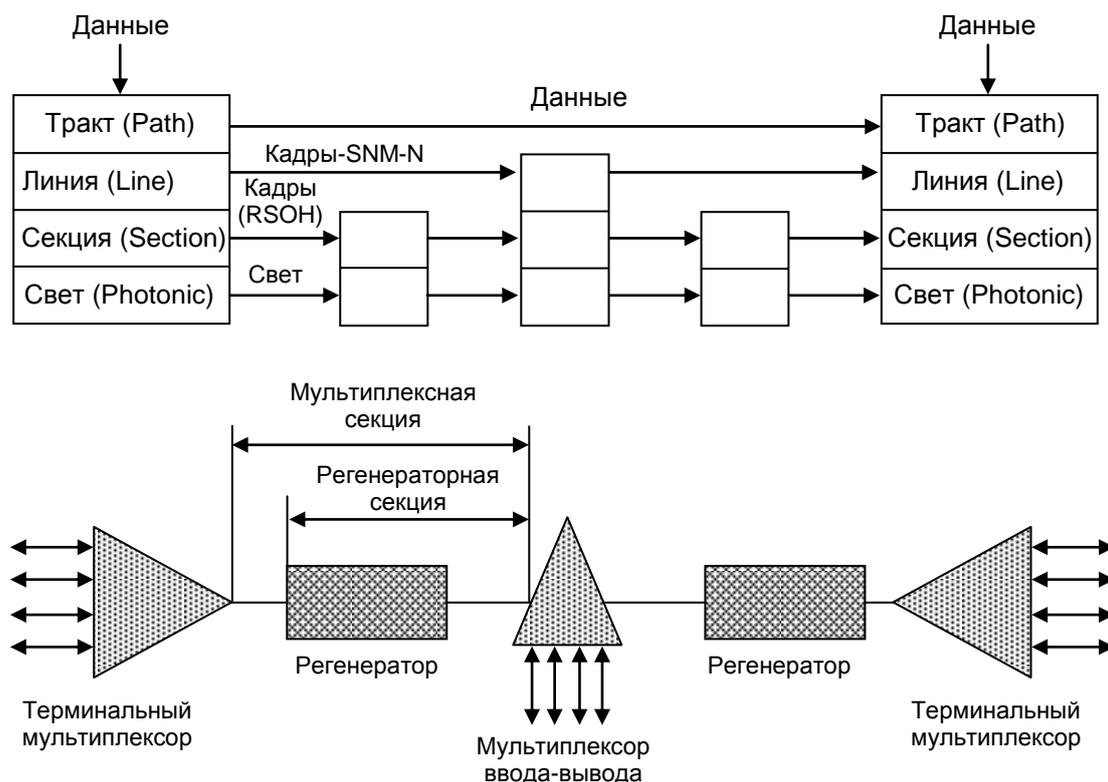


Рис. 1.7. Протоколы SDN

1.3.4. Типовые топологии

В сетях SDN применяются различные топологии связей. Наиболее часто используются кольца и линейные цепи мультиплексоров, также находит все большее применение ячеистая топология, близкая к полносвязной.

Кольцо SDN строится из мультиплексоров ввода-вывода, имеющих, по крайней мере, по два агрегатных порта (рис. 1.8, а). Пользовательские потоки вводятся в кольцо и выводятся из кольца через трибутарные порты, образуя соединения «точка-точка» (на рисунке показаны в качестве примера два таких соединения). Кольцо является классической регулярной топологией, обладающей потенциальной отказоустойчивостью — при однократном обрыве кабеля или выходе из строя мультиплексора соединение сохранится, если его направить по

кольцу в противоположном направлении. Кольцо обычно строится на основе кабеля с двумя оптическими волокнами, но иногда для повышения надежности и пропускной способности применяют четыре волокна.

Цепь (рис. 1.8, б) — это линейная последовательность мультиплексов, из которых два оконечных играют роль терминальных, а остальные — мультиплексов ввода-вывода. Обычно сеть с топологией цепи применяется в тех случаях, когда узлы имеют соответствующее географическое расположение, например, вдоль магистрали железной дороги или трубопровода. Правда, в таких случаях может применяться и плоское кольцо (рис. 1.8, в), обеспечивающее более высокий уровень отказоустойчивости за счет использования двух дополнительных волокон в магистральном кабеле и по одному дополнительному агрегатному порту у терминальных мультиплексов.

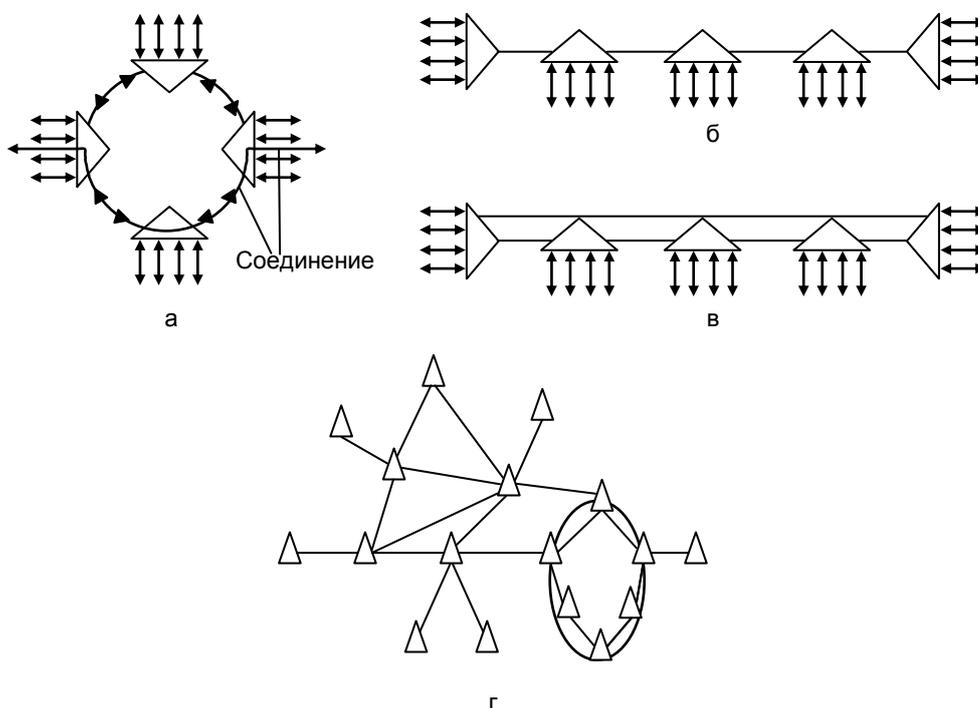


Рис. 1.8. Типовые топологии

Эти базовые топологии могут комбинироваться при построении сложной и разветвленной сети SDH, образуя участки с радиально-кольцевой топологией, соединениями «кольцо-кольцо» и т.п. Наиболее общим случаем является ячеистая топология сети (рис. 1.8, г), при которой мультиплексы соединяются друг с другом большим количеством связей, за счет чего сеть может достичь очень высокой степени производительности и надежности.

Выводы:

1. Разработчики сетей SDH (первоначальное название — SONET, которое осталось за американским вариантом технологии) преследовали несколько целей:

–расширение иерархии скоростей до мультимегабитных и гигабитных; повышение гибкости механизма мультиплексирования;

–возможность непосредственной вставки и выделения низкоскоростных потоков в высокоскоростной поток;

–обеспечение асинхронности низкоскоростного потока относительно высокоскоростного;

–встраивание механизмов отказоустойчивости в базовую технологию сети.

2. Асинхронность вставки абонентских потоков в кадр SDH обеспечивается благодаря концепции виртуальных контейнеров и системы плавающих указателей, отмечающих начало пользовательских данных в виртуальном контейнере.

3. Мультиплексоры SDH могут работать в сетях с различной топологией: цепи, кольца и ячеистой топологией. Различают несколько специальных типов мультиплексоров, которые занимают специфическое место в сети: терминальные мультиплексоры, мультиплексоры ввода-вывода и кросс-коннекторы.

4. В сетях SDH поддерживается большое количество механизмов отказоустойчивости, которые защищают трафик данных на уровне отдельных блоков, портов или соединений: EPS, CP, MSP, SNC-P и MS-SPRing. Наиболее эффективная схема защиты выбирается в зависимости от логической топологии соединений в сети.

1.4. Сети DWDM

Технология плотного волнового (спектрального) мультиплексирования (Dense Wave Division Multiplexing, DWDM) предназначена для создания оптических магистралей нового поколения, работающих на мультигигабитных и терабитных скоростях. Такой качественный скачок производительности обеспечивает принципиально иной, нежели у SDH, метод мультиплексирования — информация в оптическом волокне передается одновременно большим количеством световых волн (лямбд — от традиционного для физики обозначения длины волны). Сети DWDM работают по принципу коммутации каналов, при этом каждая световая волна представляет собой отдельный спектральный канал. Каждая волна несет собственную информацию, при этом оборудование DWDM не занимается непосредственно проблемами передачи данных на каждой волне, то есть способом кодирования информации и протоколом ее передачи. Устройства DWDM занимаются только объединением различных волн в одном световом пучке, а также выделением из общего сигнала информации каждого спектрального канала.

1.4.1. Принципы работы

Сегодня оборудование DWDM позволяет передавать по одному оптическому волокну 32 и более волн разной длины в окне прозрачности 1550 нм, при этом каждая волна может переносить информацию со скоростью до 10 Гбит/с

(при применении протоколов STM-64 или 10GE для передачи информации на каждой волне). В настоящее время ведутся работы по повышению скорости передачи информации на одной длине волны до 40-80 Гбит/с.

У технологии DWDM имеется предшественница — технология WDM, которая использует четыре спектральных канала в окнах прозрачности 1310 нм и 1550 нм, с разносом несущих в $800 \div 400$ ГГц (стандартной классификации WDM не существует, встречаются системы WDM и с другими характеристиками). Мультиплексирование DWDM называется «плотным» из-за того, что в нем используется существенно меньшее расстояние между длинами волн, чем в WDM. На сегодня рекомендацией ITU-T G.692 определены: частотный план с разнесением частот между соседними каналами 100 ГГц ($\Delta\lambda \approx 0,8$ нм), в соответствии с которым для передачи данных применяется 41 волна в диапазоне от 1528,77 нм (196,1 ТГц) до 1560,61 нм (192,1 ТГц), и частотный план с шагом в 50 ГГц ($\Delta\lambda \approx 0,4$ нм), позволяющий передавать в этом же диапазоне 81 длину волны. Некоторыми компаниями выпускается также оборудование (на сегодня — это чаще всего экспериментальные образцы, а не серийная продукция), способное работать с частотной сеткой с шагом 25 ГГц (называемое High-Dense WDM, HDWDM). Реализация частотных планов с шагом 50 ГГц и 25 ГГц предъявляет гораздо более жесткие требования к оборудованию DWDM, особенно в том случае, если каждая волна переносит сигналы со скоростью модуляции 10 Гбит/с и выше (STM-64, 10GE или STM-256). Необходимо подчеркнуть, что сама технология DWDM (как и WDM) не занимается непосредственно кодированием переносимой на каждой волне информации — это проблема более низкоуровневой технологии, которая пользуется предоставленной ей волной по своему усмотрению и может передавать на этой волне как дискретную, так и аналоговую информацию.

Но так как ширина спектра передаваемого сигнала пропорциональна частоте модуляции, а зазор между частотами соседних волн должен быть больше, чем спектр передаваемого сигнала, то при фиксированных значениях шага частотного плана возможность передачи на каждой волне того или иного закодированного сигнала явным образом зависит от его скорости (и принятого метода кодирования). Например, спектр сигнала STM-64 примерно в четыре раза шире спектра сигнала STM-16.

Теоретически зазоры между соседними волнами в 50 ГГц и даже 25 ГГц позволяют передавать данные со скоростями 10 Гбит/с, но при этом нужно обеспечить высокую точность частоты и минимально возможную ширину спектра несущей волны, а также снизить уровень шумов, чтобы минимизировать эффект перекрытия спектра (рис. 1.9).

Практический успех технологии DWDM, оборудование которой уже работает на магистральных многих ведущих мировых операторов связи (в том числе, и некоторых российских), во многом определило появление волоконно-оптических усилителей на основе кварца, легированного эрбием (Erbium-Doped Fiber Amplifier, EDFA).

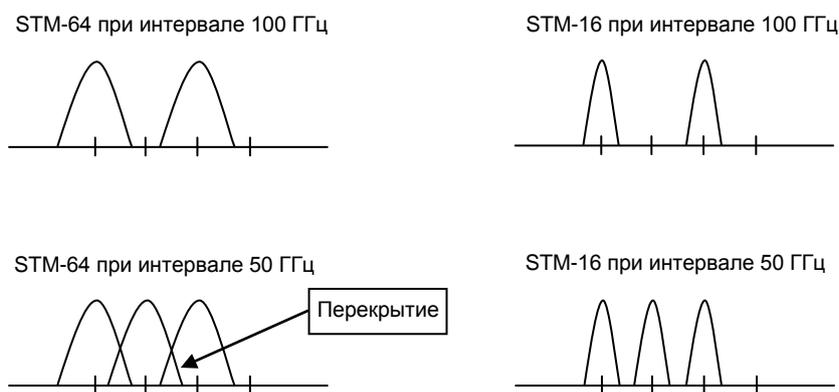


Рис. 1.9. Перекрытие спектра соседних волн для разных частотных планов и скоростей передачи данных

Эти оптические устройства непосредственно усиливают световые сигналы в диапазоне 1550 нм, исключая необходимость промежуточного преобразования их в электрическую форму, как это делают регенераторы, применяемые в сетях SDH. Системы электрической регенерации сигналов являются весьма дорогими и, кроме того, протоколно-зависимыми, так как они должны воспринимать определенный вид кодирования сигнала. Оптические усилители, «прозрачно» передающие информацию, позволяют наращивать скорость магистрали без необходимости модернизации усилительных блоков.

Протяженность участка между оптическими усилителями может достигать 150 км и более, что обеспечивает экономичность создаваемых магистралей DWDM, в которых длина мультиплексной секции составляет на сегодня 600-3000 км при применении от 1 до 7 промежуточных оптических усилителей. Оптические усилители используются не только для увеличения расстояния между мультиплексорами, но и внутри самих мультиплексоров. Если мультиплексирование и кросс-коммутация выполняются исключительно оптическими средствами, без преобразования в электрическую форму, то сигнал при пассивных оптических преобразованиях теряет мощность и его нужно усиливать перед передачей на линию.

Новые исследования в области EDFA привели к появлению усилителей, работающих в L-диапазоне (4-е окно прозрачности), от 1570 до 1605 нм. Использование этого диапазона, а также сокращение расстояния между волнами до 50 ГГц и 25 ГГц позволяет нарастить количество одновременно передаваемых длин волн до 80-160 и более, то есть обеспечить передачу трафика со скоростями 800 Гбит/с-1,6 Тбит/с в одном направлении по одному оптическому волокну. С успехами DWDM связано еще одно перспективное технологическое направление — полностью оптические сети (All-Optical Networks). В таких сетях все операции по мультиплексированию/демультиплексированию, вводу-выводу и кросс-коммутации (маршрутизации) пользовательской информации выполняются без преобразования сигнала из оптической формы в электрическую (такие устройства и сети имеют обозначение «О-О-О», а аббревиатура «О-Е-О» применяется для традиционных оптико-электронных устройств). Ис-

ключение преобразований в электрическую форму позволяет существенно удешевить сеть, но возможности оптических технологий пока еще недостаточны для создания полностью оптических сетей нужного масштаба, поэтому практическое применение таких сетей ограничено фрагментами, между которыми выполняется электрическая регенерация сигнала. Тем не менее работы в этом направлении ведутся активно и полностью оптические системы кросс-коммутации уже выпускаются. Ниже перечислены основные преимущества технологии DWDM.

1) Дальнейшее повышение коэффициента использования частотного потенциала оптического волокна (его теоретическая полоса пропускания примерно 25000 ГГц) - достижение терабитных скоростей.

2) Отличная масштабируемость — повышение суммарной скорости сети за счет добавления новых спектральных каналов без необходимости замены всех магистральных модулей мультиплексоров (что требуется для перехода к новому уровню STM-N в сетях SDH).

3) Экономическая эффективность за счет отказа от электрической регенерации на участках сети большой протяженности.

4) Независимость от протокола передачи данных — технологическая «прозрачность», позволяющая передавать через магистраль DWDM трафик сетей любого типа.

5) Независимость спектральных каналов друг от друга.

6) Совместимость с технологией SDH — мультиплексоры DWDM оснащаются интерфейсами STM-N, способными принимать и передавать данные мультиплексоров SDH.

7) Совместимость с технологиями семейства Ethernet — Gigabit Ethernet и 10GE,

8) Стандартизация на уровне ITU-T.

1.4.2. Типовые топологии

Сети DWDM проходят в своем развитии те же этапы, что и сети SDH. Цепь «точка-точка». Наиболее популярным применением DWDM на первых этапах жизненного цикла этой технологии является создание сверхдальних высокоскоростных магистралей (Ultralong Haul), в которых применяется топология цепи (на рис. 1.10 показаны 32 волны как типичный, но не единственный вариант). Для организации такой магистрали достаточно в ее конечных точках установить терминальные мультиплексоры DWDM, а в промежуточных точках - оптические усилители, если этого требует расстояние между конечными точками. Терминальный мультиплексор включает собственно блок мультиплексирования/демультиплексирования, выходной (Booster, B) и предварительный (Pre-amplifier, P) усилители, а также набор транспондеров (Transponder, T), преобразующих входные сигналы от источников, длина волны которых не соответствует частотному плану мультиплексора, в волны, требуемой длины. В тех случаях,

когда некоторое подключаемое к сети DWDM устройство способно вырабатывать сигнал на волне одной из частот, поддерживаемых мультиплексором DWDM (плана ITU-T G.692 или частного плана производителя), транспондеры не используются. В этом случае говорят, что подключаемое к сети DWDM устройство имеет «окрашенный» интерфейс.

