

OC-3, OC-1 Rec. G.701
SDH/SONET G.702
VC-n Н. Н. Слепов G.703

СИНХРОННЫЕ ЦИФРОВЫЕ СЕТИ SDH

Q₃-interface G.707

F-interface G.708

PDH T1/E1 G.709

SMUX E4 G.783

TMN T3/E3 G.784

TU-n (2, 3, 11, 12) G.841

Q-interface G.957

STM-RR G.958

Слепов Н.Н.

Синхронные цифровые сети SDH

ЭКО-ТРЕНДЗ

Москва, 1997



А В Т О Р :

Н.Н. СЛЕПОВ

Синхронные цифровые сети SDH

Сети SDH целесообразно использовать в качестве транспортных сетей, связывающих локальные сети передачи данных. Роль сетей SDH растет в связи с развитием технологии ATM, которая становится связующим звеном между локальными компьютерными сетями и глобальными транспортными сетями SDH. С одной стороны, уже сейчас существуют ATM коммутаторы, совместимые с сетями Ethernet, с другой стороны, ATM поток наиболее подходит для его транспортирования в сетях SDH.

В книге изложены базовые принципы и технологии синхронных цифровых сетей SDH: мультиплексирование потоков данных, ИКМ, иерархии скоростей. Рассмотрены архитектура, топологии, структура линейных, радиально-кольцевых, разветвленных сетей SDH. Описаны функциональные модули: мультиплексоры, концентраторы, регенераторы, коммутаторы, реализации мультиплексоров STM-1, STM-4, STM-4/16. Проведены анализ и сравнение оборудования SDH различных производителей. Особое внимание уделено стандартизации в сетях SDH на базе стандартов серии G.7xx. Подробно рассмотрены принципы управления SDH сетями: функционирование, администрирование, обслуживание.

Книга содержит справочные данные о стандартах, используемых в сетях SDH, а также аббревиатуры и обозначения, принятые в стандартах и технических материалах. Она может быть полезна экспертам и специалистам по системам связи и компьютерным сетям, аспирантам, студентам.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ВВЕДЕНИЕ	7
1. ОСНОВЫ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ	9
1.1. ОСОБЕННОСТИ КАНАЛА СВЯЗИ.....	9
1.2. ИМПУЛЬСНО-КОДОВАЯ МОДУЛЯЦИЯ (ИКМ)	9
1.3. МЕТОДЫ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ ПОТОКОВ ДАННЫХ.....	10
1.3.1. Частотное мультиплексирование.....	11
1.3.2. Временное мультиплексирование	12
1.3.3. Временное мультиплексирование двоичных потоков данных	13
1.4. КОДИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДАННЫХ В ИКМ СИСТЕМАХ.....	14
1.4.1. Практические методы формирования цифровой последовательности	14
1.4.2. Методы двоичного кодирования и ошибки квантования	15
1.4.3. Параметры стандартных ИКМ систем	16
1.4.4. Практические методы линейного кодирования потока данных в канале	18
1.5. ЦИФРОВЫЕ ИЕРАРХИИ СКОРОСТЕЙ ПЕРЕДАЧИ	20
1.5.1. Схемы плезиохронной цифровой иерархии - PDH	21
1.5.2. Особенности плезиохронной цифровой иерархии	22
1.5.3. Недостатки плезиохронной цифровой иерархии.....	23
1.5.4. Синхронные иерархии SONET/SDH	25
2. СИНХРОННЫЕ ЦИФРОВЫЕ СЕТИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ SDH	26
2.1. СИНХРОННЫЕ ЦИФРОВЫЕ СЕТИ.....	26
2.2. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИНХРОННОЙ ИЕРАРХИИ SDH.....	27
2.2.1. Общие особенности построения синхронной иерархии.....	27
2.2.2. Обобщенная схема мультиплексирования потоков в SDH (первая редакция)	28
2.2.3. Виртуальные контейнеры и другие элементы синхронной иерархии	29
2.2.4. Обобщенная схема мультиплексирования потоков в SDH (третья редакция)	32
2.2.5. Детальный пример схемы формирования модуля STM-1	34
2.2.6. Другие варианты сборки модуля STM-1 по схеме ETSI	38
2.2.7. Сборка модулей STM-N.....	40
2.2.8. Структура фреймов STM-N	41
2.2.9. Структура заголовков фреймов STM-N.....	44
2.3. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МОДУЛИ СЕТЕЙ SDH	46
2.3.1. Функциональные задачи и модули сетей SDH	47
2.3.2. Мультиплексоры.....	47
2.3.3. Концентраторы.....	48
2.3.4. Регенераторы.....	50
2.3.5. Коммутаторы.....	50
2.3.6. Функции, выполняемые коммутатором	51
2.3.7. Методы кросс-коммутации и взаимодействие сетей SDH	52
2.4. ТОПОЛОГИЯ СЕТЕЙ SDH.....	54
2.4.1. Топология "точка-точка"	54
2.4.2. Топология "последовательная линейная цепь".....	54
2.4.3. Топология "звезда", реализующая функцию концентратора	55
2.4.4. Топология "кольцо"	56
2.5. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ СИНХРОННЫХ ПОТОКОВ	56
2.6. АРХИТЕКТУРА СЕТЕЙ SDH.....	58
2.6.1. Радиально-кольцевая архитектура	58
2.6.2. Архитектура типа "кольцо-кольцо"	59
2.6.3. Линейная архитектура для сети большой протяженности.....	59
2.6.4. Архитектура разветвленной сети общего вида	61
2.7. АППАРАТУРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БЛОКОВ СЕТЕЙ SDH.....	63
2.7.1. Схемная реализация и характеристики синхронных мультиплексоров	63
2.7.1.1 Реализация мультиплексоров STM-1	63
2.7.1.2 Реализация мультиплексоров STM-4.....	65
2.7.1.3 Реализация мультиплексоров STM-4/16.....	67