В рекомендации ITU-T G.692 определены три типа усилительных участков, то есть участков между двумя соседними мультиплексорами DWDM:

1. L (Long) — участок состоит максимум из 8 пролетов ВОЛС и 7 оптических усилителей, максимальное расстояние между усилителями — до 80 км при общей максимальной протяженности участка 640 км:

2. V (Very long) - участок состоит максимум из 5 пролетов ВОЛС и 4 оптических усилителей, максимальное расстояние между усилителями - до 120 км при общей максимальной протяженности участка 600 км;

3. U (Ultra long) - участок без промежуточных усилителей длиной до 160 км.

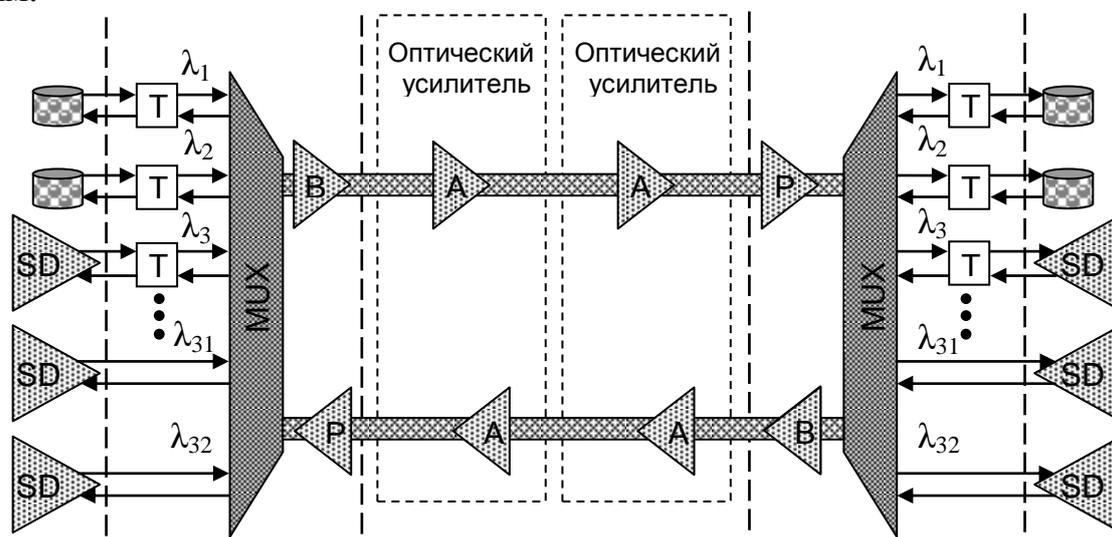


Рис. 1.10. Дальняя связь «точка-точка» на основе терминальных мультиплексоров DWDM

Ограничения на количество пассивных участков и их длину связаны с некоторой деградацией оптического сигнала при его оптическом усилении. Хотя оптический усилитель EDFA восстанавливает мощность сигнала, но он не полностью компенсирует эффект хроматической дисперсии (то есть распространения волн разной длины с разной скоростью, из-за чего сигнал на приемном конце волокна «размазывается»), а также такие нелинейные эффекты, как рамановское рассеивание, четырехволновое смешение и нестабильность модуляции. Поэтому для построения более протяженных магистралей необходимо между усилительными участками устанавливать мультиплексоры DWDM, выполняющие регенерацию сигнала за счет его преобразования в электрическую форму и обратно, то есть работающие по принципу О-Е-О. Ситуацию частично улучшают специальные компенсаторы дисперсии, но полностью восстановить

качество сигнала они не могут. Для уменьшения нелинейных эффектов в системах DWDM применяется также ограничение мощности сигнала, передаваемого по длинной линии.

В приведенной выше схеме дуплексный обмен между абонентами сети происходит за счет однонаправленной передачи всего набора волн по двум волокнам. Существует и другой вариант работы сети DWDM, когда для связи узлов сети используется одно волокно. Дуплексный режим достигается за счет двунаправленной передачи оптических сигналов по волокну — половина волн частотного плана передают информацию в одном направлении, а половина — в обратном. Цепь с промежуточными подключениями. Естественным развитием предыдущей топологии является сеть, в которой промежуточные узлы выполняют функции мультиплексоров ввода-вывода (рис. 1.11).

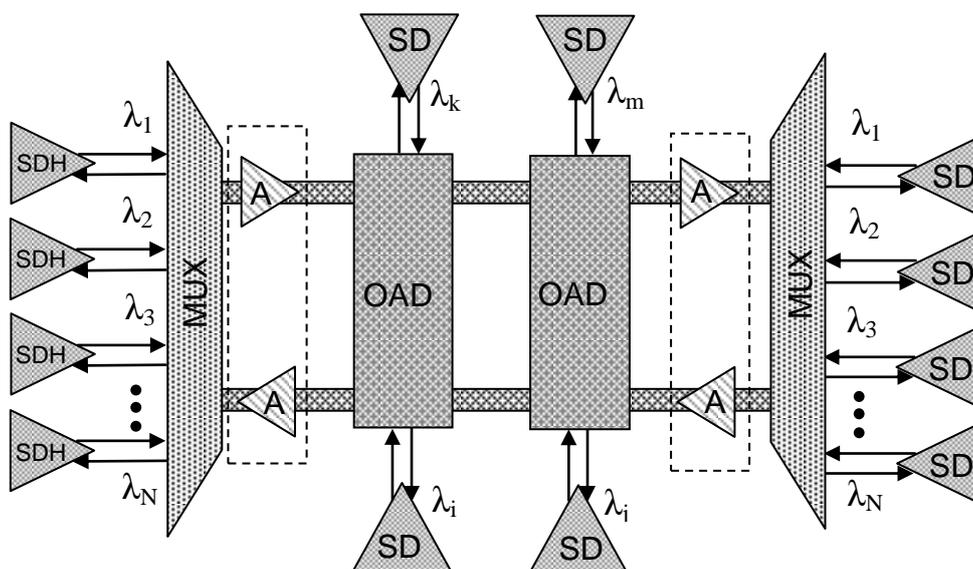


Рис. 1.11. Цепь DWDM с вводом – выводом в промежуточных узлах

Оптические мультиплексоры ввода-вывода (OADM) могут вывести из общего оптического сигнала волну определенной длины и ввести туда сигнал этой же длины волны, так что спектр транзитного сигнала не изменится, а соединение будет выполнено с одним из абонентов, подключенных к промежуточному мультиплексору. OADM может выполнять операции ввода-вывода волн оптическими средствами или путем промежуточного преобразования в электрическую форму. Обычно полностью оптические (пассивные) мультиплексоры ввода-вывода могут отводить небольшое число волн, так как каждая операция вывода требует последовательного прохождения оптического сигнала через оптический фильтр, который вносит дополнительное затухание. Если же мультиплексор использует электрическую регенерацию сигнала, то количество выводимых волн может быть любым в пределах имеющегося набора волн, так как транзитный оптический сигнал предварительно полностью демультиплексируется.

Кольцевая топология (рис. 1.12) обеспечивает живучесть сети DWDM за счет резервных путей. Методы защиты трафика, применяемые в DWDM, аналогичны методам SDH (хотя в DWDM они пока не стандартизованы). Если какое-либо соединение защищается, то между его конечными точками устанавливаются два пути — основной и резервный. Мультиплексор конечной точки сравнивает два сигнала и выбирает сигнал лучшего качества (или сигнал по умолчанию).

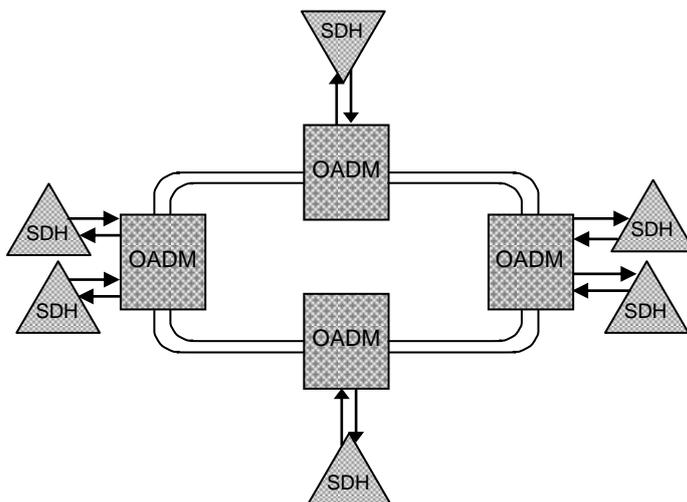


Рис. 1.12. Кольцо мультиплексоров DWDM

По мере развития сетей DWDM в них все чаще будет применяться ячеистая топология (рис. 1.13), которая обеспечивает большую гибкость, производительность и отказоустойчивость, чем остальные топологии. Однако для реализации ячеистой топологии необходимо наличие оптических кросс-коннекторов (ОХС), поддерживающих произвольную коммутацию (а не только добавление волн в общий транзитный сигнал и вывод их оттуда, как это делают мультиплексоры ввода-вывода) между оптическими сигналами, передаваемыми волнами разной длины. Оборудование такого класса сравнительно недавно появилось на рынке, причем пока не все ведущие производители имеют его в своих линейках продуктов, что затрудняет построение ячеистых сетей DWDM.

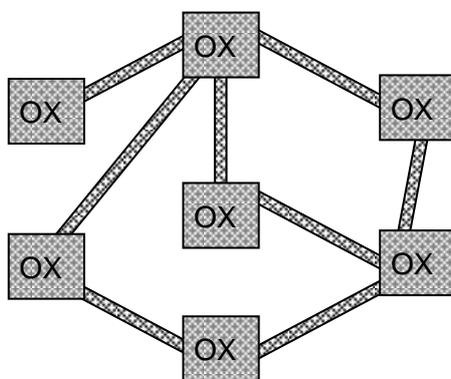


Рис. 1.13. Ячеистая топология сети DWDM

1.4.3. Аппаратный состав

Источники излучения

Сегодня в системах DWDM применяются лазерные диоды с фиксированной волной излучения трех типов:

- с распределенной обратной связью (Distributed Feed Back, DFB);
- с распределенной решеткой Брэгга (Distributed Bragg Reflector, DBR);
- на вертикальных резонаторах (Vertical-cavity surface-emitting laser, VCSEL).

В генераторах первых двух типов для получения излучения узкого спектра используются волоконные решетки Брэгга (Fiber Bragg Gratings). Волокно, легированное некоторыми веществами (обычно германием), может изменять свой показатель преломления под воздействием ультрафиолетового света. Если облучить такое волокно ультрафиолетовым излучением с определенной пространственной периодической структурой, то волокно превращается в своеобразную дифракционную решетку. То есть такое волокно будет отражать свет определенного, заранее заданного диапазона длин волн и пропускать свет всех остальных длин волн. Отраженный свет и является выходным сигналом генератора. В генераторах DFB решетка Брэгга формируется в активной зоне лазера, поэтому технология изготовления таких устройств достаточно сложна. Ширина спектра подобных генераторов обычно составляет менее 100 МГц. У генераторов DBR решетка расположена в неактивной зоне лазера, поэтому эффективная длина резонатора может быть существенно больше, чем у генераторов DFB, а полоса излучения — уже, до 1 МГц.

В лазерах VCSEL генерация происходит поперек *p-n*-перехода. Преимуществом таких генераторов является высокая технологичность: на одном чипе можно поместить матрицу лазеров, каждый из которых может излучать заданную длину волны в соответствии с требуемым планом частот.

Кроме фиксированных существуют также перестраиваемые генераторы, которые используются для тестирования систем DWDM, а также для построения оптических кросс-коннекторов. В перестраиваемом генераторе чаще всего применяется внешний резонатор на основе дифракционной решетки, поворот которой вызывает изменение длины выходной волны.

Оптические усилители

Применяемые сегодня повсеместно в оптических сетях усилители EDFA содержат вставку волокна с добавлением ионов эрбия. Помимо этого, оптические усилители имеют лазер накачки с излучением на определенной частоте и блок сопряжения лазера с легированным волокном. Лазерная накачка ведет к переходу атомов эрбия в возбужденное состояние. Прохождение фотона света вызывает возвращение атома в основное состояние с излучением волны соответствующей длины. Таким способом достигается усиление сигнала. Для

предотвращения опадания на выходное волокно излучения накачки усиленный сигнал пропускают через заграждающий фильтр с частотой накачки.

Частота накачки должна быть больше частоты основного сигнала, так как в противном случае роль накачки будет играть излучение сигнала. В современных усилителях для накачки используется излучение с длинами волн 980 нм и 1480 нм.

Усилители EDFA характеризуются полосой усиления, равномерностью усиления в этой полосе, а также уровнем вносимого шума. Стандартные усилители поддерживают полосу 1530-1565 нм, а для усиления в L-диапазоне волоконно легируют не только эрбием, но и ионами туллия.

Оптическое волокно

Сети DWDM могут работать как на стандартном одномодовом волокне, так и на специальных типах волокон, разработанных с учетом требований DWDM. Стандартное бездисперсионное одномодовое волокно (Non-Dispersion Shifted Fiber, NDSF, или Standard Single Mode Fiber, SSMF) оптимизировано для передачи волны 1310 нм и имеет нулевую дисперсию именно в этом районе спектра. Так как технология DWDM использует с настоящее время окно прозрачности 1550 нм, то применение стандартного волокна является не самым лучшим вариантом — хроматическая дисперсия в окне 1550 нм в таком кабеле положительна и достигает значительных величин. Это приводит к серьезным ограничениям на дальность передачи без усиления сигнала.

Существует другой тип одномодового волокна — со смещенной нулевой дисперсией (Zero Dispersion Shifted Fiber, ZDSF). У такого волокна нулевое значение дисперсии приходится на диапазон от 1535 до 1565 нм, но применять его имеет смысл только для систем, передающих информацию на волне одной длины из этого диапазона, например, для SDH, так как для части волн DWDM в этом окне дисперсия будет ненулевой и отрицательной, а для части — ненулевой и положительной, так что компенсировать ее оказывается непросто. Наиболее подходящим для применения с современными системами DWDM является волокно со смещенной ненулевой дисперсией (Non-Zero Dispersion Shifted Fiber, NZDSF). У такого волокна нулевая дисперсия приходится не на середину интервала (1550 нм), а смещена за его границы (то есть длина волны, для которой дисперсия нулевая, меньше 1530 нм или больше 1560 нм). Благодаря этому для волн третьего окна прозрачности такое волокно, с одной стороны, обладает малой дисперсией, а с другой — эта дисперсия имеет один и тот же знак для всех волн и слабо подвержена нелинейным эффектам, что облегчает ее компенсацию.

Для компенсации хроматической дисперсии применяются модули, содержащие отрезок оптического волокна с характеристикой дисперсии, противоположной характеристике применяемого в ВОЛС волокна. Суммарный эффект волокна кабеля и компенсатора должен выровнять скорости распространения волн различной длины. Поляризационная дисперсия сигнала, сказывающаяся

на его качестве при скоростях передачи данных 10 Гбит/с и выше, таким образом, компенсирована быть не может, для ее уменьшения необходимо уменьшать бюджет линии.

Мультиплексоры ввода-вывода

Терминальный мультиплексор состоит из нескольких блоков (рис. 1.14):

- собственно мультиплексор длин волн (MUX);
- бустерный усилитель (В);
- приемный усилитель (Р);
- оптические транспондеры (Т).