2.7.2.	Обзор аппаратной реализации оборудования сетей SDH.....	69
2.7.2.1.	Технические характеристики оборудования	70
2.7.2.2.	Новые технологические решения	73
2.7.2.3.	Номенклатура аппаратуры SDH компаний-производителей	74
2.7.3.	Практический пример расчета сети SDH	78
2.8.	ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНЕЙНЫХ SDH СИСТЕМ	82
2.9.	ИНТЕРФЕЙС G.703	84
2.9.1.	Физические и электрические характеристики интерфейса G.703	85
2.9.2.	Реализация интерфейса G.703	89
2.9.3.	Подключение сети с интерфейсом G.703 к аппаратуре пользователя	90
3.	УПРАВЛЕНИЕ СЕТЬЮ: ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ, АДМИНИСТРИРОВАНИЕ И ОБСЛУЖИВАНИЕ	92
3.1.	ЧЕТЫРЕХУРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЬЮ.....	92
3.2.	СЕТЬ УПРАВЛЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯМИ TMN	94
3.2.1.	Концепция TMN и общая схема управления	94
3.2.2.	Архитектура TMN.....	94
3.2.2.1.	Функциональные блоки и их компоненты	94
3.2.2.2.	Информационный аспект архитектуры	96
3.2.2.3.	Общий аспект архитектуры TMN	98
3.3.	ОБЩАЯ СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ СЕТЬЮ SDH	100
3.3.1.	Подсеть SMS сети управления SMN	101
3.3.2.	Функции управления	102
3.3.2.1.	Общие функции управления	102
3.3.2.2.	Управление сообщениями об аварийных ситуациях.....	102
3.3.2.3.	Управление рабочими характеристиками	103
3.3.2.4.	Управление конфигурацией	104
3.3.3.	Протоколы и внутрисистемные взаимодействия.....	104
3.3.3.1.	Обзор используемых протоколов	104
3.3.3.2.	Внутрисистемные взаимодействия	105
3.3.4.	Интерфейсы взаимодействия.....	106
3.3.4.1.	Q-интерфейс.....	106
3.3.4.2.	F-интерфейс	108
3.4.	ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЬЮ SDH	108
3.4.1.	Сеть управления на основе каналов DCC	108
3.4.1.1.	Спецификация интерфейсов управления.....	109
3.4.1.2.	Адресация точки доступа сетевого сервиса NSAP	109
3.4.1.3.	Сеть Ethernet.....	110
3.4.2.	Служебные каналы и внешние интерфейсы	111
3.4.3.	Синхронизация сетей SDH	112
3.4.3.1.	Методы синхронизации	112
3.4.3.2.	Режимы работы и качество хронизирующего источника.....	113
3.4.3.3.	Использование мирового скоординированного времени	113
3.4.3.4.	Пример синхронизации кольцевой сети SDH	114
3.4.3.5.	Пример синхронизации ячеистой сети SDH	115
3.4.4.	Элемент-менеджер	116
3.4.5.	Сетевой менеджер	118
3.5.	ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР ФОРМИРОВАНИЯ СЕТИ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ЯЧЕИСТОЙ СЕТИ SDH ...	121
3.5.1.	Определение адресов NSAP для узлов сети	121
3.5.2.	Формирование сети синхронизации	122
3.5.3.	Соединение и конфигурирование узлов и маршрутизация потоков	123
	СТАНДАРТЫ И ТЕРМИНОЛОГИЯ СИНХРОННЫХ СЕТЕЙ	125
4.1.	СТАНДАРТЫ ЦИФРОВЫХ СИНХРОННЫХ СЕТЕЙ.....	125
4.1.1.	Краткий обзор стандартов синхронных цифровых сетей	125
4.1.2.	Систематизация логических функций оборудования SDH.....	127
4.2.	ТЕРМИНОЛОГИЯ ЦИФРОВЫХ СЕТЕЙ	129
4.2.1.	Истоки появления новой терминологии	129
4.2.2.	Некоторые предложения по выбору терминологии в технологиях PDH и SDH	130
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	133
	СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	134
	ЛИТЕРАТУРА.....	145

ПРЕДИСЛОВИЕ

Интенсивное развитие новых информационных технологий в семидесятые годы привело к бурному развитию микропроцессорной техники, которая стимулировала развитие цифровых методов передачи голоса и данных, что в конечном счете привело к созданию не только технологий локальных сетей: ARCnet, Ethernet, Token Ring и FDDI, но и новых высокоскоростных технологий глобальных сетей: PDH, SONET, SDH, ISDN, Frame Relay и ATM.