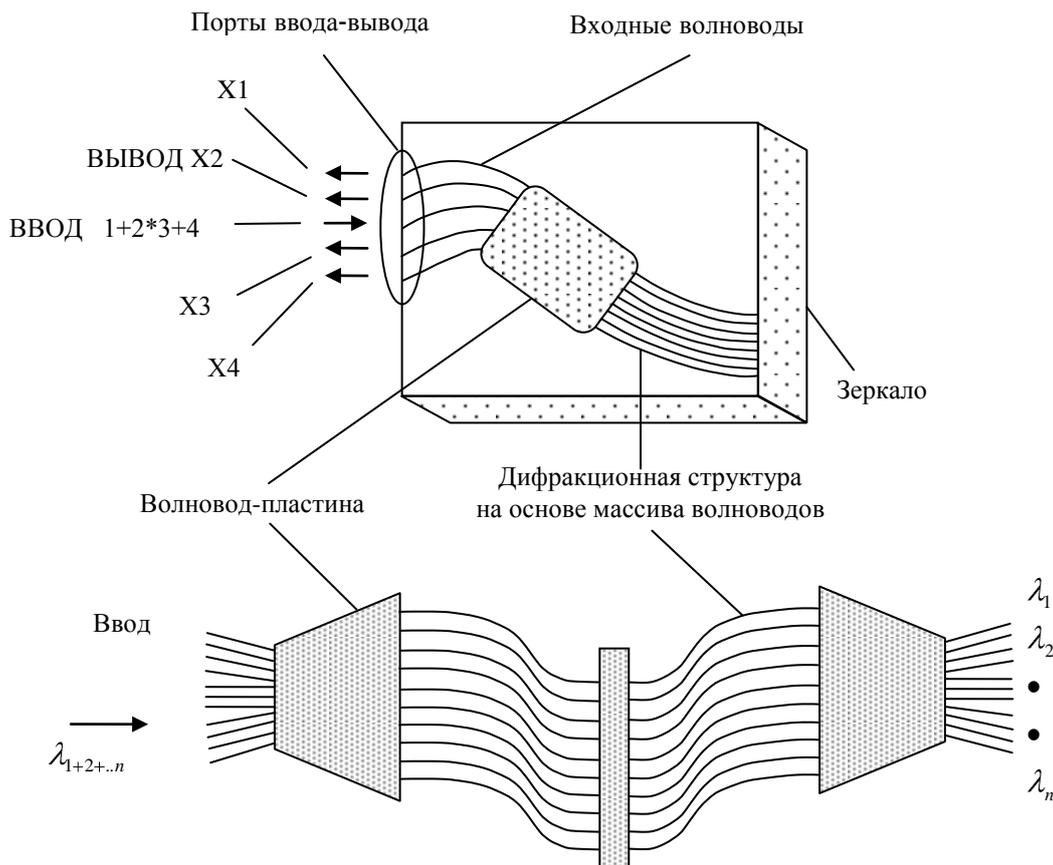


Рис. 1.14. Полное демультиплексирование сигнала с помощью дифракционной фазовой решетки

Оптический мультиплексор выполняет операции смешения нескольких длин волн в общий сигнал, а также выделения волн различной длины из общего сигнала. Для выделения волн в мультиплексоре могут использоваться разнообразные оптические механизмы:

А. Тонкопленочные фильтры (Thin-Film Filters) состоят из пластин с многослойным покрытием, в качестве которых на практике используется торец оптического волокна, скошенный под углом 30-45°, с нанесенными на него слоями покрытия. Достоинством этого подхода является применение известной на протяжении десятилетий техники, использующей интерференцию для фильтрации волн определенной длины. Недостаток — ограниченный выбор материала

покрытий, сочетающих необходимые оптические и физические свойства. Тонкопленочные фильтры применяются в оптических мультиплексорах, поддерживающих сравнительно небольшое количество длин волн в волокне, обычно 16 или 32. Для систем с большим числом волн требуются другие принципы фильтрации и мультиплексирования.

Б. Волоконные решетки Брэгга (Fiber Bragg Gratings), принцип действия которых был рассмотрен выше, используются обычно в тех случаях, когда из общего сигнала нужно выделить небольшое число волн — для этого последовательно применяют несколько волокон-решеток, каждая из которых выделяет одну волну. Так как последовательное применение таких пассивных фильтров вносит дополнительное затухание, с их помощью обычно ограничиваются выделением одной-двух волн. Пассивные устройства, позволяющие выделить из общего сигнала одну-две волны, обычно называют ответвителем (coupler).

В. Принцип действия дифракционных фазовых решеток (Diffraction Phase Gratings), называемых также эшелонами Майкельсона или дифракционными структурами (Arrayed Waveguide Grating, AWG), состоит в том, что свет пропускается через несколько сложенных строго параллельных пластин разной длины, при этом разность длин постоянна. Сложенные пластины образуют единую прозрачную призму, одна грань которой плоская, а противоположная — ступенчатая, с одинаковыми ступеньками. Пройдя через всю призму, лучи дифрагируют, при этом угол дифракции зависит от длины волны.

В мультиплексорах DWDM применяются интегрально выполненные фазовые решетки. Функции пластин в них выполняют оптические волноводы или волокна. Приходящий мультиплексный сигнал попадает на входной порт (рис. 1.14, а). Затем этот сигнал проходит через волновод-пластину и распределяется по множеству волноводов, представляющих дифракционную структуру. По-прежнему сигнал в каждом из волноводов остается мультиплексным, а каждый канал (X_1, X_2, \dots, X_N) остается представленным во всех волноводах. Далее происходит отражение сигналов от зеркальной поверхности, и в итоге световые потоки вновь собираются в волноводе-пластине, где происходит их фокусировка и интерференция образуются пространственно разнесенные интерференционные максимумы интенсивности, соответствующие разным каналам. Геометрия волновода-пластины, в частности расположение выходных полюсов, и значения длины волноводов структуры AWG рассчитываются таким образом, чтобы интерференционные максимумы совпадали с выходными полюсами. Мультиплексирование происходит обратным путем.

Другой способ построения мультиплексора базируется не на одной, а на паре волноводов-пластин (рис. 1.14, б). Принцип действия такого устройства аналогичен предыдущему случаю, за исключением того, что здесь для фокусировки и интерференции используется дополнительная пластина.

Интегральные решетки AWG (называемые также фазарами) стали одними из ключевых элементов мультиплексоров DWDM. Они обычно применяются для полного демультиплексирования светового сигнала, так как хорошо мас-

штабируются и потенциально могут успешно работать в системах с сотнями спектральных каналов.

Регенераторы

Регенератор включает следующие элементы:

- блок демультиплексирования комбинированного оптического сигнала;
- блок преобразования оптического сигнала каждой длины волны в электрический сигнал (фотодиоды, чувствительные к определенной длине волны);
- блок электрической регенерации, который восстанавливает форму сигнала и его тактовую частоту;
- блок преобразования электрического сигнала в оптический сигнал (лазерные генераторы);
- блок мультиплексирования, вырабатывающий комбинированный световой сигнал.

Оптические транспондеры

Оптические транспондеры (трансляторы) требуются для изменения длины волны оптического сигнала. Обычно эти устройства применяются в терминальных мультиплексорах для преобразования поступающих от пользовательского оборудования (SDH, коммутаторы/маршрутизаторы пакетных сетей) сигналов в стандартных окнах 850, 1300 или 1550 нм в сигнал одной из волн частотного плана ITU-T (и обратного преобразования). Транспондеры являются также и регенераторами сигналов, так как чаще всего изменение длины волны сигнала происходит за счет его промежуточного преобразования в электрическую форму. Существуют также полностью оптические преобразователи длин волн, называемые оптическими конверторами (Optical Converter), или оптическими обменниками (Optical Changer, OX), — термин Optical Translator оставлен за оптико-электрическими преобразователями. Полностью оптические преобразователи длин волн могут быть созданы на основе различных принципов, в частности с применением межфазовой модуляции в волоконном усилителе, когда входящая волна используется для модулирования исходящей волны. Полностью оптическое преобразование длины волны существенно удешевляет сеть, так как позволяет отказаться от дорогостоящего промежуточного преобразования сигнала в электрическую форму.

В полностью оптической сети, где применяются оптические преобразователи, различают два вида сервиса: волновой путь (Wavelength Path) и световой путь (Light Path); последний часто называют виртуальным волновым путем (Virtual Wavelength Path). В первом случае информация передается через сеть без изменения длины волны, во втором — длина волны может меняться в зависимости от наличия свободных волн на данном участке сети. При сложной топологии сети проложить волновые пути для всех пользователей может оказаться невозможно даже при самом тщательном планировании, поэтому применение оптических транспондеров или конверторов становится необходимым.

Оптические кросс-коннекторы

В сетях с ячеистой топологией необходимо обеспечить гибкие возможности для изменения маршрута следования волновых соединений между абонентами сети. Такие возможности предоставляют оптические кросс-коннекторы (ОКС), позволяющие направить любую из волн входного сигнала каждого порта в любой из выходных портов (конечно, при условии, что никакой другой сигнал этого порта не использует эту волну, иначе необходимо выполнить трансляцию длины волны). Существуют оптические кросс-коннекторы двух типов: с промежуточным преобразованием в электрическую форму и полностью оптические. Исторически первыми появились более традиционные оптоэлектронные кросс-коннекторы, которыми и закрепилось название оптических кросс-коннекторов. Поэтому производители полностью оптических устройств этого типа стараются использовать для них отличающиеся названия — фотонные коммутаторы (Photonic Switches), или маршрутизаторы волн (Wave Routers, или Lambda Routers). У оптических кросс-коммутаторов имеется принципиальное ограничение — они хорошо справляются со своими обязанностями при работе на скоростях до 2,5 Гбит/с, но, начиная со скорости 10 Гбит/с и выше, габариты таких устройств и потребление энергии становятся недопустимыми. Фотонные коммутаторы свободны от такого ограничения.

В фотонных коммутаторах используются различные оптические механизмы, в том числе дифракционные фазовые решетки и микроэлектронные механические системы (Micro-Electro Mechanical Systems, MEMS).

Система MEMS представляет собой набор подвижных зеркал очень маленького размера, с диаметром менее миллиметра. Коммутатор MEMS применяется после демультиплексора, когда исходный сигнал уже разделен на составляющие волны. За счет поворота микрозеркала на заданный угол исходный луч определенной волны направляется в соответствующее выходное волокно. Затем все лучи мультиплексируются в общий выходной сигнал.

По сравнению с оптоэлектронными кросс-коннекторами, фотонные коммутаторы занимают объем в 30 раз меньше и потребляют примерно в 100 раз меньше энергии. Однако этот тип устройств обладает и недостатками, в первую очередь это низкое быстродействие и чувствительность к вибрации. Тем не менее, системы MEMS находят широкое применение в новых моделях фотонных коммутаторов. Сегодня подобные устройства могут обеспечивать коммутацию 256×256 спектральных каналов, и планируется выпуск устройств, позволяющих коммутировать 1024×1024 каналов и выше.

2. ГЛОБАЛЬНЫЕ СЕТИ С КОММУТАЦИЕЙ КАНАЛОВ

Глобальные сети с коммутацией каналов создавались более ста лет назад для решения очень важной задачи — предоставления общедоступных телефонных услуг населению городов, сел и стран. Эта задача была с честью решена. Сегодня с помощью всемирной телефонной сети можно за несколько секунд связаться с нужным абонентом на другом континенте (несколько сложнее бывает установить соединения с соседним районом, но эти проблемы в нашей стране постепенно решаются). Телефонные сети работают на основе техники коммутации каналов, при этом каждая пара разговаривающих абонентов предварительно устанавливает через телефонную сеть соединение, образуя в ней дуплексный канал. Техника коммутации каналов оказалась для этого типа сетей наиболее подходящей, сочетающей хорошее качество передачи голоса с экономичностью реализации телефонных коммутаторов [4].

Как уже не раз подчеркивалось выше, для передачи пульсирующего компьютерного трафика техника коммутации каналов оказалась не вполне адекватной. В результате была разработана альтернативная техника коммутации пакетов. Однако сети с коммутацией каналов по-прежнему в разных вариантах часто используются для передачи данных. Чаще всего в качестве сетей доступа к сетям с коммутацией пакетов. Этот вариант применения связан с распространенностью телефонной сети — ее абонентские окончания есть сегодня в большинстве городских квартир. Пакетные же сети, в частности Интернет, пока не могут похвастаться такой степенью распространения, специализированные для передачи пакетов абонентские окончания, образуемые модемами xDSL или кабельными модемами, сегодня редкость даже в наиболее развитых странах. Другим вариантом использования телефонной сети для передачи данных является применение ее коммутируемого или полупостоянного канала в качестве промежуточного звена магистрали пакетной сети. Здесь применение коммутируемых каналов весьма нежелательно, так как на коммутацию тратится дополнительное время, ведущее к нестабильной работе пакетной сети — например, заторам трафика и потеря пакетов. В любом случае сеть с коммутацией каналов предоставляет для пакетной сети услуги физического уровня, являясь после коммутации только физическим каналом «точка-точка».

В данной главе кратко рассмотрены принципы работы телефонных сетей двух типов: аналоговых и цифровых с интегральными услугами (ISDN). Необходимо отметить, что изучение этих сетей полезно для специалистов, занимающихся передачей данных, по нескольким причинам. Кроме необходимости знать особенности подключения к такой сети для использования ее в качестве физического канала полезно знать принципы работы протоколов сигнализации телефонных сетей, с помощью которых каналы устанавливаются, так как в пакетных сетях аналогичные протоколы применяются для установления виртуальных каналов. Кроме того, процессы конвергенции привели к появлению новой услуги пакетных сетей — передачи телефонных разговоров (услуги IP-

телефонии и пакетной телефонии). Протоколы пакетной телефонии для установления соединения между абонентами также используют протоколы, очень близкие к протоколам телефонных сетей [5].

2.1. Аналоговые телефонные сети

Первые телефонные сети были аналоговыми, так как в них абонентское устройство — телефонный аппарат — преобразовывало звуковые колебания, являющиеся аналоговыми сигналами, в колебания электрического тока (также аналоговые сигналы). Коммутаторы телефонной сети тоже передавали пользовательскую информацию в аналоговой форме, возможно только перенося эти сигналы в другую область частотного спектра с помощью методов частотного уплотнения (FDM). Сегодня в таких сетях все чаще между телефонными коммутаторами (автоматическими телефонными станциями, АТС) применяется передача голоса в цифровой форме путем мультиплексирования пользовательских каналов по времени, то есть с помощью методов TDM. Однако абонентские окончания остаются аналоговыми, что позволяет пользоваться теми же сравнительно простыми и недорогими аналоговыми телефонными аппаратами, что и раньше. В результате для абонента такие сети остаются аналоговыми, так как на его подключение и процедуры работы внутренние цифровые участки сети никакого влияния не оказывают. В англоязычной литературе такие сети иногда называют POTS (Plain Old Telephone Service) — что-то вроде «старая добрая телефонная служба», хотя, конечно, название PSTN (Public Switched Telephone Network) - «публичная коммутируемая телефонная сеть», или в русском варианте — телефонная сеть общего пользования (ТфОП), является более официальным (оно, естественно, не включает корпоративные телефонные сети, которые не предоставляют публичные услуги, хотя технически устроены примерно так же) [6].

Типичная структура аналоговой телефонной сети представлена на рис. 2.1. Сеть образована некоторым количеством АТС, которые соединены между собой физическими каналами. Топология связей между АТС в общем случае носит произвольный характер, хотя часто используется многоуровневая иерархия, когда несколько АТС нижнего уровня подключаются к одной АТС более высокого уровня и т. п. Предполагается, что эта сеть оказывает публичные услуги, поэтому на рисунке она обозначена как ТфОП.

К АТС нижнего уровня с помощью абонентских окончаний, которые представляют собой медные пары, подключаются телефонные аппараты абонентов. Обычно длина абонентского окончания не должна превышать одного - двух километров, отсюда возникает пресловутая проблема «последней мили» (примерно 1,6 км) которую нужно преодолеть при передаче данных с максимальной возможной скоростью.

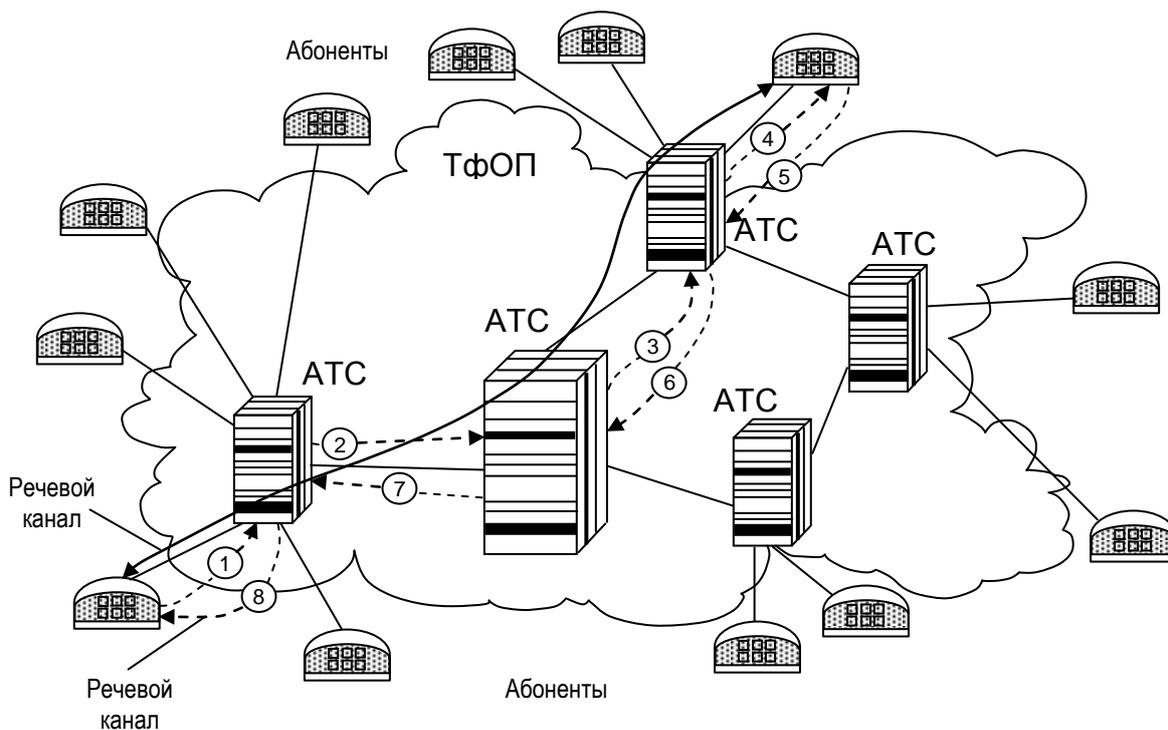


Рис. 2.1. Структура аналоговой телефонной сети

Отличительной особенностью телефонной сети является обязательная процедура предварительного установления соединения между абонентскими устройствами, в случае успеха которой в сети устанавливается канал между этими абонентами, через который они могут вести разговор. Эта процедура носит названия протокола сигнализации (signaling protocol).