Если описание технологий локальных сетей на русском языке появилось достаточно быстро, учитывая их широкое распространение и организацию изучения на различных уровнях, то описание ряда новых технологий глобальных сетей появилось сравнительно недавно в первую очередь в научно-популярных изданиях. В целом, за исключением **режима асинхронной передачи** ATM, оно отставало от начавшегося широкого внедрения этих технологий, например таких, как **синхронная цифровая иерархия** SDH (СЦИ).

Интерес к технологии SDH среди связистов обусловлен тем, что эта технология пришла на смену **импульсно-кодовой модуляции** PCM (ИКМ) и **плезियोхронной цифровой иерархии** PDH (ПЦИ) и стала интенсивно внедряться в результате массовой установки современных зарубежных цифровых АТС, позволяющих оперировать потоками 2 Мбит/с, и создания в регионах локальных колец SDH.

В этой ситуации существенное отставание развития отечественной техники связи от новых передовых технологий сказалось и на публикациях. Эти технологии практически не были до последнего времени (конец 1995г.) описаны в отечественной литературе за исключением пары публикаций [5,6], и небольших специальных статей в основном обзорного или рекламного характера, описывающих конкретные реализации коммерческих сетей [7-11] (ведомственное издание [12], как и отчеты ЦНИИС, к сожалению, не могут, будучи недоступными для массового читателя, заменить книжно-журнальные публикации).

В России инженеры при освоении новой технологии пользуются исключительно оригинальными материалами западных фирм, полученными вместе с аппаратурой, и, начиная с 1991-1992 годов, проходили обучение этим технологиям на Западе. Другим источником было огромное количество оригинального материала, содержащегося в рекомендациях и стандартах по данным технологиям (и в первую очередь по технологии SDH). Основные стандарты, упомянутые в списке литературы [13-25], только часть того, что есть и может быть использовано. Учитывая хотя и запоздалый, но перевод этих стандартов на русский язык, выполняемый российской секцией МСЭ, положение можно было бы считать тяжелым, но терпимым.

Однако, в связи с развитием корпоративных, региональных и глобальных компьютерных сетей и широким использованием сетей SDH в качестве транспортных сетей, связывающих локальные сети передачи данных, эта технология заинтересовала большую аудиторию специалистов по локальным компьютерным сетям (от администраторов сетей до разработчиков). Этот интерес продолжает расти еще и в связи с бурным развитием технологии ATM, которая становится связующим звеном между локальными компьютерными сетями и глобальными транспортными SDH сетями. С одной стороны уже сейчас существуют ATM коммутаторы с модулями, совместимыми с любыми сетями Ethernet (преимущественно распространенной технологией ЛВС в России), с другой стороны ATM поток наиболее подходит для его транспортирования в сетях SDH, учитывая наличие разработанных стандартов инкапсуляции данных практически для всех стандартных скоростей PDH и SDH иерархий.

В этой ситуации редакции журналов "Сети" и "Сети и системы связи" начали публикацию статей с популярным изложением технологии SDH. Статьи [26-29], описывающие основы этой технологии для широкого круга специалистов в области локальных сетей, возможно сгладили остроту этой проблемы, но не решили ее. В этой связи выпуск книги с систематизированным и последовательным изложением этой технологии и ее применения для построения глобальных транспортных сетей, представляется автору своевременным и целесообразным.

Выполнить пожелание издателя по созданию такой книги в достаточно короткий срок оказалось для автора достаточно сложной задачей, учитывая огромное количество (тысячи страниц) оригинального материала (в основном международные рекомендации и стандарты). Автор заранее извиняется перед читателями, если они найдут его изложение местами излишне конспективным, слабо подкрепленным практическими примерами. Вместе с тем автор надеется, что эта книга поможет читателям разобраться в основах технологии SDH и двинуться дальше по пути ее активного использования.

Автор будет признателен всем, кто пришлет свои замечания, которые могут быть учтены в последующих изданиях.

Книга состоит из предисловия, введения, четырех глав и заключения. В первой главе рассмотрены основы цифровых технологий: методы мультиплексирования данных, особенности кодирования данных в ИКМ системах, общие параметры некоторых известных типов ИКМ систем и стандартные

цифровые иерархии скоростей передачи PDH и SONET/SDH.

Вторая глава посвящена рассмотрению собственно технологии SDH. Рассмотрены особенности построения синхронной цифровой иерархии и ее эволюция в процессе практической реализации предложенных рекомендаций, а также основные элементы структуры мультиплексирования и функциональные модули сетей SDH. Описаны основные (базовые) топологии сетей SDH и на их основе рассмотрены основные типы архитектуры таких сетей и особенности организации структурной защиты кольцевых топологий сети от отказов. Приведены схемные реализации и характеристики основных типов синхронных мультиплексоров, а также дан обзор оборудования SDH различных производителей. Рассмотрены особенности реализации радиорелейных линейных систем SDH, а также физические и электрические характеристики основного интерфейса систем SDH - G.703 и вопросы подключения такой сети к аппаратуре пользователя.

В конце главы 2 (2.7.3.) рассмотрен развернутый практический пример эскизного проектирования ячеистой сети SDH, включающий расчет сети на основе таблицы потоков межстанционного взаимодействия (предполагаемого трафика), выбор топологии и оборудования сети и его конфигурации.

В третьей главе рассмотрены методы, модели и схемы управления сетью вообще и сетью SDH в частности. Рассмотрена обобщенная модель управления сетью телекоммуникаций TMN, общая схема управления сетью SDH (включая общие функции управления, протоколы, интерфейсы и внутрисистемные взаимодействия), практические методы управления сетью SDH (включая управление по каналам DCC и служебным каналам, методы синхронизации сетей SDH, а также программные средства управления - элемент-менеджер и сетевой менеджер.

В главе 3 продолжено рассмотрение практического примера проектирования ячеистой сети SDH, в частности, методы адресации и формирование схемы управления сетью (п. 3.5., п. 3.5.1.), построение сети синхронизации для выбранной топологии с разбиением на секции (п. 3.5.2.), соединение и конфигурирование узлов и маршрутизация потоков (п. 3.5.3.).

В заключительной главе 4 проведен краткий обзор стандартов цифровых синхронных сетей и приведена структурная логическая схема процесса мультиплексирования, взятая из рассмотренных стандартов. Учитывая важность используемой терминологии, автор попытался обосновать используемые варианты терминов, что должно помочь читателям разобраться в многообразии применяемых терминов.

В книге (как и в стандартах, на которых она основана) используется большое количество сокращений. Для удобства читателя в конце книги приведен список этих сокращений с расшифровкой английского эквивалента и соответствующим русским переводом. Автор полагает, что этот материал облегчит чтение книги, позволит лучше понимать тексты оригинальных стандартов по SDH, что в конечном счете поможет заинтересованному читателю глубже изучить технологию SDH.

Для помощи читателю в последующем изучении рассмотренной технологии приведены ссылки на последние версии (по декабрь 1996 года) действующих стандартов.

Книга рассчитана на специалистов по сетям любого уровня, желающих расширить свои познания в области глобальных сетевых технологий.

ВВЕДЕНИЕ

С момента изобретения телефона в 1875 году, ставшего отправной точкой в развитии телефонной связи, методов и технологий передачи голоса, прошло сто лет прежде чем в 1975 году появился первый микрокомпьютер. Все это время системы связи были аналоговыми (в мире - практически вплоть до середины 60-х, в России до середины 70-х годов) [1,2]. Цифровых систем связи практически не было, несмотря на то, что ИКМ была известна с 1937 года [3], а специализированные цифровые компьютеры - с 1939 года. Несмотря на то, что импульсные методы модуляции интенсивно развивались с начала 40-х в связи с развитием радиолокации [4], ИКМ не находила широкого практического применения ввиду громоздкости цифрового оборудования, вплоть до появления в 1959 году компьютеров второго поколения, использующих транзисторы в качестве элементной базы.

Начало использования цифровых технологий в сетях передачи данных связано с ИКМ, а именно, с системами цифровой телефонии на основе кабельных сетей связи, используемыми для передачи голоса.

Первой коммерческой цифровой системой передачи голоса, использующей ИКМ и методы мультиплексирования с временным разделением каналов, считают систему компании Bell System (США), установленную в Чикаго в 1962 году. Система давала возможность передавать 24 голосовых канала по медному кабелю, проложенному между офисами компании Bell System. Каждый голосовой канал использовал скорость передачи 64 кбит/с, все каналы объединялись с помощью **мультиплексора** в единый поток двоичных данных со скоростью 1536 кбит/с, а с учетом служебного канала (8 кбит/с) этот поток приобретал скорость 1544 кбит/с. Он, благодаря последующей стандартизации, и стал известен как **канал DS1** или **T1**, принятый далее в США за первый (или первичный) уровень мультиплексирования для систем цифровой телефонии. Это было уже время появления ЭВМ третьего поколения (IBM System 360, 1963 год), принесших с собой концепцию канала ввода/вывода с развитой системой мультиплексоров ввод/вывода, используемых для организации коммерческих компьютерных систем цифровой передачи данных, а также для объединения компьютеров в локальные сети.

Однако только стремительное развитие микропроцессорной техники и технологии, зародившейся в 1971 году с появлением первого микропроцессора компании Intel, сделало возможным реальное внедрение цифровой техники в телекоммуникационные системы и привело к широкому распространению и развитию компьютерных сетей, давших вторичный мощный импульс развитию сетей передачи данных на основе ИКМ.

Сетевые компьютерные технологии, разработанные первоначально на основе ЭВМ общего назначения, или мэйнфреймов, вот уже около 15 лет применяются для объединения в сеть персональных компьютеров, или ПК. Широкое использование сетевых технологий стало доступно только тогда, когда производительность и функциональные возможности микропроцессоров выросли настолько, чтобы удовлетворить высоким требованиям по управлению сетью связи.

Сетевые цифровые технологии развивались до последнего времени параллельно для глобальных и локальных сетей. Технологии глобальных сетей были направлены в основном на развитие цифровых телефонных сетей, используемых для передачи голоса. Технологии локальных сетей - напротив, использовались, в основном, для передачи данных.