Существует большое количество различных протоколов сигнализации, разработанных за долгие годы существования телефонных сетей. Однако все они сводятся к одной общей схеме. Сначала телефон вызывающего абонента передает в сеть сообщение, в котором указывается факт вызова и то, каким образом пересылается номер вызываемого абонента (этап 1 на рис. 2.1).

Так как аналоговый телефон — достаточно примитивное устройство, то сообщение вызова обычно представляет собой последовательность замыканий и размыканий электрической цепи, образуемой проводами абонентского окончания (часто называемого шлейфом). В ответ на первое замыкание телефонный коммутатор подает на абонентскую цепь некоторое напряжение, которое воспроизводится в виде постоянного зуммера динамика телефонной трубки. Человек активно участвует в процедуре вызова, набирая в ответ на зуммер цифры вызываемого номера. Существует несколько вариантов передачи номера. При импульсном способе, принятом в нашей стране, каждая цифра передается соответствующим числом последовательных импульсов размыкания-замыкания частотой 10 или 20 Гц (рис. 2.2).

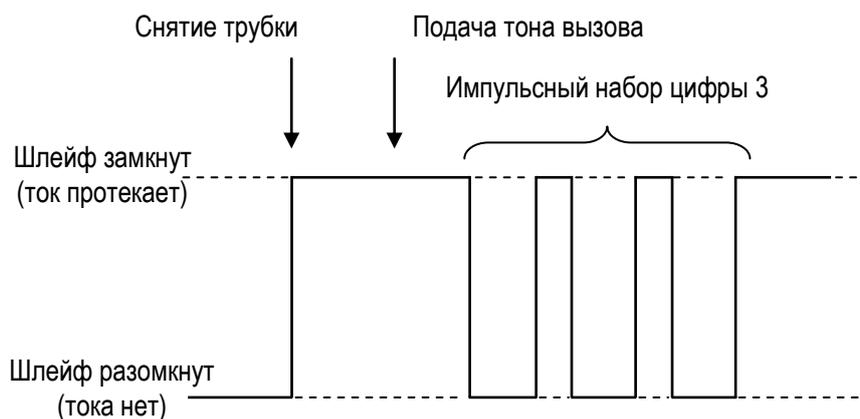


Рис. 2.2. Взаимодействие телефонного аппарата с АТС при вызове

При тоновом наборе для кодирования цифр используется комбинация двух частот: одна из низкочастотной группы (697, 770, 852 и 941 Гц) и одна из высокочастотной группы (1209, 1336 и 1477 Гц). Тоновый набор выполняется с частотой 10 Гц сигналами длительностью в 50 мс с паузами также в 50 мс. Так как одна цифра номера при импульсном наборе передается несколькими импульсами, а при тоновом наборе — одним сигналом, то скорость тонового набора в несколько раз выше, чем импульсного.

После приема такого условного «сообщения» от телефонного аппарата первая АТС маршрутизирует его дальше (этапы 2, 3, 4). Для этого у нее должна быть каким-то образом задана таблица маршрутизации. Она не обязательно хранится в оперативной памяти в форме двоичных чисел, как таблица маршрутизации современного коммутатора или маршрутизаторы пакетных сетей, ее вид зависит от конструкции телефонного коммутатора. Коммутаторы подразделяются на электромеханические и программно-управляемые электронные. Электромеханические коммутаторы (например, координатные или декадно-шаговые) управляются по проводным цепям и приводятся в действие электродвигателями или шаговыми искателями. В электромеханических системах логика маршрутизации встроена в аппаратуру. В программно-управляемых коммутаторах логика коммутации задается хранимой в памяти таблицей маршрутизации, а сама коммутация выполняется электронным способом.

Выбрав нужный выходной порт, первая АТС передает на него сообщение вызова (во многих протоколах оно носит название Call или Setup), которое в результате попадает на следующую АТС, повторяющую процедуру его обработки и передающую его следующей АТС. Так как АТС представляют собой гораздо более сложные, чем телефонный аппарат, устройства, они обычно используют более компактную форму представления данных вызова, например, в виде частотных сигналов или даже двоичных нулей или единиц. Поэтому протокол сигнализации между АТС в общем случае отличается от протокола сигнализации между телефоном и АТС. В сообщениях сигнализации, передаваемые между АТС, может вставляться дополнительная информация, необходимая для работы

сети или делающая услугу более удобной, например номер вызывающего абонента.

Каждая АТС передает сообщение вызова далее только в том случае, если в этом направлении у нее осталась свободной коммутационная емкость, то есть она может проложить через данный порт еще одно пользовательское соединение. Например, если между станциями используется уплотненный канал FDM с двенадцатью пользовательскими подканалами и через него проходит 11 активных соединений, то еще одно соединение установить можно и сообщение через этот порт будет передано далее. Однако при двенадцати активных соединениях АТС уже не сможет обработать сообщение вызова в прежнем стиле и вернет абоненту сигнал отказа от обслуживания, который индицируется в трубке короткими гудками. Отказ принять запрос на соединение из-за того, что в каком-то направлении исчерпана коммутационная емкость, — характерная особенность сетей с коммутацией каналов.

Если свободная емкость в нужном направлении имеется, то АТС резервирует его для вновь образуемого соединения, запоминая этот факт.

В том случае, когда сообщение вызова успешно дошло до АТС, к которой непосредственно подключен телефонный аппарат вызываемого абонента, то на абонентском окончании вновь, как и в самом начале, применяется сигнализация путем замыкания и размыкания шлейфа. На аппарат вызываемого абонента по шлейфу подается сигнал звонка, в результате телефон начинает звонить. В обратном направлении также посылается соответствующее сообщение, в результате которого на аппарат вызывающего абонента приходят сигналы длинных гудков.

Если вызываемый абонент снимает трубку (этап 5), то вызов на абонентском конце считается принятым, и оконечная АТС передает в обратном направлении сообщение протокола сигнализации Connect — «Соединение». Сообщение «Соединение» передается в обратном направлении через промежуточные АТС, участвовавшие в прямом продвижении запроса, при этом происходит окончательная коммутация составного канала в пределах данной АТС (этапы 6, 7, 8). Далее по установленному через телефонную сеть каналу передается в дуплексном режиме голосовая информация. Если сеть является полностью аналоговой, то голос на всем пути следования передается в аналоговой форме, при этом каждая промежуточная АТС выделяет ему канал шириной 3,1 кГц (канал тональной частоты), но перенесенный для мультиплексирования по частоте (FDM) в другой диапазон частот, например в диапазон от 60 до 108 кГц, если между АТС работает канал первого уровня уплотнения. Если же на пути составного канала встречаются цифровые АТС, то на их входе выполняется преобразование аналогового сигнала в цифровой, коммутация осуществляется методами TDM, а при передаче на аналоговую АТС информация претерпевает обратное преобразование в аналоговую форму.

2.1.1. Передача данных

В аналоговых телефонных сетях составной канал между абонентами имеет полосу пропускания 3,1 кГц, которая обусловлена методом мультиплексирования FDM и не может быть расширена. Для передачи данных по такому каналу (который на самом деле может быть и немного шире, потому что для надежного разделения каналов их ширина с некоторым запасом выбрана в 4 кГц, оставшиеся 900 Гц АТС может использовать для служебных целей) и были созданы такие популярные устройства, как модемы (модуляторы-демодуляторы) [2].

Для телефонной сети модемы являются терминальными устройствами, которые, как и телефоны, выполняют стандартную процедуру вызова абонента путем замыкания-размыкания шлейфа. Если у вызываемого абонента к телефонной сети также присоединен модем, то он отвечает на вызов стандартным для телефонной сети способом, в результате чего устанавливается составной канал тональной частоты. Затем модемы его используют для установления соединения уже на логическом уровне (характерный свист и шум в динамике модема), после чего начинают обмениваться данными, представленными в виде модулированных синусоид. Наивысшим достижением современных модемов на канале тональной частоты является достижение скорости в 33,6 кбит/с в том случае, когда на пути следования информации необходимо делать хотя бы одно аналого-цифровое преобразование, и 56 кбит/с в случае, когда информация подвергается только цифро-аналоговому преобразованию. Такая асимметрия связана с тем, что аналого-цифровое преобразование вносит существенно более значительные искажения в передаваемые дискретные данные, чем цифро-аналоговое. Очевидно, что такие скорости нельзя назвать приемлемыми для большинства современных приложений, которые широко используют графику и другие мультимедийные формы представления данных.

Поэтому чаще всего каналы тональной частоты используются для индивидуального удаленного доступа к сети или же в качестве резервных линий связи небольших офисов с центральным отделением предприятия. Доступ по телефонной сети имеет англоязычное название «dial-up access». Тем не менее, при недостатке средств коммутируемые аналоговые линии обеспечивают связь локальных сетей между собой. Это выгодный режим соединения, если количество передаваемых данных невелико и данные не требуют частого обновления. В этом случае две сети могут соединяться по аналоговой телефонной сети, например, раз в сутки, передавать в течение нескольких минут данные, а затем разрывать соединение. При повременной оплате телефонного соединения такой режим оказывается эффективным. Обычно к нему прибегают для передачи сводок работы предприятия за день, точнее тех частей сводок, которые имеют большие объемы (чаще всего — это числовые показатели, без графики).

Скорость передачи данных ограничивает не только недостаточная ширина полосы канала тональной частоты, а также и то обстоятельство, что электромеханические коммутаторы создают значительные помехи в коммутируемых ка-

налах. Кроме того, дополнительные помехи создает сам способ коммутации уплотненных каналов на основе FDM. Это объясняется тем, что коммутировать уплотненные в общий канал исходные сигналы отдельных абонентов невозможно. Перед операцией коммутации всегда нужно провести полное демультимплексирование сигналов абонентских каналов, то есть превратить сигнал высокочастотной несущей, который находится, например, в диапазоне от 60 до 108 кГц для уплотненного канала первого уровня, в голосовой сигнал со спектром от 300 до 3400 Гц. Только затем такие каналы можно коммутировать с помощью шаговых искателей или электронных ключей. После коммутации абонентские каналы снова уплотняются в высокочастотный канал, но каждый входной канал теперь уже E накладывается на несущую другой порядковой частоты, что и соответствует операции коммутации.

Операция демультимплексирования высокочастотной несущей, а затем повторное наложение сигналов на высокочастотные несущие создает значительные помехи (треск и свист в телефонной трубке), которые существенно снижают качество коммутируемых каналов по сравнению с выделенными аналоговыми. Понятно, что наличие электромеханических элементов только усугубляет картину, а старые АТС с шаговыми искателями еще эксплуатируются.

Для повышения качества каналов телефонных сетей до уровня, пригодного для высокоскоростной передачи данных, необходим переход от аналоговых телефонных сетей к цифровым, в которых на всех участках сети, начиная от абонентского окончания, голос передается в дискретной форме. Наиболее развитыми (но не единственными) сетями такого типа являются сети с интегральными услугами, ISDN, в которых не только осуществлен переход к полностью цифровой форме передачи голоса, но и значительно расширен набор предоставляемых абонентам сети услуг.

Выводы:

- Сети с коммутацией каналов используются в корпоративных сетях в основном для удаленного доступа многочисленных домашних пользователей и гораздо реже — для соединения локальных сетей.

- Отличительными особенностями всех сетей с коммутацией каналов являются: работа в режиме установления соединений; возможность блокировки вызова конечным абонентом или промежуточным коммутатором; необходимость использования на обоих концах сети устройств, поддерживающих одну и ту же скорость передачи данных, так как этот вид сетей не выполняет промежуточную буферизацию данных.

- Сети с коммутацией каналов делятся на аналоговые и цифровые [7]. Аналоговые сети могут использовать аналоговую (FDM) и цифровую (TDM) коммутацию, но в них всегда абонент подключен по аналоговому двухпроводному окончанию. В цифровых сетях мультиплексирование и коммутация всегда выполняются по способу коммутации TDM, а абоненты всегда подключаются по цифровому абонентскому окончанию (DSL).

- Аналоговые сети обеспечивают вызов посредством импульсного или тонового набора номера с частотой 10 Гц, причем тоновый набор примерно в 5 раз быстрее импульсного.

- Аналоговые сети используют электромеханические коммутаторы, создающие большие помехи, и электронные программно-управляемые коммутаторы. При работе электронного коммутатора в режиме частотного уплотнения (FDM) создаются дополнительные помехи при демультимплексировании и мультимплексировании абонентских каналов.

2.2. Цифровые сети с интегральными услугами

2.2.1. Цели и история создания технологии ISDN

ISDN (Integrated Services Digital Network — цифровые сети с интегральными услугами) относится к сетям, в которых основным режимом коммутации является режим коммутации каналов, а данные обрабатываются в цифровой форме. Идеи перехода с телефонных сетей общего пользования на полностью цифровую обработку данных, при которой конечный абонент передает данные непосредственно в цифровой форме, высказывались давно. Сначала предполагалось, что абоненты этой сети будут передавать только голосовые сообщения. Такие сети получили название IDN (Integrated Digital Network — интегрированная цифровая сеть). Термин «интегрированная» относился к интеграции цифровой обработки информации сетью с цифровой передачей голоса абонентом. Идея такой сети была высказана еще в 1959 году. Затем было решено, что она должна предоставлять своим абонентам не только возможность поговорить между собой, но и воспользоваться другими услугами — в первую очередь передачей компьютерных данных. Кроме того, сеть должна была поддерживать для абонентов разнообразные услуги прикладного уровня — факсимильную связь, телетекс (передачу данных между двумя терминалами), видеотекс (получение хранящихся в сети данных на свой терминал), голосовую почту и ряд других. Предпосылки для создания такого рода сетей сложились к середине 70-х годов. К этому времени уже широко применялись цифровые каналы T1 для передачи данных в цифровой форме между АТС, а первый мощный цифровой коммутатор телефонных каналов 4ESS был выпущен компанией Western Electric в 1976 году.

В результате работ, проводимых по стандартизации интегральных сетей в ССИТТ, в 1980 году появился стандарт G.705, в котором излагались общие идеи такой сети. Конкретные спецификации сети ISDN появились в 1984 году в виде серии рекомендаций I. Этот набор спецификаций был неполным и не подходил для построения законченной сети. К тому же в некоторых случаях он допускал неоднозначность толкования или был противоречивым. В результате, хотя оборудование ISDN и начало появляться примерно с середины 80-х годов, оно часто было несовместимым, особенно если производилось в разных странах. В

1988 году рекомендации серии I были пересмотрены и приобрели гораздо более детальный и законченный вид, хотя некоторые неоднозначности сохранились. В 1992 и 1993 годах стандарты ISDN были еще раз пересмотрены и дополнены. Процесс стандартизации этой технологии продолжается.

Внедрение сетей ISDN началось достаточно давно — с конца 80-х годов, однако техническая сложность пользовательского интерфейса, отсутствие единых стандартов на многие жизненно важные функции, а также необходимость крупных капиталовложений для переоборудования телефонных АТС и каналов связи привели к тому, что «инкубационный период» затянулся на многие годы, и сейчас, когда прошло уже более десяти лет, распространенность сетей ISDN оставляет желать лучшего. Кроме того, в разных странах судьба ISDN складывалась по-разному. Раньше других в национальном масштабе эти сети заработали в таких странах, как Германия и Франция. Однако даже в этих странах доля абонентов ISDN составляет немногим более 5 % от общего числа абонентов телефонной сети. В США процесс внедрения сетей ISDN намного отстал от Европы, поэтому сетевая индустрия только недавно заметила наличие такого рода сетей. Если судить о тех или иных типах глобальных сетей по коммуникационному оборудованию для корпоративных сетей, то может сложиться ложное впечатление, что технология ISDN появилась где-то в 1994-1995 годах, так как именно в эти годы начали появляться маршрутизаторы с поддержкой интерфейса ISDN. Это обстоятельство просто отражает тот факт, что именно в эти годы сеть ISDN стала достаточно распространенной в США - стране, компании которой являются лидерами в производстве сетевого оборудования для корпоративных сетей.

2.2.2. Организация сети ISDN

Архитектура сети ISDN предусматривает несколько видов служб (рис. 2.3):

- некоммутируемые средства (выделенные цифровые каналы);
- коммутируемая телефонная сеть общего пользования;
- сеть передачи данных с коммутацией каналов;
- сеть передачи данных с коммутацией пакетов;
- сеть передачи данных с трансляцией кадров (режим frame relay);
- средства контроля и управления работой сети.

Как видно из приведенного списка, транспортные службы сетей ISDN действительно покрывают очень широкий спектр услуг, включая популярные услуги frame relay. Кроме того, большое внимание уделено средствам контроля сети, которые позволяют маршрутизировать вызовы для установления соединения с абонентом сети, а также осуществлять мониторинг и управление сетью. Управляемость сети обеспечивается интеллектуальностью коммутаторов и конечных узлов сети, поддерживающих стек протоколов, в том числе и специальных протоколов управления.