Развитие цифровых телефонных сетей шло по линии уплотнения каналов, как за счет мультиплексирования низкоскоростных первичных каналов T1, так и за счет использования более рациональных методов модуляции, например, использования дифференциальной ИКМ и ее модификаций, позволивших применять для передачи голосового сигнала скорости 32, 16 и 8 кбит/с.

Развитие схем мультиплексирования привело к возникновению трех цифровых иерархий с разными (для разных групп стран) уровнями стандартизованных скоростей передачи или каналов: DS2 или T2/E2, DS3 или T3/E3, DS4 или T4/E4. Эти иерархии, названные **плезियोхронными** (т.е. почти синхронными) цифровыми иерархиями PDH (ПЦИ), широко использовались и продолжают использоваться как в цифровой телефонии, так и для передачи данных.

Развитие технологий скоростных телекоммуникаций на основе PDH привело к появлению в последнее время двух наиболее значительных новых цифровых технологий: **синхронной оптической сети** SONET (СОС), и **синхронной цифровой иерархии SDH** (СЦИ), иногда рассматриваемых как единая технология SONET/SDH, расширившая диапазон используемых скоростей передачи до 40 Гбит/с. Эти технологии были ориентированы на использование волоконно-оптических кабелей (ВОК) в качестве среды передачи.

Технологии локальных сетей, ориентированных на передачу данных, а не голоса, развивались не по линии уплотнения каналов, а по линии увеличения полосы пропускания каналов передачи данных, необходимой для передачи не только текстовых, но и графических данных, а сейчас и данных мультимедиа. В результате используемые на начальном этапе развития сетевые технологии ARCnet, Ethernet и Token Ring, реализующие скорости передачи 2-16 Мбит/с в полудуплексном режиме и 4-32

Мбит/с в дуплексном режиме, уступили место новым скоростным технологиям: FDDI, Fast Ethernet и 100VG-Any LAN, использующим скорость передачи данных 100 Мбит/с и ориентированных в большей части своей также на применение ВОК. Апострофом этого развития видимо будет новая технология 1 Гбит/с Ethernet.

Создание компьютерных сетей масштаба предприятия, корпоративных, региональных и глобальных сетей передачи данных, связывающих множество локальных компьютерных сетей, в свою очередь привело к созданию таких транспортных технологий передачи данных как X.25, **цифровая сеть интегрированного обслуживания** (или с интеграцией служб) ISDN (ЦСИО или ЦСИС) и **ретрансляция кадров** Frame Relay, решавших эти задачи первоначально на скоростях 64 кбит/с - 144 кбит/с - 1.5/2 Мбит/с соответственно.

Дальнейшее развитие этих технологий также шло по линии увеличения скоростей передачи и привело к трем важным результатам:

- постепенному отмиранию (в плане бесперспективности развития) существующей еще технологии X.25;
- увеличению скорости передачи данных, реализуемому технологией Frame Relay, до скорости ТЗ (45 Мбит/с);
- появлению в недрах технологии широкополосной ISDN (B-ISDN) новой технологии ATM, или **режима асинхронной передачи**, которая принципиально может применяться на различных скоростях передачи (от 1.5 Мбит/с до 40 Гбит/с), благодаря использованию техники инкапсуляции данных.

В литературе наибольшее внимание уделяется в настоящее время только технологии ATM, тогда как в России, по сведениям автора, существуют только изолированно функционирующие коммерческие сети ATM и экспериментальные участки сетей, на которых эта технология отрабатывается. В отличие от этого в России развернуты и полномасштабно функционируют, начиная с 1993 года, десятки крупных сетей SDH. Технология SDH двинулась в регионы. На ее основе происходит крупномасштабное переоборудование старой аналоговой сети связи России в цифровую Взаимоувязанную сеть связи (ВСС) [137], использующую самые передовые технологии.

1. ОСНОВЫ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

1.1. ОСОБЕННОСТИ КАНАЛА СВЯЗИ

Для передачи **голоса** или **данных**, рассматриваемых в общем случае как **сигнал**, имеющий определенные характеристики, используется **канал связи**, организуемый между **передатчиком и приемником**. Один из основных вопросов заключается в том, может ли этот сигнал быть принят без искажений. Если нет, то насколько он искажается при прохождении по каналу связи. Уровень допустимых **искажений сигнала**, а точнее отношение **сигнал/шум**, согласно известной формуле Шеннона-Хартли [1], определяет, наряду с шириной полосы пропускания, емкость канала связи или допустимую скорость передачи сигнала. Аналоговый сигнал, непосредственно передаваемый по каналу связи, может быть искажен по амплитуде, фазе и частоте или временному масштабу. Эти искажения являются следствиями естественных или искусственных ограничений канала связи, например на динамический диапазон и полосу пропускания.

При передаче сигнала на дальние расстояния энергетически выгодно использовать высокочастотную **несущую**, параметры которой **модулируются** передаваемым **сигналом**. Для передачи голоса по каналам связи обычно используют два метода модуляции несущей: **амплитудную (АМ)** и **частотную (ЧМ)**. В процессе модуляции (а это операция нелинейная) симметрично несущей f_0 появляются левые и правые боковые частоты $f_0 \pm n\Delta f$, здесь Δf - **основная полоса** частот, занимаемая сигналом. Для АМ $n = 1$, для ЧМ n зависит от индекса модуляции и может быть принято равным, например, 7 [1]. Полоса частот, занимаемая модулируемым сигналом (или его спектр), которая и составляет в этом случае требуемую **ширину полосы частот канала** передачи, равна для АМ $2\Delta f$, а для ЧМ $14\Delta f$. ЧМ передача позволяет существенно уменьшить искажения передаваемого сигнала, особенно в канале с паразитной амплитудной модуляцией и затуханиями амплитуды, каким является радиозфир, однако требует и существенного (в нашем случае в 7 раз) расширения требуемой полосы частот канала связи. На это идут, если передаваемый сигнал один, как например в УКВ ЧМ трансляции, которая позволяет передавать 15 кГц речевого спектра, но требует полосы канала 210 кГц [1]. АМ трансляция передает основную полосу частот - 5 кГц, требуя полосы канала всего 10 кГц.

Системы связи ассоциируются у нас с системами передачи голоса или телефонной связи, которые только в последнее время в связи с развитием модемной и факсимильной связи стали использоваться для передачи данных. Ясно, что эти системы рассчитывались и оптимизировались на передачу речи. Из экономических соображений системы телефонной связи строились как **многоканальные системы**, использующие различные методы уплотнения каналов для передачи по кабелю все большего и большего числа каналов (телефонных разговоров) одновременно. Из приведенного выше примера ясно, что при выборе метода модуляции предпочтение было отдано АМ. Более того основная полоса частот передаваемого речевого спектра была оптимизирована по **индексу артикуляции** (принятому равным 0.7), соответствующему уровню разборчивости слов 85-90%, и составила 3100 Гц. Эта полоса размещалась в диапазоне 300-3400 Гц [1].

Учитывая, что указанная полоса частот должна фильтроваться реальным, а не идеальным, аналоговым полосовым фильтром, имеющим конечную крутизну спада частотной характеристики в переходной полосе, было предложено использовать полосу в 4 кГц в качестве расчетной ширины основной полосы **стандартного телефонного канала** (защитная полоса между двумя соседними каналами при этом составляет 900 Гц).

1.2. ИМПУЛЬСНО-КODOВАЯ МОДУЛЯЦИЯ (ИКМ)

Наряду с использованием аналоговых (АМ) можно использовать импульсные методы модуляции, в частности, амплитудно-импульсную модуляцию (АИМ), что позволяет улучшить энергетические характеристики процесса передачи в целом, если учесть, что длительность излучаемого импульса может быть мала по сравнению с периодом несущей. Импульсные методы модуляции основаны на процессе **дискретизации** передаваемого аналогового сигнала, т.е. использовании **последовательности выборок** (выборочных значений) аналогового сигнала, взятых периодически с **частотой дискретизации** f_d . Она выбирается из условия возможности последующего восстановления аналогового сигнала без искажений из дискретизированного сигнала с помощью фильтра нижних частот. Для сигнала с ограниченным спектром, к которому относится и сигнал стандартного телефонного канала, имеющий частоту среза $f_{cp} = 4$ кГц, применима теорема Котельникова-Найквиста, определяющая $f_d = 2 f_{cp}$. Отсюда получаем, что для стандартного телефонного канала частота дискретизации составляет 8 кГц (т.е. выборки аналогового сигнала следуют с периодом дискретизации $T_d = 125$ мкс).

Следующим логичным шагом может быть **квантование** амплитуд импульсных выборок - процесс определения для каждой выборки эквивалентного ей **численного (цифрового) значения**. Указанные два шага (дискретизация и квантование) определяют процессы, осуществляемые при **импульсно-кодовой модуляции**. Они позволяют перейти от аналогового представления речевого сигнала к **цифровому**.

Численное значение каждой выборки в этой схеме может быть далее представлено (закодировано) в виде 7 или 8 битного **двоичного кода** (на практике при использовании аналого-цифровых преобразователей (АЦП) двоичное кодирование осуществляется непосредственно при квантовании). Такое кодирование (часто называемое **кодификацией**) дает возможность передать 128 (2^7) или 256 (2^8) дискретных уровней амплитуды речевого сигнала, обеспечивая качественную передачу речи формально с динамическим диапазоном порядка 42 или 48 дБ. Учитывая, что выборки должны передаваться последовательно, получаем двоичный цифровой поток со скоростью 56 кбит/с ($8 \text{ кГц} \times 7 \text{ бит}$) в случае 7 битного кодирования или 64 кбит/с ($8 \text{ кГц} \times 8 \text{ бит}$) в случае 8 битного кодирования.

Указанные шаги преобразования для формирования ИКМ представлены на рис. 1-1.

Использование ИКМ (известной с 1938г., но реализованной только в 1962г.) в качестве метода передачи данных позволяет:

- **для систем цифровой телефонии** - ликвидировать недостатки, присущие аналоговым методам передачи, а именно:
 - убрать существенное затухание сигнала и его изменение в сеансе связи и от сеанса к сеансу;
 - практически убрать посторонние шумы;
 - улучшить разборчивость речи и увеличить динамический диапазон передачи;
- **для систем передачи данных** - организовать канал передачи данных на скорости 56 или 64 кбит/с.