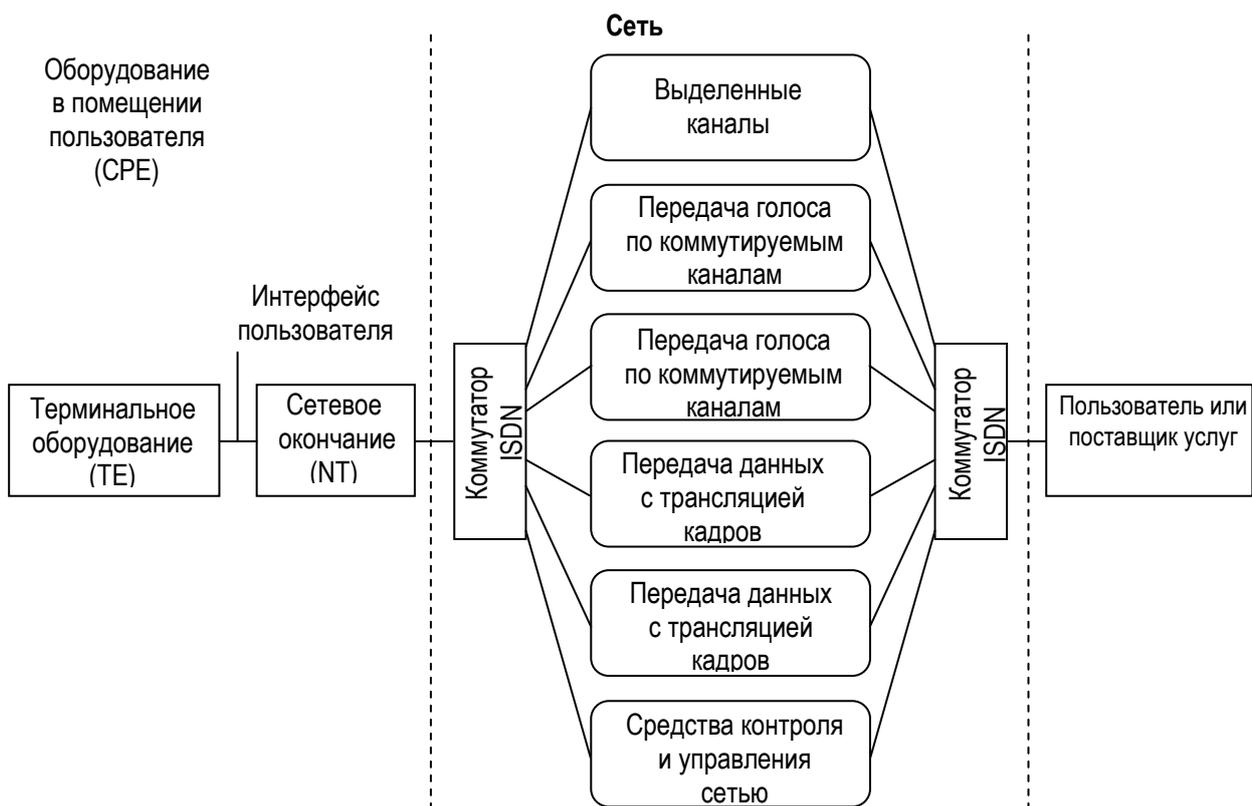


Рис. 2.3. Услуги ISDN

Стандарты ISDN описывают также ряд услуг прикладного уровня: факсимильную связь на скорости 64 кбит/с, телексную связь на скорости 9600 бит/с, видеотекс на скорости 9600 бит/с и некоторые другие.

На практике не все сети ISDN поддерживают все стандартные службы. Служба frame relay хотя и была разработана в рамках сети ISDN, однако реализуется, как правило, с помощью отдельной сети коммутаторов кадров, не пересекающейся с сетью коммутаторов ISDN.

Базовой скоростью сети ISDN является скорость канала DS-0, то есть 64 кбит/с. Эта скорость ориентируется на самый простой метод кодирования голоса — ИКМ, хотя дифференциальное кодирование и позволяет передавать голос с тем же качеством на скорости 32 или 16 кбит/с.

Одной из оригинальных идей, положенных в основу ISDN, является совместное пользование принципов коммутации каналов и коммутации пакетов. Однако сеть с коммутацией пакетов, работающая в составе ISDN, выполняет служебные функции — с помощью этой сети передаются сообщения протокола сигнализации. А вот основная информация, то есть сам голос, по-прежнему передается с помощью сети с коммутацией каналов. В таком разделении функций есть вполне понятная логика — сообщения о вызове абонентов образуют пульсирующий трафик, поэтому его более эффективно передавать по сети с коммутацией пакетов.

2.3. Пользовательские интерфейсы ISDN

Одним из базовых принципов ISDN является предоставление пользователю стандартного интерфейса, с помощью которого пользователь может запрашивать у сети разнообразные услуги. Этот интерфейс образуется между двумя типами оборудования, устанавливаемого в помещении пользователя (Customer Premises Equipment, CPE): терминальным оборудованием пользователя ТЕ (компьютер с соответствующим адаптером, маршрутизатором, телефонным аппаратом) и сетевым окончанием NT, которое представляет собой устройство, завершающее канал связи с ближайшим коммутатором ISDN.

Пользовательский интерфейс основан на каналах трех типов:

- **B** — со скоростью передачи данных 64 кбит/с;
- **D** — со скоростью передачи данных 16 или 64 кбит/с;
- **H** — со скоростью передачи данных 384 кбит/с (**H 0**), 1536 кбит/с (**H 11**) или 1920 кбит/с (**H 12**).

Каналы типа **B** обеспечивают передачу пользовательских данных (оцифрованного голоса, компьютерных данных или смеси голоса и данных) и с более низкими скоростями, чем 64 кбит/с. Разделение данных выполняется с помощью техники TDM. Разделением канала **B** на подканалы в этом случае должно заниматься пользовательское оборудование, сеть ISDN всегда коммутирует целые каналы типа **B**. Каналы типа **B** могут соединять пользователей с помощью техники коммутации каналов друг с другом, а также образовывать так называемые полупостоянные (semipermanent) соединения, которые эквивалентны соединениям службы выделенных каналов. Канал типа **B** может также подключать пользователя к коммутатору сети X.25.

Канал типа **D** является каналом доступа к служебной сети с коммутацией пакетов, передающей сигнальную информацию. Передача адресной информации, на основе которой осуществляется коммутация каналов типа **B** в коммутаторах сети, является основной функцией канала **D**. Другой его функцией является поддержание услуг низкоскоростной сети с коммутацией пакетов для пользовательских данных. Обычно эта услуга выполняется сетью в то время, когда каналы типа **D** свободны от выполнения основной функции.

Каналы типа **H** предоставляют пользователям возможности высокоскоростной передачи данных. На них могут работать службы высокоскоростной передачи факсов, видеоинформации, качественного воспроизведения звука.

Пользовательский интерфейс ISDN представляет собой набор каналов определенного типа и с определенными скоростями.

Сеть ISDN поддерживает два типа пользовательского интерфейса — начальный (Basic Rate Interface, BRI) и основной (Primary Rate Interface, PRI).

Начальный интерфейс BRI предоставляет пользователю два канала по 64 кбит/с для передачи данных (каналы типа **B**) и один канал с пропускной способностью 16 кбит/с для передачи управляющей информации (канал типа **D**). Все каналы работают в полнодуплексном режиме. В результате суммарная ско-

рость интерфейса BRI для пользовательских данных составляет 144 кбит/с по каждому направлению, а с учетом служебной информации — 192 кбит/с. Различные каналы пользовательского интерфейса разделяют один и тот же физический двухпроводный кабель по технологии TDM, то есть являются логическими, а не физическими каналами. Данные по интерфейсу BRI передаются кадрами, состоящими из 48 бит. Каждый кадр содержит по два байта каждого из B каналов, а также 4 бита канала D . Передача кадра длится 250 мс, что обеспечивает скорость данных 64 кбит/с для каналов B и 16 кбит/с для канала D . Кроме битов данных кадр содержит служебные биты для синхронизации кадров, а также обеспечения нулевой постоянной составляющей электрического сигнала.

Интерфейс BRI может поддерживать не только схему $2B+D$, но и $B+D$ и просто D (когда пользователь направляет в сеть только пакетизированные данные).

Начальный интерфейс стандартизован в рекомендации 1.430.

Основной интерфейс PRI предназначен для пользователей с повышенными требованиями к пропускной способности сети. Интерфейс PRI поддерживает либо схему $30B+D$, либо схему $23B+D$. В обеих схемах канал D обеспечивает скорость 64 кбит/с. Первый вариант предназначен для Европы, второй — для Северной Америки и Японии. Ввиду большой популярности скорости цифровых каналов 2,048 Мбит/с в Европе и скорости 1,544 Мбит/с в остальных регионах привести стандарт на интерфейс PRI к общему варианту не удалось.

Возможны варианты интерфейса PRI с меньшим количеством каналов типа B , например $20B+D$. Каналы типа B могут объединяться в один логический высокоскоростной канал с общей скоростью до 1920 кбит/с. При установке у пользователя нескольких интерфейсов PRI все они могут иметь один канал типа D , при этом количество каналов B в том интерфейсе, который не имеет канала D , может увеличиваться до 24 или 31.

Основной интерфейс может быть основан на каналах типа H . При этом общая пропускная способность интерфейса все равно не должна превышать 2,048 или 1,544 Мбит/с. Для каналов $H 0$ возможны интерфейсы $3H 0+D$ для американского варианта и $5H 0+D$ для европейского. Для каналов $H 1$ возможен интерфейс, состоящий только из одного канала $H 11$ (1,536 Мбит/с) для американского варианта или одного канала $H 12$ (1,920 Мбит/с) и одного канала D для европейского варианта.

Кадры интерфейса PRI имеют структуру кадров DS-1 для каналов T1 или E1. Основной интерфейс PRI стандартизован в рекомендации 1.431.

Подключение пользовательского оборудования к сети ISDN

Подключение пользовательского оборудования к сети ISDN осуществляется в соответствии со схемой подключения, разработанной CCITT (рис. 2.4). Оборудование делится на функциональные группы, и в зависимости от группы

различается несколько справочных точек (reference points) соединения разных групп оборудования между собой.

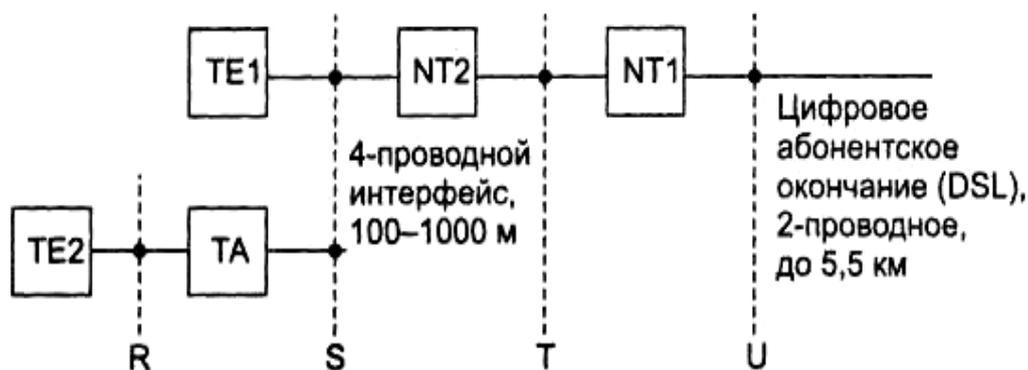


Рис. 2.4. Подключение пользовательского оборудования ISDN

Устройства функциональной группы NT1 (Network Termination 1) образуют цифровое абонентское окончание (Digital Subscriber Line, DSL) на кабеле, соединяющем пользовательское оборудование с сетью ISDN. Фактически NT1 представляет собой устройство типа CSU, которое работает на физическом уровне и образует дуплексный канал с соответствующим устройством CSU, установленном на территории оператора сети ISDN. Справочная точка U соответствует точке подключения устройства NT1 к сети. Устройство NT1 может принадлежать оператору сети (хотя всегда устанавливается в помещении пользователя), а может принадлежать и пользователю. В Европе принято считать устройство NT1 частью оборудования сети, поэтому пользовательское оборудование (например, маршрутизатор с интерфейсом ISDN) выпускается без встроенного устройства NT1. В Северной Америке принято считать устройство NT1 принадлежностью пользовательского оборудования, поэтому пользовательское оборудование часто выпускается со встроенным устройством NT1.

Если пользователь подключен через интерфейс BRI, то цифровое абонентское окончание выполнено по 2-х проводной схеме (как и обычное окончание аналоговой телефонной сети). Для организации дуплексного режима используется технология одновременной выдачи передатчиками потенциального кода 2B1Q, с эхоподавлением и вычитанием своего сигнала из суммарного. Максимальная, длина абонентского окончания в этом случае составляет 5,5 км. При использовании интерфейса PRI цифровое абонентское окончание выполняется по схеме канала T1 или E1, то есть является 4-проводным с максимальной длиной около 1800 м.

Устройства функциональной группы NT2 (Network Termination 2) представляют собой устройства канального или сетевого уровня, которые выполняют функции концентрации пользовательских интерфейсов и их мультиплексирование. Например, к этому типу оборудования относятся: офисная АТС (PBX), коммутирующая несколько интерфейсов BRI, маршрутизатор, работающий в режиме коммутации пакетов (например, по каналу *D*), простой мультиплексор

TDM, который мультиплексирует несколько низкоскоростных каналов в один канал типа *B*. Точка подключения оборудования типа NT2 к устройству NT1 называется справочной точкой типа *T*. Наличие этого типа оборудования не является обязательным в отличие от NT1.

Устройства функциональной группы TE1 (Terminal Equipment 1) относятся к устройствам, которые поддерживают интерфейс пользователя BRI или PRI. Справочная точка *S* соответствует точке подключения отдельного терминального оборудования, поддерживающего один из интерфейсов пользователя ISDN. Таким оборудованием может быть цифровой телефон или факс-аппарат. Так как оборудование типа NT2 может отсутствовать, то справочные точки *S* и *T* объединяются и обозначаются как *S/T*.

Устройства функциональной группы TE2 (Terminal Equipment 2) представляют собой устройства, которые не поддерживают интерфейс BRI или PRI. Таким устройством может быть компьютер, маршрутизатор с последовательными интерфейсами, не относящимися к ISDN, например RS-232C, X.21 или V.35. Для подключения такого устройства к сети ISDN необходимо использовать терминальный адаптер (Terminal Adaptor, TA). Для компьютеров терминальные адаптеры выпускаются в формате сетевых адаптеров — как встраиваемая карта. Физически интерфейс в точке *S/T* представляет собой 4-проводную линию. Так как кабель между устройствами TE1 или TA и сетевым окончанием NT1 или NT2 обычно имеет небольшую длину, то разработчики стандартов ISDN решили не усложнять оборудование, поскольку организация дуплексного режима на 4-проводной линии намного легче, чем на 2-проводной. Для интерфейса BRI в качестве метода кодирования выбран биполярный метод AMI, причем логическая единица кодируется нулевым потенциалом, а логический ноль — чередованием потенциалов противоположной полярности. Для интерфейса PRI используются другие коды, те же, что и для интерфейсов T1 и E1, то есть соответственно B8ZS и HDB3.

Физическая длина интерфейса PRI колеблется от 100 до 1000 м в зависимости от схемы подключения устройств (рис. 2.5).

Дело в том, что при небольшом количестве терминалов (TE1 или TE2+TA) разрешается не использовать местную офисную АТС, а подключать до 8 устройств к одному устройству типа NT1 (или NT2 без коммутационных возможностей) по схеме монтажного ИЛИ (подключение напоминает подключение станций к коаксиальному кабелю Ethernet, но только в 4-проводном варианте). При подключении одного устройства TE (через терминальные резисторы *R*, согласующие параметры линии) к сетевому окончанию NT (рис. 2.5, *a*) длина кабеля может достигать 1000 м. При подключении нескольких устройств к пассивному кабелю (рис. 2.5, *b*) максимальная длина кабеля сокращается до 100-200 м. Правда, если эти устройства сосредоточены на дальнем конце кабеля (расстояние между ними не превышает 25-50 м), то длина кабеля может быть увеличена до 500 м (рис 2.5, *в*). И, наконец, существуют специальные много-

портовые устройства NT1, которые обеспечивают звездообразное подключение до 8 устройств, при этом длина кабеля увеличивается до 1000 м (рис. 2.5, з).

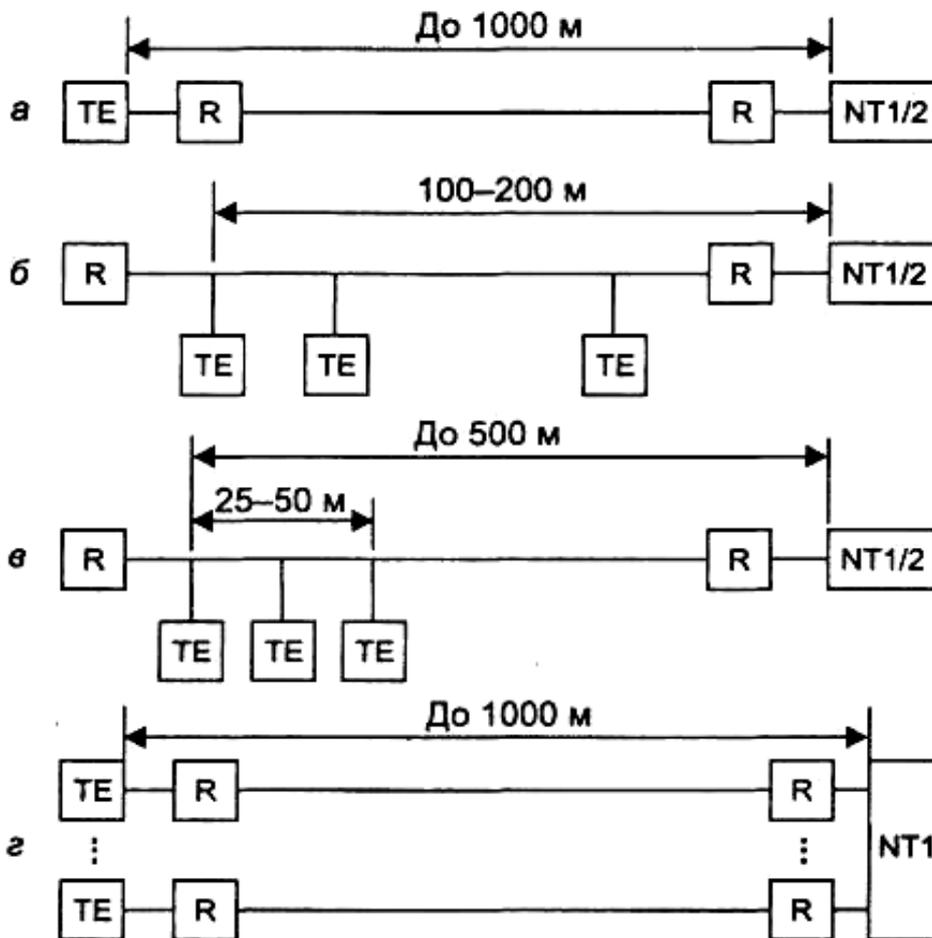


Рис. 2.5. Многоточечное подключение терминалов к сетевому окончанию

3. ПРИНЦИП РАБОТЫ АТС И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

3.1. Устройство абонентского комплекта

Для подключения оконечного аналогового телефонного устройства к телефонной станции используется аналоговая абонентская линия, имеющая более строгое название - Z-интерфейс. Именно сюда включается обычный телефонный аппарат с помощью 2-х проводов. Стандарт на него сформировался еще в 30-е годы и с тех пор претерпел весьма незначительные изменения. На нем лежит отпечаток уровня техники и технологий тех лет.

Полный стандарт на Z-интерфейс содержит достаточно много информации. Для передачи и приема речевой информации используются всего 2 провода. По ним же осуществляется дистанционное питание оконечного абонентского устройства и вся сигнализация - трубка снята, трубка опущена и набор номера. Согласно требованиям на телефонные аппараты абонентская линия должна обеспечивать ток не менее 18 мА. Для создания такого тока используется станционная линейная батарея с номинальным значением напряжения -60 В или -48 В. Легко заметить, что чем больше напряжение станционной батареи, тем более длинные абонентские линии будут поддерживаться. Для рационального использования энергоресурсов: уменьшения тепла, выделяемого в абонентских комплектах и увеличения допустимой длины абонентской линии, современные АТС используют схемы со стабилизацией тока питания абонентского шлейфа. Номинальное значение тока в этом случае обычно делается равным 25-30 мА. Замыкание/размыкание абонентского шлейфа с помощью контакта телефонного аппарата используется и для передачи информации в станцию о том, что трубка телефонного аппарата снята, и о наборе номера.

Другой непреременный атрибут абонентской линии - электрическая симметрия проводов. В общем случае для количественной оценки симметрии служит так называемый коэффициент затухания асимметрии. Это частотно зависимый параметр, нормируемый в области полосы рабочих частот. Чем больше коэффициент затухания асимметрия, тем менее абонентская линия чувствительна к внешним помехам. Следствием недостаточной симметрии абонентской линии является прослушивание посторонних сигналов - других разговоров, фона переменного тока 50 Гц, канала радиотрансляции и т.д. Для выполнения данного параметра электрическая схема абонентского комплекта должна обеспечивать достаточно высокий модуль комплексного сопротивления каждого из проводов относительно земли во всем диапазоне рабочих частот.

В первых АТС коммутация разговорного тракта осуществлялась двумя проводами. Поэтому абонентская линия традиционно двухпроводная. То есть, для передачи и приема информации используются одни и те же провода. Это еще и большая экономия меди. Однако за все нужно платить. Платить приходится тогда, когда становится необходимостью к такой линии подключать 4-х проводные устройства, то есть устройства, в которых отдельно обрабатывается

канал передачи и канал приема. Это и каналообразующая аппаратура, и 4-х проводные схемы коммутации (все цифровые схемы работают по 4-х проводной схеме), да и, практически, любые современные абонентские устройства. Схема, которая преобразует 2-х проводную линию в 4-х проводную так и называется схема преобразования 2-4 или противоместной схемой. Обычно она выполняется на базе мостовой схемы. Одно плечо моста – 2-х проводная линия, противоположное плечо (или, в общем случае, одно из плеч моста) балансный контур, а диагонали моста - прием и передача 4-х проводной части. Балансный контур призван обеспечить балансировку моста и максимум затухания в 4-х проводной части со стороны передачи на сторону приема. Однако, учитывая то, что импеданс со стороны абонентской линии в общем случае величина переменная, достижение больших значений этого затухания не представляется возможным. Более того, этот импеданс является переменной величиной, изменяющейся как в процессе установления соединения, так и от одного соединения к другому.

С целью увеличения затухания в 4-х проводной части во всей полосе рабочих частот балансный контур рекомендуется делать с комплексным импедансом, поскольку в импедансе стандартной абонентской линии присутствует и реактивная составляющая. Нормируется, однако, не импеданс балансного контура, а входное сопротивление абонентского комплекта, которое является, в общем случае, производным от первого.

Конечное затухание между каналами приема и передачи в 4-х проводной части приводит к появлению так называемого электрического эха. Это создает ряд очень крупных проблем для телефонной связи, которые решаются в разных случаях по-разному. Например, в современных модемах, где очень важно иметь хорошее разделение между каналами приема и передачи в дополнение к описанной выше схеме делается так называемый эхо-компенсатор. Для спутниковых каналов, где временная задержка распространения сигнала достигает сотен миллисекунд и больше и эхо становится уже заметным для слуха человека, так же устанавливаются эхо-компенсаторы или, что хуже, эхо-заградители.

Абонентский комплект должен обеспечивать посылку в абонентскую линию сигнала так называемого индукторного вызова, представляющего собой переменное напряжение синусоидальной или достаточно близкой к синусоидальной формы с частотой 25 Гц и действующим значением 95 В. Попытки упростить вызывное устройство путем подачи вызывного напряжения частотой 50 Гц или используя чисто прямоугольный сигнал, вызывают возникновение неприятных последствий, в ряду которых наиболее серьезным является отказ абонентского устройства распознать такой вызывной сигнал.

Генератор индукторного вызова современной АТС, полностью соответствующий всем требованиям, является довольно сложным устройством. В АТС "ЛОБЬ", например, для этой цели используется отдельный процессор. В первых, требуется обеспечить сигнал довольно близкий к синусоиде при достаточно точной частоте генерации. Ну и конечно, при всем при том, необходимо

избежать подстрочных элементов. Цифровой синтез сигнала при этом не имеет альтернатив. Есть еще определенные особенности в построении этого генератора, которые вообще не оставляют шансов аналоговым генераторам (например на базе моста Вина).

Для решения описанных выше проблем при разработке схем современных абонентских комплектов существует целый класс микросхем, выполненных, как правило, по гибридной технологии, имеющих общее название SLIC (Subscriber Line Interface Circuit).

В абонентский комплект современных цифровых АТС, кроме схемы преобразования 2-4, входит и устройство, обеспечивающее преобразование аналогового канала в цифровой и обратно. Такое устройство функционально состоит из следующих элементов: фильтр и кодер в канале преобразования *A-D* и декодер с фильтром в канале преобразования *D-A*. Фильтр является необходимым компонентом для формирования канала с полосой пропускания 0.3...3.4 кГц, являющегося стандартным для телефонной связи, и необходимым согласно теореме Котельникова. Все описанные здесь функции современная элементная база реализует на одной микросхеме, называемой обычно кофидеком. Частота дискретизации в современной телефонии выбрана 8 кГц. Число уровней квантования - 256 (8 разрядов). Таким образом, современный кофидек создает цифровой поток со скоростью 64 кбит/с. Кодирование аналогового сигнала, используемое в телефонии, принято называть ИКМ (Импульсно-Кодовая Модуляция) или РСМ (Pulse Code Modulation) кодированием.

Подсчитано, что стандартный АЦП должен иметь примерно 12 разрядов для передачи речи с требуемым в телефонии качеством. Тем не менее, кофидеки обходятся восемью при том же, практически, качестве. Это достигается путем компандирования входного сигнала, то есть шкала преобразования кофидеков нелинейная. Существуют А и МЮ законы компандирования, являющиеся стандартами, соответственно, для Европы и Америки. Стандартом на первичный цифровой канал 64 кбит/с для России (ITU-T) является так же инверсия нечетных бит.

Для АТС "ЛОБЬ" было разработано три типа абонентских плат. Наиболее старые использовали трансформаторный абонентский комплект на дискретных элементах и кофидек МТ8965 фирмы MITEL. Относительно новые используют тот же кофидек и слик МН88612 той же фирмы. Перспективные, те, для которых в настоящее время пишется программное обеспечение, будут использовать одну микросхему, содержащую в себе и СЛИК и кофидек фирмы National Semiconductor.

Непременным атрибутом абонентского комплекта являются элементы защиты от перенапряжений. Обычно их разделяют на 2 класса - элементы защиты от превышения тока и элементы защиты от превышения напряжения. Элементами защиты от тока являются токочувствительные элементы, резко увеличивающие свое сопротивление при превышении определенных значений токов в проводах абонентской линии. Это могут быть и обычные плавкие предохра-

тели или так называемые термокатушки и автоматически восстанавливаемые современные элементы - позисторы. Для защиты абонентского комплекта от перенапряжений используются грозозащитники или варисторы. Очень часто все эти элементы защиты устанавливаются не непосредственно в абонентском комплекте, а в кроссе АТС.

3.2. История развития АТС

Конец прошлого века ознаменовался рядом революционных технических открытий и изобретений. Одним из них было изобретение в 1876 г. Беллом телефонного аппарата и телефонной связи. Предприимчивые американцы незамедлительно в 1878 г. в городе Нью-Хевене стали строить первую в мире ручную телефонную станцию. Естественно, для увеличения надежности телефонной связи, ее удешевления, тут же сделали попытки автоматизировать процесс установления и обслуживания соединений. Было предложено много разных проектов построения Автоматических Телефонных Станций (АТС), однако не так много оказались достаточно надежными, получившими народное признание.

В 1889 году господину Струоджеру пришла идея создания декадно-шагового искателя (ДШИ). Типичный декадно-шаговый искатель - это довольно сложное электро-механическое устройство, этакое продвинутое электро-механическое реле, ориентированное на передачу и преобразование информации о вызываемом номере в виде декадных шлейфовых импульсов тока. Стандартно ДШИ имеет 2 электромагнита, подавая последовательно на которые от 1-го до 10 импульсов тока можно осуществить выбор одного из 100 доступных шнуров (коммутируются не только разговорные провода, поэтому ДШИ коммутирует больше, чем просто 2 провода от телефонного аппарата). Поскольку ДШИ имеет механические контакты, которые постоянно движутся, то их износ и окисление приводит к тому, что сопротивление в месте контакта со временем повышается. Мощные электромагниты ДШИ вызывают вибрацию стоек, в которых их установлено очень много, что в свою очередь приводит к тому, что эти контакты имеют к тому же и переменное сопротивление. Как следствие - в процессе разговора появляются посторонние трески и шумы, являющиеся смертью для современных систем передачи дискретной информации (например, модемов).

В 1914 году Бетлаундер (Швеция) изобрел многократный координатный соединитель (МКС). Так появились АТС координатного типа (АТСК). Одним из достоинств МКС является то, что в процессе установления соединения контакты МКС не трутся друг о друга при замыкании, а замыкаются как в стандартном электромеханическом реле (контакты давления). Поскольку трение скольжения всегда больше трения качения, то изобретение МКС, в каком то смысле, аналогично изобретению колеса. Контакты значительно меньше изнашиваются, механических вибраций меньше, качество связи выше. В 1939 году в США была введена в эксплуатацию первая АТСК. Целых 25 лет потребовалось

с момента изобретения МКС. Это связано с тем, что в АТСК производится довольно сложная обработка управляющей информации. В первых станциях это делалось исключительно на реле.

В стройном ряду аналоговых станций стоят еще и так называемые квази-электронные и электронные станции. Коммутация в таких станциях осуществляется с помощью герметизированного контакта (геркон) или электронного ключа, а управлением ведает микропроцессор. Революционное внедрение микропроцессоров сильно повысило эффективность АТС, позволило оснастить рядом приятных дополнительных функций (дополнительные виды обслуживания или ДВО). Современная АТС, в частности и связь, вообще немислимы без микропроцессорной техники.

Однако, начиная с Белла и до электронных АТС, не менялся сам принцип коммутации сигнала - это всегда был аналоговый сигнал с пространственной коммутацией, а значит качество канала с увеличением точек коммутации падало, каждая точка коммутации требовала соответствующего физического элемента, а, соответственно, и вся станция имела гигантские размеры. Ситуация кардинально изменилась с появлением цифровых АТС. В 1933г. В.А. Котельников сформулировал теорему, носящую теперь его имя. В 1938г А.Х. Риверс запатентовал метод преобразования аналоговых сигналов в цифровой временной коммутации, который мы теперь называем ИКМ. Теорема Котельникова является краеугольным камнем цифровизации сигналов, а, следовательно, математической базой для работы цифровых АТС при передаче, в первую очередь, речи. Во Франции в 1975 году введена в эксплуатацию первая в мире цифровая АТС типа E10, и через двадцать с небольшим лет после этого знаменательного события, в настоящее время, благополучно завершается реконструкция сетей на базе цифрового стандарта.

В цифровой АТС сигнал коммутируется и передается в цифровом виде, то есть в виде последовательности нулей и единиц. Коммутация осуществляется, как правило, пространственно-временным способом. Именно появление интегральных коммутаторов от 256 до 4096 незаблокированных каналов сделали цифровые методы коммутации доступными. Это всего лишь одна микросхема. Стандартным объектом коммутации является цифровой канал со скоростью 64 кбит/с.

Важным достоинством цифровых АТС является то, что с помощью них можно очень легко передавать любые виды информации в цифровой форме, что очень сложно было сделать на аналоговых АТС, а это является необходимым условием создания ISDN (Integrated Services Digital Network или Цифровая сеть с Интегрированными Услугами) сетей. ISDN - это сеть связи, обеспечивающая полностью цифровые соединения между абонентскими устройствами для поддержания возможности передачи как речевых, так и неречевых данных с помощью стандартизированных многофункциональных интерфейсов. Это очень интересное и перспективное направление в развитии сетей связи.

3.3. Классификация АТС

По типу коммутирующего устройства современные АТС делятся на:

- аналоговые;
- механические:
- декадно-шаговые;
- координатные;
- квазиэлектронные;
- электронные;
- цифровые.

1. Декадношаговые АТС (отечественные модели АТС-47, АТС-49, АТС-54, АТС-54А) [8].

Коммутация осуществляется с помощью шаговых (ШИ) и декадно-шаговых (ДШИ) искателей: устройств, в которых один входной "канал" подключается к одному из X выходных "каналов" (ШИ) или к одному из X·Y "каналов" (ДШИ). Для коммутации шаговый двигатель ШИ поворачивает щетки искателя, которые скользят по ламелям контактного поля до тех пор, пока не остановятся на выбранном выходном "канале". В ДШИ щетки совершают перемещение в двух направлениях - вверх-вниз и вокруг своей оси.

Главный недостаток ДШ АТС для работы модемов: из-за специфического устройства ШИ (скольжение контактов при коммутации) контакты искателей быстро истираются, что приводит к ухудшению качества связи. Вторым недостатком - в момент коммутации из-за движения шагового двигателя стойка АТС вибрирует, и вместе с ней - соседние искатели, у которых достаточно слабые (и к тому же истертые) контакты. Это приводит к появлению большого числа импульсных помех при связи. Третий недостаток - эти АТС очень старые (их не выпускают уже несколько десятков лет) и к ним давно не выпускают запчастей, из-за чего эти АТС находятся в особо ужасном состоянии.

2. Координатные АТС (отечественные АТСК, АТСК-У, ПСК-1000, АТС 50/200, АТСК 100/2000 [8], импортные А-204, КМК-20, Пентаконта, Метаконта, ARF-50 и др.)

Коммутация осуществляется многократным координатным соединителем (МКС) - устройством, коммутирующим X входных каналов на Y выходных. Контакты МКС управляются электромагнитами (аналогично реле), поэтому у них нет двух главных недостатков ШИ, о которых было сказано выше. АТСК отличается от АТСК-У тем, что в управляющих приборах АТСК-У используются полупроводниковые приборы, в АТСК - реле, однако на качество связи это не влияет.

Качество связи определяется возрастом АТС, грамотностью обслуживающего персонала и типом оборудования межстанционной связи. АТСК массово устанавливалась в период с 1968 по 1982 год, АТСК-У - с 1978 по 1992 год. На импортных координатных АТС бывает тональный набор.

3. Квазиэлектронные АТС (Квант, Метаконта).

Коммутация осуществляется герконами и управляется "процессором".
Примечание: термином "квазиэлектронная АТС" часто называют также координатные АТС с "процессорным" управлением (в последнее время координатные АТС достаточно часто модернизируют, заменяя релейные и полупроводниковые управляющие приборы на "процессорные" и получившиеся станции часто называют квазиэлектронными АТС).

Качество связи хорошее, однако на "Кванте" часто встречаются абонентские комплекты с нестандартным напряжением, что вызывает большие проблемы у модемов.

Электронные АТС

Коммутация аналогового сигнала осуществляется полупроводниковыми приборами, которые управляются "процессором". Прижились только в качестве офисных АТС очень малой емкости.

Примечание: термином "электронная АТС" часто называют цифровые АТС. Также часто неправильно делят городские АТС на цифровые и электронные, выделяя в "электронные" старые модели цифровых АТС (МТ-20 и др.) и противопоставляя их новым АТС.