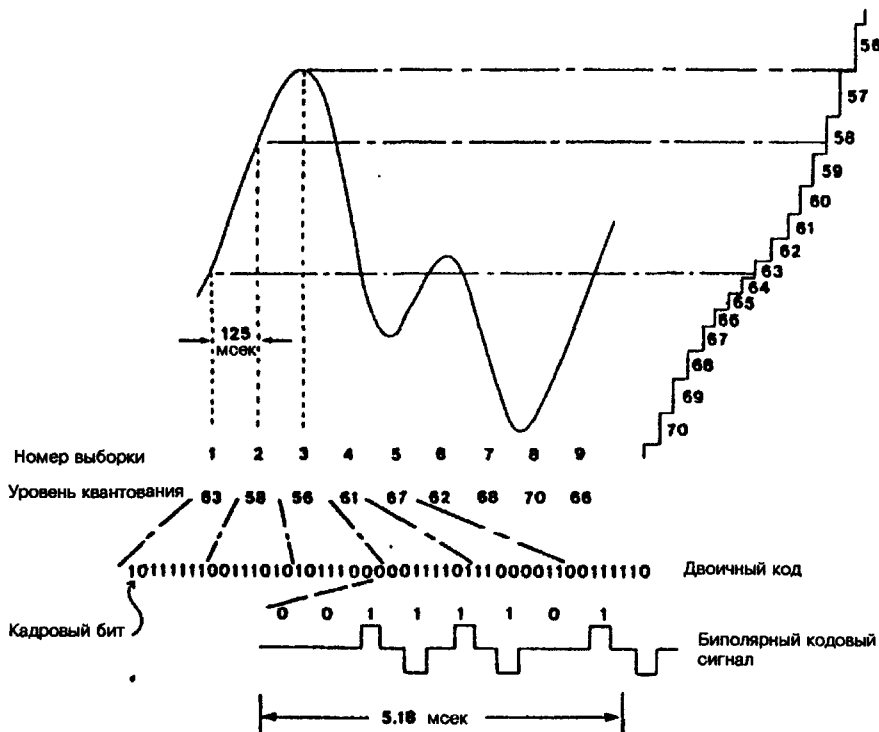


Рис.1-1. Формирование двоичного потока при ИКМ с 7-битным кодированием

1.3. МЕТОДЫ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ ПОТОКОВ ДАННЫХ

Первые системы телефонной связи использовали отдельные линии передачи для организации каждого канала. Идеи организации передачи нескольких телеграфных каналов по одной линии или идеи мультиплексирования были впервые осуществлены еще в 1918 с помощью механического коммутатора. Под **мультиплексированием** (связисты используют термин уплотнение) будем понимать объединение нескольких меньших по емкости входных каналов связи в один канал большей емкости для передачи по одному выходному каналу связи. При реализации такого **объединения** телефонных каналов одной из основных задач является устранение **взаимного влияния** соседних каналов. До последнего времени широко использовались два метода мультиплексирования:

- **мультиплексирование с частотным разделением каналов** (частотное мультиплексирование/уплотнение);
- **мультиплексирование с временным разделением каналов** (временное мультиплексирование/уплотнение).

1.3.1. Частотное мультиплексирование

При частотном мультиплексировании полоса частот выходного канала делится на некоторое число полос (подканалов) n , соответствующих по ширине основной полосе стандартного телефонного канала 4 кГц. Например, на рис.1-2 показана такая группа из четырех каналов с полосой 4 кГц, отведенной под каждый канал, и частотами, сдвинутыми на 60 кГц в результате амплитудной модуляции.

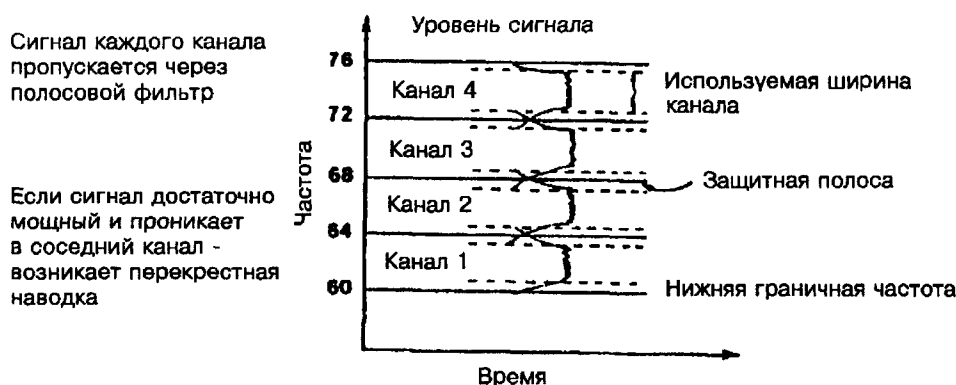


Рис.1-2. Вид канальной группы, полученной в результате частотного мультиплексирования

Каждый канал имеет фактическую полосу пропускания 3.1 кГц и формируется полосовыми фильтрами с частотами среза, сдвинутыми на 4 кГц относительно друг друга. Например, фильтр первого канала имеет частоты среза 60.3 и 63.4 кГц, второго - 64.3 и 67.4 кГц. При больших уровнях сигнала в каналах защитной полосы 900 Гц между каналами недостаточно для устранения перекрестной наводки (телефонного разговора) от соседних каналов.