5. Цифровые АТС (DX-200, МТ-20/25, NEAX, 5ESS, S-12, EWSD, АХЕ-10, Квант-Е и др.).

В цифровых АТС коммутируется сигнал, представленный в цифровой форме ("байты в компьютере"). Аналоговый сигнал оцифровывается в абонентском комплекте и передается внутри АТС и между АТС в цифровом виде, что гарантирует отсутствие затухания и минимальное число помех независимо от длины пути между АТС.

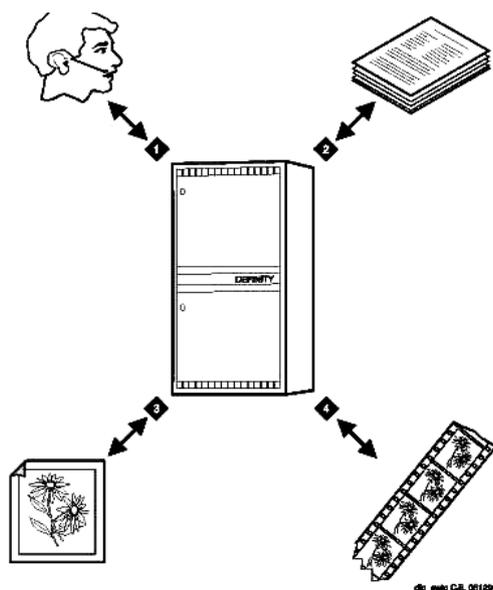
Качество модемной связи при нормальном состоянии абонентской линии - отличное. Гарантируется работа V.90 при отсутствии на телефонной сети странностей типа аналоговых транзитов между цифровыми АТС.

V.90 также работает и на аналоговых АТС (начиная с ДШ), однако для его работы необходимо, чтобы аналоговая АТС была связана с "внешним миром" с помощью цифрового каналобразующего оборудования (ИКМ-30 и др.) и оно было включено в цифровые узловые АТС без аналоговых участков.

3.4. Устройство учрежденческой системы связи DEFINITY

В качестве примера рассмотрим устройство учрежденческой системы связи DEFINITY (рис. 3.1).

Система DEFINITY ECS (DEFINITY Enterprise Communications Server) служит для организации и отправления голосовых сообщений, информационных потоков, изображений и видео сигналов [9]. Она может быть подключена как к ведомственным, так и к общественным телефонным сетям, локальным сетям Ethernet, сетям асинхронного режима передачи (АТМ), а также к сети Internet.



- | | | | |
|---|---|---|-------------------------|
| 1 | Голосовые сообщения (передача речи) | 3 | Передача изображения |
| 2 | Информационные потоки (передача данных) | 4 | Мультимедийные передачи |

Рис. 3.1. Учрежденческая система связи Definity

Система (рис. 3.2) представляет собой цифровой коммутатор голосовой связи, который обрабатывает и маршрутизирует телефонные вызовы и передачу данных от одного оконечного устройства к другому.

Несмотря на одинаковые исходные компоненты, в зависимости от требований к объему услуг, размер и облик системы DEFINITY ECS могут значительно варьировать. Она может состоять из одного стativa, смонтированного на стене, либо из нескольких высоких стativas, соединенных вместе и установленных в одном помещении, либо даже за сотни километров друг от друга.

По существу, система DEFINITY ECS является соединением различных подсистем, состоящих из сетей портов и печатных плат, объединяющих входящие и исходящие коммуникационные порты. До трех сетей портов можно подключить непосредственно друг к другу. Если же в системе используется более трех сетей портов, то соединение производится через узловой коммутатор (CSS).

Все оконечные устройства являются внешними по отношению к системе. Голосовые сигналы и сигналы данных, поступающие в оконечные устройства, входят в систему и покидают ее через платы портов. Система производит высокоскоростное соединение между аналоговыми и цифровыми соединительными линиями. Линиями данных, связанных с хост-компьютерами, терминалами ввода данных и персональными компьютерами (ПК), а также IP-адресами сети.

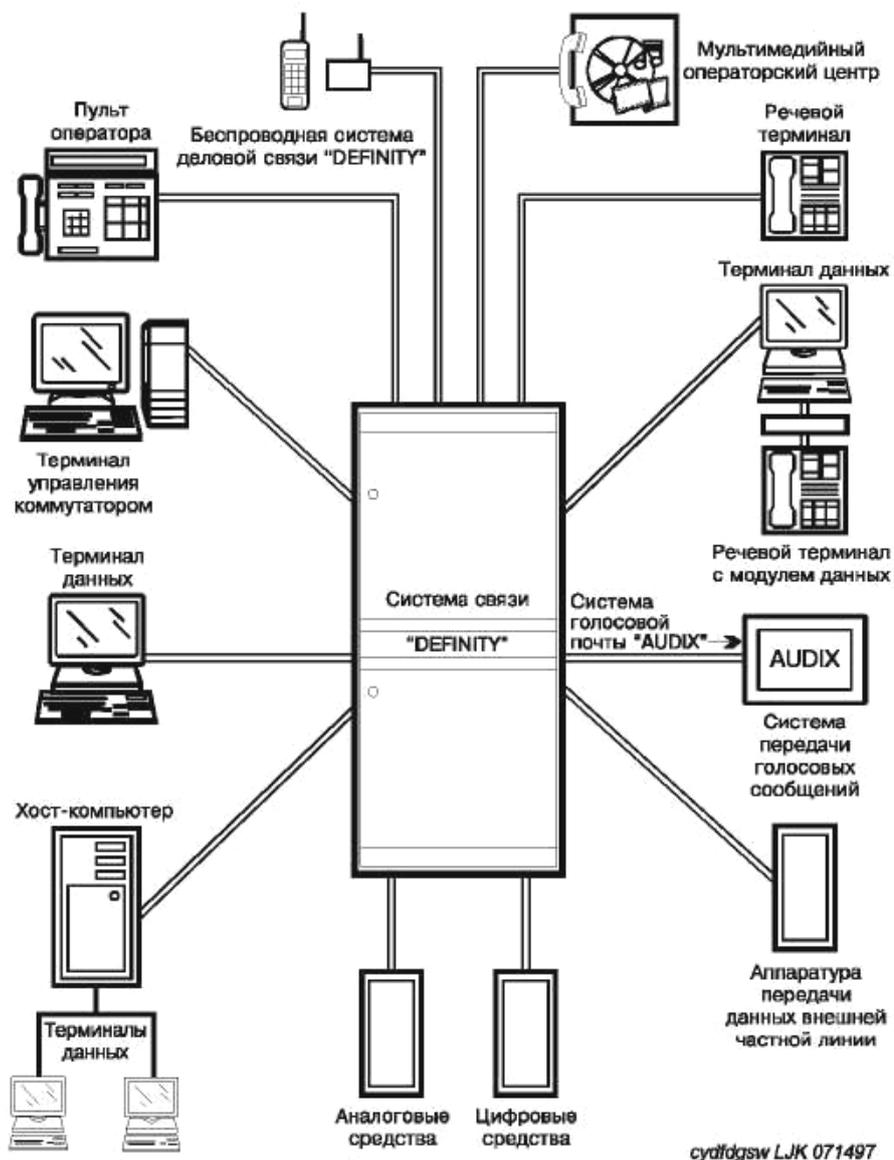


Рис. 3.2. Эксплуатация системы в качестве цифрового коммутатора

Система преобразует все входящие (от внешнего источника) аналоговые сигналы во внутренние цифровые сигналы. Входящие (от внутреннего или внешнего источника) цифровые сигналы не преобразуются. Внутри системы голос всегда кодируется в цифровой форме. Исходящие цифровые сигналы из системы преобразуются в аналоговые сигналы для аналоговых линий станций и соединительных линий.

Компоненты системы

Базовым компонентом системы является сеть портов (PN), состоящая из плат портов, подключенных к внутренним шинам, которые позволяют платам осуществлять связь между собой.

Сеть процессорных портов (PPN).

Требуемая сеть процессорных портов (PPN) содержит процессорный элемент коммутатора (SPE). SPE — это компьютер, который выполняет операции системы, обрабатывает вызовы и управляет сетью портов (PN), содержащей платы портов.

Периферийная сеть портов (EPN).

Периферийная сеть портов (EPN) (факультативная) содержит дополнительные порты, которые повышают число соединений с соединительными линиями и линиями станций.

Узловой коммутатор (CSS).

Узловой коммутатор (CSS) (факультативный для 3-х или менее сетей портов [PN]) в выпуске R8r DEFINITY ECS — это центральный интерфейс между сетью процессорных портов (PPN) и периферийными сетями портов (EPN). Узловой коммутатор (CSS) состоит из 1-го, 2-х или 3-х коммутационных узлов (SN). Один SN может расширить систему от одной периферийной сети портов (EPN) до 15-ти. Два SN могут расширить систему вплоть до 29-ти EPN. Три SN могут расширить систему вплоть до 43-х EPN.

Число периферийных сетей портов (EPN), которые могут быть соединены с двумя или тремя SN, может быть меньшим, чем приведенные величины, в зависимости от внутреннего трафика передачи коммутационного узла (SN-SN).

Коммутатор с асинхронным режимом передачи (ATM) (только категория A).

Коммутатор с асинхронным режимом передачи (ATM) — это возможная замена для узлового коммутатора (CSS) или коммутатора с прямым соединением. Связность портовой сети может обеспечиваться несколькими типами коммутаторов Lucent с асинхронным режимом передачи (ATM). Также связность сети портов DEFINITY ECS может обеспечиваться коммутаторами с асинхронным режимом передачи (ATM) других фирм, если они отвечают стандартам Европейского Сообщества по коммутаторам с асинхронным режимом передачи (ATM).

Основная конфигурация системы.

На рис 3.3 показаны следующие 6 основных конфигураций системы:

1. Базовая система, состоящая только из процессорной сети портов (PPN).
2. Система прямого соединения с 3 сетями портов (PN) (одной сетью процессорных портов [PPN] и одной или двумя периферийными сетями портов [EPN]), соединенными непосредственно между собой.
3. Система с соединением через узловой коммутатор (CSS), включающая вплоть до 15 периферийных сетей портов (EPN), соединенных с одним коммутационным узлом (SN) с сетью процессорных портов (PPN).
4. Система с соединением через узловой коммутатор (CSS), включающая вплоть до 29 периферийных сетей портов (EPN), соединенных двумя коммутационными узлами (SN) с сетью процессорных портов (PPN), и вплоть до 43 периферийных сетей портов (EPN), соединенных тремя коммутационными узлами (SN) с сетью процессорных портов (PPN).

5. Система, соединенная через коммутатор с асинхронным режимом передачи (АТМ), с максимум 43-мя ЕРН (процессорными сетями портов).

6. Несколько коммутаторов с асинхронным режимом передачи (АТМ) глобальной сети с максимумом 43-мя (периферийными сетями портов).

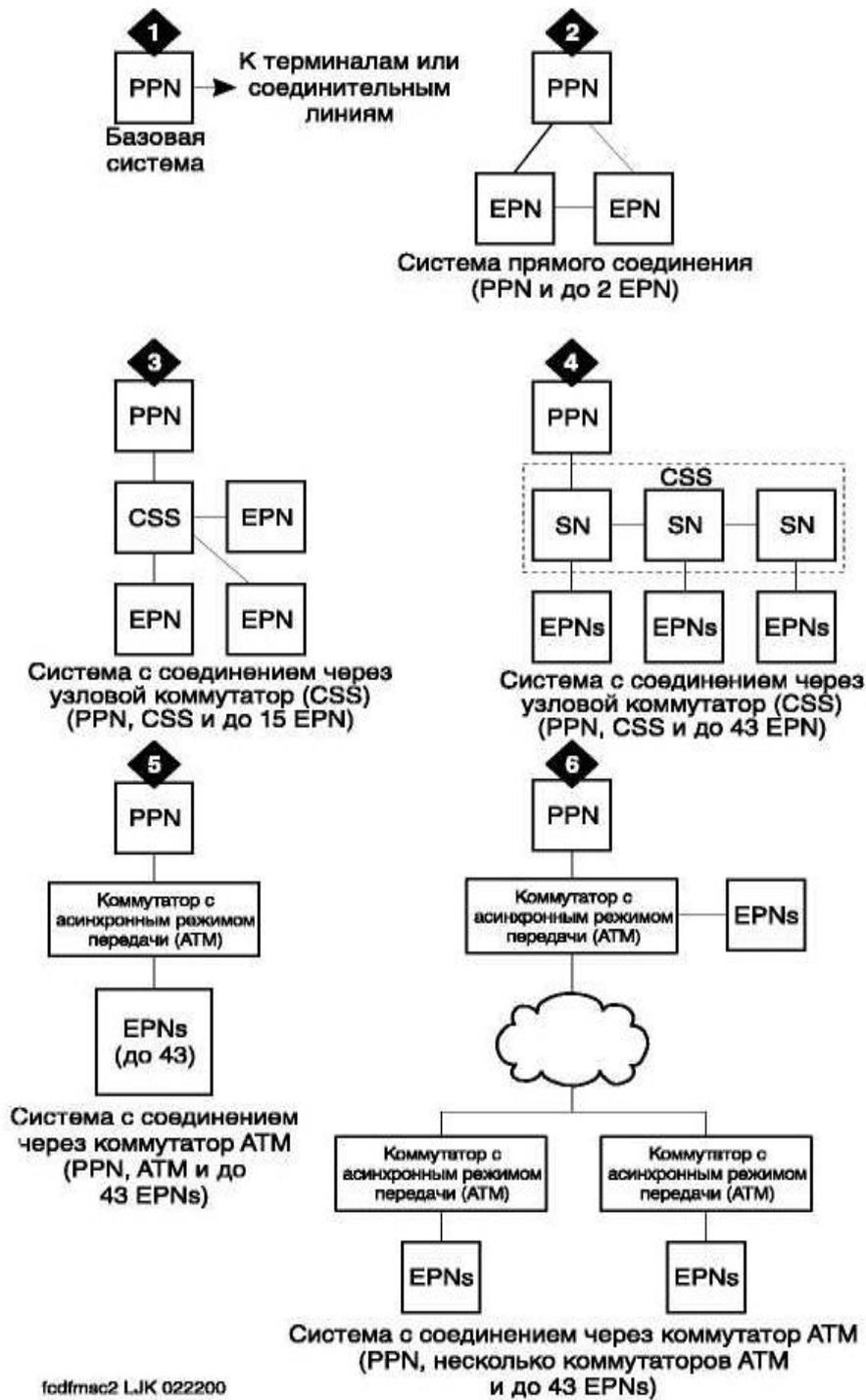


Рис. 3.3. Основные конфигурации системы

На рис. 3.4 показана система прямого соединения с процессорным элементом коммутатора (SPE) в сети процессорных портов (PPN). Шины маршрутизи-

руют вызовы голосовой связи и передачи данных (ПД) между внешними соединительными линиями и линиями станции.

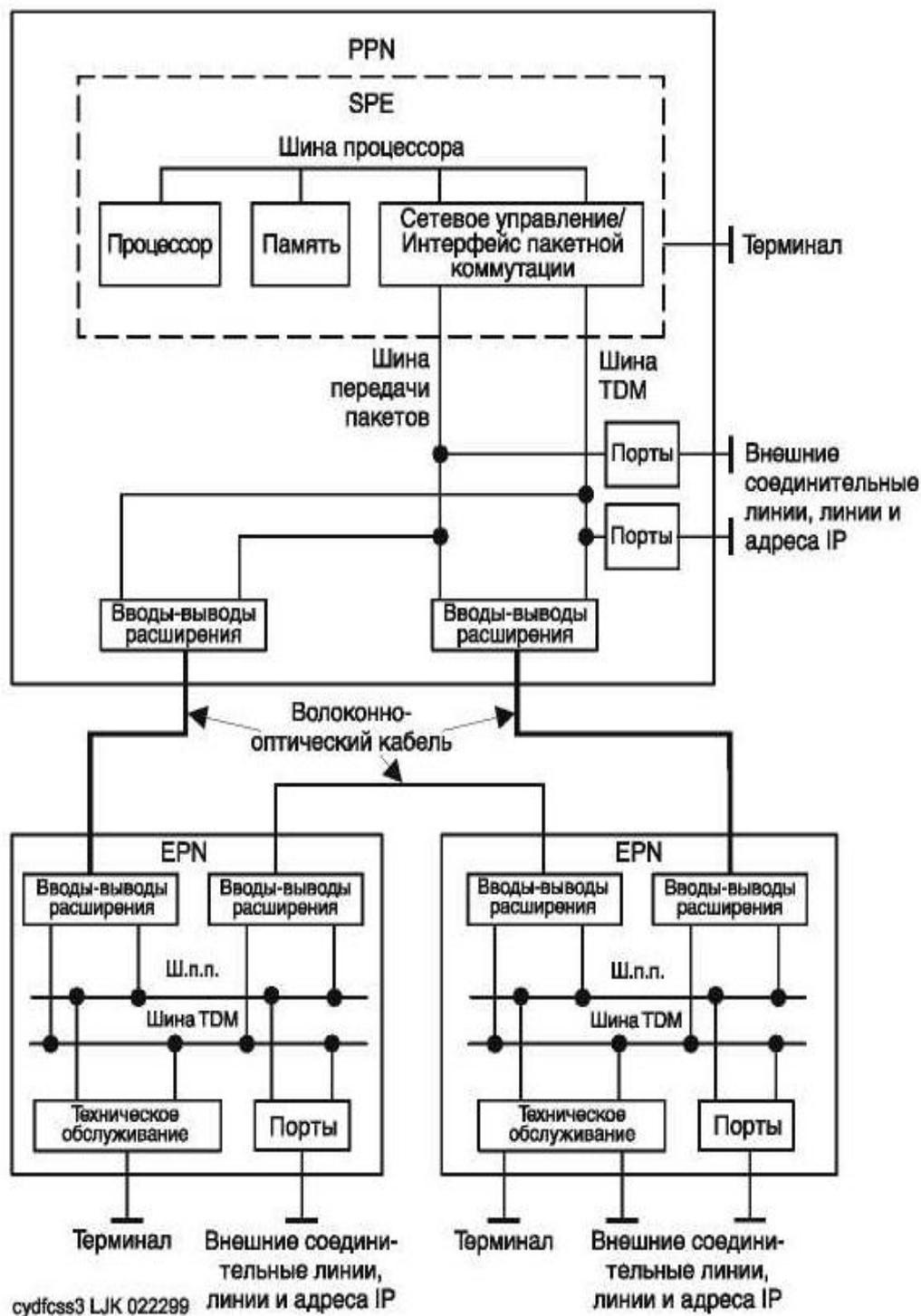


Рис. 3.4. Компоненты системы прямого соединения

На рис. 3.5 показана система с добавлением узлов коммутаторов (CSS) для маршрутизации вызовов голосовой связи и передачи данных между внешними соединительными линиями и линиями станции.

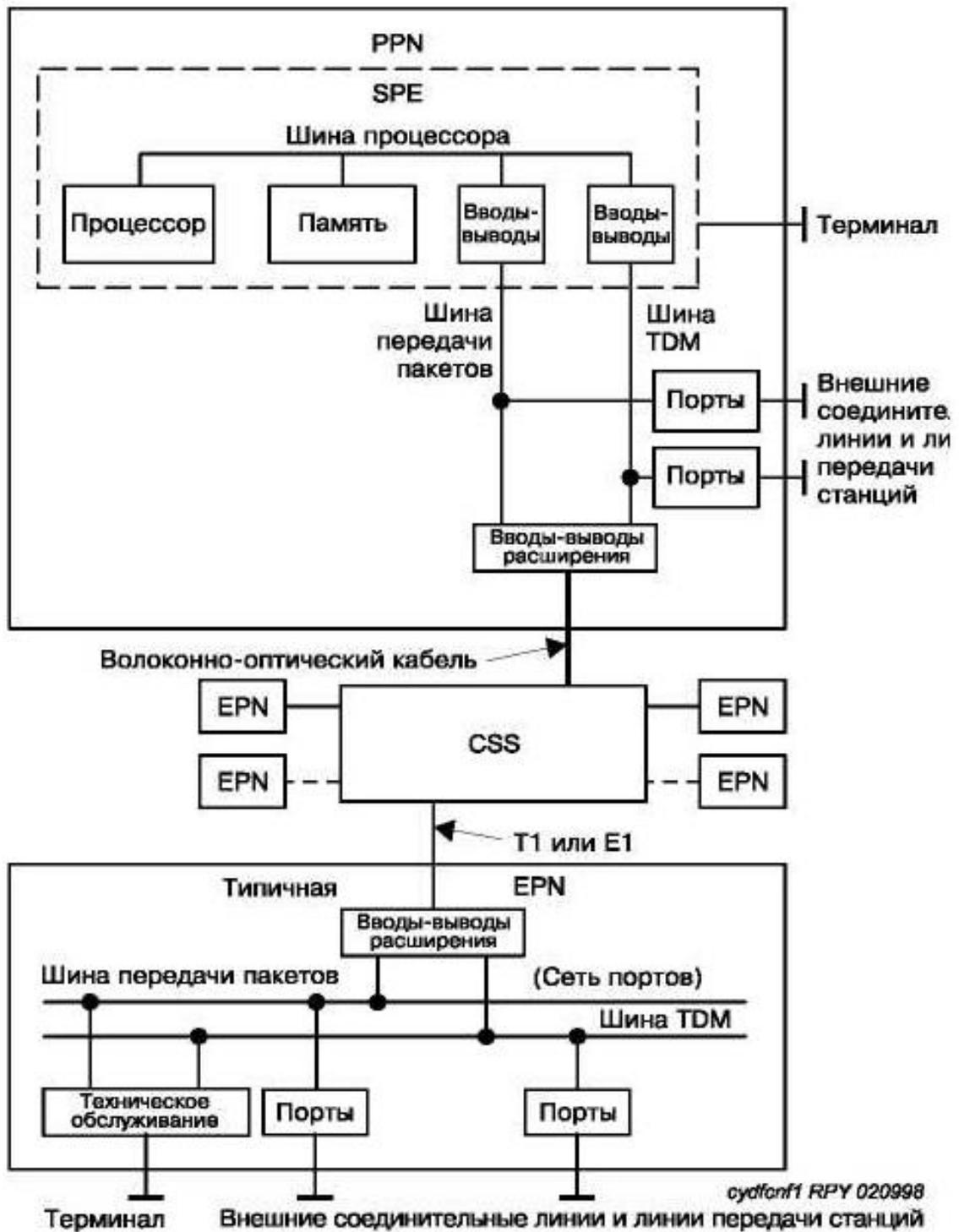


Рис. 3.5. Компоненты системы соединенной через узловой коммутатор (CSS)

Компоненты системы, соединенной через коммутатор с асинхронным режимом передачи (АТМ), аналогичны приведенным на рис. 2.9. Но в системе, соединенной через коммутатор с асинхронным режимом передачи (АТМ), узловой коммутатор (CSS) заменен на коммутатор (-ы) АТМ (с асинхронным ре-

жимом передачи), а каждый ввод/вывод расширения — на печатную плату TN2305 либо TN2306.

Процессорный элемент коммутатора (SPE).

Когда какое-либо устройство, например телефонный аппарат, включается в линию или подает сигналы инициализации вызова, процессорный элемент коммутатора (SPE) получает сигнал от платы порта, соединенной с этим устройством. После сбора цифр вызываемого номера коммутатор устанавливается в состояние выполнения соединения между вызывающим и вызываемым устройствами.

Процессорный элемент коммутатора (SPE) состоит из следующих плат управления, соединенных шиной процессора:

- Процессор: Во всех системах выпуска R8 используется процессор компьютера с сокращенным набором команд (RISC). Печатная плата процессора TN790 используется в системах выпуска R8si. TN798 используется в системах выпуска R8csi. UN332C используется в системах выпуска R8r.

- Память: В системах выпусков R8csi и R8si используется 16 Мбайт флэш-ПЗУ (ROM) и 16 Мбайт динамической памяти с произвольной выборкой [ОЗУ] (DRAM), резидентных на печатной плате процессора. В системах R8r для обеспечения в целом 96 Мбайт динамической памяти с произвольной выборкой (ОЗУ) требуются три печатные платы памяти TN1650B.

- Запоминающее устройство (ЗУ): Во всех системах выпуска R8, за исключением R8r, трансляции сохраняются в энергонезависимой памяти на плате памяти PCMCIA. В системах выпуска R8r энергонезависимым устройством самозагрузки и запоминающим устройством трансляций служит накопитель на дисках. В системе R8r в качестве резервного запоминающего устройства может использоваться оптический накопитель.

Платы ввода-вывода (I/O).

Эти платы используются в качестве интерфейсов между процессорным элементом коммутатора (SPE) и шиной мультиплексора с временным разделением, а также пакетной шиной.

Интерфейс техобслуживания: Соединяет систему с административным терминалом и контролирует нарушение электрического питания, сигналы синхронизации и датчики температуры.

Сеть портов (PN).

Сеть портов (PN) состоит из следующих компонентов:

- Шина мультиплексора с временным разделением (TDM): Имеет 484 временных интервала, 23 канала В и 1 канал D на каждой шине. Проходит внутри каждой сети портов PN и заканчивается оконечной нагрузкой на каждом конце. Состоит из двух 8-битовых параллельных шин: шины А и шины В. Эти шины передают коммутируемые оцифрованные сигналы голоса и данных и сигналы управления между всеми платами портов и между платами портов и процессорным элементом коммутатора (SPE). Платы портов помещают оцифрованные

сигналы голоса и данных на шину мультиплексора с временным разделением (TDM). Шина *A* и шина *B* обычно действуют одновременно.

- Пакетная шина: Проходит внутри каждой сети портов (PN) и заканчивается оконечной нагрузкой на каждом конце. Это 18-битовая параллельная шина, которая передает логические связи и управляющие сообщения от процессорного элемента коммутатора (SPE) через платы портов к оконечным устройствам, таким как терминалы и адьюнкты.

Пакетная шина передает логические связи для контроля внутри и вне коммутатора между некоторыми определенными платами портов в системе: например, *D*-каналы, X.25 и дистанционные терминалы управления. Как правило, модель cs1 не использует пакетную шину. Любая прикладная программа MAPD или ISDN использует шину мультиплексора с временным разделением (TDM).

- Печатные платы портов: Образуют аналоговые/цифровые интерфейсы между сетью портов (PN) и внешними соединительными линиями и устройствами, обеспечивая связи между этими устройствами и шиной мультиплексора с временным разделением (TDM), а также пакетной шиной.

Входящие аналоговые сигналы преобразуются в цифровые сигналы импульсно-кодовой модуляции (ИКМ) и помещаются платами портов на шину мультиплексора с временным разделением (TDM). Платы портов преобразуют исходящие сигналы из ИКМ в аналоговые для внешних аналоговых устройств. Все платы портов подключены к шине TDM. К пакетной шине подключены только определенные порты.

- Печатные платы интерфейса: Расположены в сети процессорных портов (PPN) и в каждой периферийной сети портов (EPN). Это типы плат портов, которые служат для концевой заделки волоконно-оптических кабелей, соединяющих шины TDM и пакетную шину от статива сети процессорных портов (PPN) с шинами TDM и пакетной шиной каждого статива периферийной сети портов (EPN). Волоконно-оптический кабель соединяет также узловой коммутатор (CSS) с сетью процессорных портов (PPN) и периферийными сетями портов (EPN). Эти оконечные нагрузки интерфейса и кабелей обеспечивают путь передачи между платами портов в различных сетях портов (PN).

В ATM-PNC интерфейс асинхронного режима передачи (ATM) соединяет каждую сеть портов (PN) с коммутатором с асинхронным режимом передачи (ATM). Печатная плата интерфейса расширения (EI) также завершает каждый конец кабеля, соединяющего сеть процессорных портов (PPN) с периферийной сетью портов (EPN), каждый конец кабеля, соединяющего периферийную сеть портов (EPN) с другой периферийной сетью портов (EPN), и конец кабеля сети процессорных портов (PN), проложенный между платодержателями PN и SN.

Печатная плата интерфейса коммутационного узла (SNI) завершает ту сторону кабеля, соединяющего полочный платодержатель SN и сеть портов (PN), где находится полочный платодержатель коммутационного узла (SN).

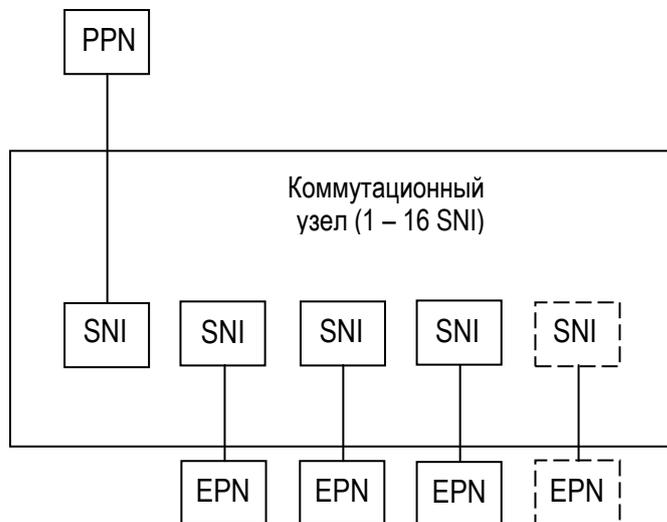
Преобразователь DS1: Производит преобразование с волоконного интерфейса на интерфейс DS1 между сетями портов (PN) для создания удаленных соединений DS1.

- Платы обслуживания: Подключаются к внешнему терминалу для контроля, обслуживания и обнаружения неисправностей в системе. Обеспечивают также генерирование и детектирование тонального сигнала наряду с классификацией вызовов, объединением модемов в пул, записанными сообщениями и синтезированием речи.

Узловой коммутатор (CSS).

На рис 3.6 показан узловой коммутатор (CSS), связывающий сеть процессорных портов (PPN) с периферийными сетями портов (EPN) посредством печатных плат интерфейса коммутационного узла (SNI) в полочном платодержателе коммутационного узла (SN). SN снижает количество соединительных кабелей между сетью процессорных портов (PPN) и периферийных портов (EPN), действуя в качестве концентратора для распределения кабелей.

Система, использующая узловой коммутатор (CSS), может соединять от 3-х до 43-х сетей портов (PN). Каждый коммутационный узел (SN) содержит от 1 до 16 печатных плат интерфейса коммутационного узла (SNI). Каждый интерфейс может быть подсоединен к сети портов (PN) или другому коммутационному узлу (SN) с помощью волоконно-оптического кабеля. Один интерфейс всегда соединен с сетью процессорных портов (PPN) и один – с каждой периферийной сетью портов (EPN).



сел: рол 0 PBP 070295

Рис. 3.6. Узловой коммутатор (CSS) с коммутационными узлами (SN)

В системе высокой надежности (с дублированным процессором) две печатные платы интерфейса коммутационного узла (SNI) соединены с сетью процессорных портов (PPN), что позволяет подключить до 15 портов (PN) к одному коммутационному узлу (SN), до 20PN - к двум SN.

Программное обеспечение.

Система состоит из двух основных компонентов:

- Мультипроцессорная операционная система в реальном времени Oryx/Pecos. Oryx/Pecos поддерживает процессорный элемент коммутатора (SPE).
- Прикладной уровень состоит из трех важнейших подсистем:
 - Обработка вызовов: начинает и завершает вызовы, а также управляет речью и данными в системе.
 - Техническое обслуживание: обнаруживает неполадки, восстанавливает операции и выполняет тесты в системе.
 - Управление системой: управляет внутренними процессами, необходимыми для установки, администрирования и поддержания работоспособности системы.

Логическое соединение компонентов системы между собой относится к двум видам логических связей, вводимым в процессорный элемент коммутатора (SPE):

- Связи системы для внутреннего управления системой.
- Логические каналы для связи с периферийным оборудованием, используемые внешними прикладными системами, такими как адьюнкты.

IP SoftPhone.

Различные виды прикладных программ IP SoftPhone расширяют объем услуг системы DEFINITY. Они превращают ПК или портативный компьютер в усовершенствованное средство телефонной связи. Предоставляется возможность производить и принимать вызовы, а также осуществлять многочисленные вызовы с персонального компьютера. Имеется 4 типа телефонных аппаратов. Таковыми являются:

- Прикладная программа Telecommuter — многофункциональная станция, работающая на ПК, плюс в сочетании с обычным телефонным аппаратом. Управление вызовом происходит по программе SoftPhone, а речевой канал — по DCP. Данный вид прикладной программы IP SoftPhone предназначается для использования в домашних офисах, где требуется обеспечить качество звука телефонной сети общего пользования. В данной программе плата MedPro не используется.

- Прикладная программа Road-warrior — многофункциональная станция, основанная полностью на ПК. Она используется, если для доступа к сети IP и системе DEFINITY имеется только одна телефонная линия. Данный вид прикладной программы IP SoftPhone предназначается для работников, совершающих по долгу службы частые поездки. Для прикладной программы Road-warrior используется плата MedPro.

- CentreVu IP Agent — Данная разновидность прикладной программы SoftPhone представляет собой прикладную программу Telecommuter, конфигурированную для использования программного обеспечения интерфейса пользо-

вателя CentreVu IP Agent. Она используется в качестве станции агента операторского центра.

- Native H.323 — Это прикладная программа SoftPhone с IP-соединением, использующая готовое программное обеспечение H.323. Она работает в качестве телефонного аппарата с единственной линией и ограниченным набором функций, которые запускаются при помощи кодов доступа к функции (FAC).

Поскольку прикладные требования могут различаться в широких пределах, для системы DEFINITY ECS могут поставляться три типа процессорных элементов коммутатора: с проверенной пропускной способностью 70 000, 140 000 и 250 000 вызовов в час. Производительность системы будет зависеть от обработки вызовов, а также от деятельности по администрированию и обслуживанию, осуществляемой системой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Набатов О.С., Вдовиченко Н.С. Связь в автоматизированных системах управления воздушным движением. – М.: Транспорт. 1984.
2. Крыжановский Г.А., Черняков М.В. Комплексование авиационных систем передачи информации. – М.: Транспорт, 1984.
3. Верещака А.И., Олянюк П.В. Авиационная радиоэлектроника, средства связи и радионавигации. - М.: Транспорт 1992.
4. Фролов В.И., Кондряков В.А., Колосова Л.А. Организация и средства авиационной связи. Ленинград, 1989.
5. Руководство по авиационной электросвязи РС ГА-99. - М., 1999.
6. Олифер В.Г., Олифер Н.А.-СПб.: Питер, 2002.
7. Гольштейн Б.С. Системы коммутации. – СПб.: БХВ, 2003.
8. Чариков Ю.К., Кобляков В.К. Отечественные электронные АТС. – М.: Логос, 2002.
9. DEFINITY ECS. Release 8.2.System Description-Russian, 2000.