Для формирования канальных групп используется процедура ОБП-ПН - модулирования несущей и поднесущих по амплитуде с подавлением **одной боковой полосы** (левой или правой) и **подавлением несущей**. Схема формирования **канальных групп** может быть разной. Стандарт ССНТ рекомендует следующую систему группирования [1]:

- **основная канальная группа** (называемая связистами первичной группой) - 12 стандартных телефонных каналов;
- **основная супергруппа** (называемая вторичной группой) - 5 канальных групп (т.е. 60 каналов);
- **мастергруппа** (называемая третичной группой) - 5 супергрупп (т.е. 300 каналов) или 10 супергрупп (т.е. 600 каналов), или 16 супергрупп (т.е. 960 каналов)

Различное число мастергрупп и супергрупп может быть использовано в процессе группирования, образуя мультимастергруппы (называемые четвертичными группами). Формирование основной канальной группы показано на рис.1-3, где используется двухступенчатая схема: на первой формируется группа из трех (правых) каналов ОБП - путем модуляции поднесущих 12, 16 и 20 кГц, на второй - канальная группа из 12 (левых) каналов ОБП - путем модуляции поднесущих 84, 96, 108 и 120 кГц. В результате формируется канальная группа с шириной полосы 48 кГц (60-108 кГц), которая используется для модуляции 5 несущих (420, 468, 512, 564, 612 кГц) при формировании супергруппы с шириной полосы 210 кГц (312-522 кГц) и т.д.

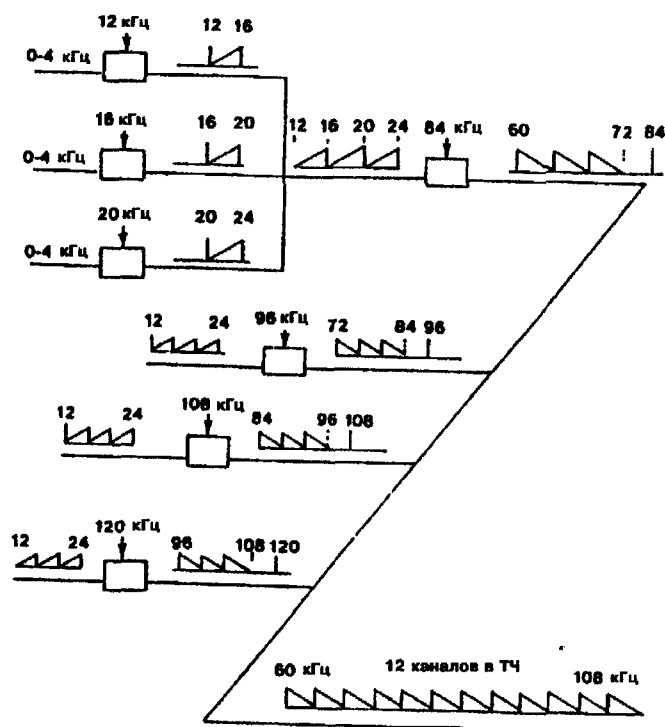


Рис.1-3. Схема формирования основной канальной группы

1.3.2. Временное мультиплексирование

Частотное мультиплексирование достаточно сложно в реализации и настройке (как и все аналоговые методы). При использовании ИКМ наиболее удобной является схема мультиплексирования с временным разделением каналов, или, кратко, **схема временного мультиплексирования**, или схема с разделением ресурсов с помощью **коммутатора** (на передающей стороне), который последовательно подключает каждый входной канал на определенный **временной интервал** (его называют также "тайм-слот" или "интервал коммутации", или "цикл"), необходимый для посылки выборки (или какой-то фиксированной части) сигнала в данном канале. Сформированный таким образом поток выборок от разных входных каналов направляется в канал связи. На его приемной стороне **демультиплексор** с помощью аналогичного коммутатора и фильтров нижних частот выделяет отдельные выборки и **распределяет** их по соответствующим каналам. Важно то, что коммутаторы на передающей и приемной сторонах должны работать синхронно, т.е. должны быть **синхронизированы**. Схема временного мультиплексирования выборок приведена на рис. 1-4.

Для ИКМ в телефонных сетях коммутатор должен обращаться с периодом равным периоду дискретизации T_d , тогда **интервал коммутации канала** $\Delta t_k = T_d / n$, где n - число входных каналов мультиплексора, или $\Delta t_k = 125 / n$ [мкс]. Если мультиплексируются 24 канала, то $\Delta t_k = 5.208(3)$ мкс, если 32 канала, то $\Delta t_k = 3.90625$ мкс. Однако введенное понятие интервала коммутации как фиксированной величины верно в идеальном случае. На практике в ряде случаев оно условно, а сам процесс коммутации может быть неравномерным.

Действительно, для синхронизации коммутаторов должен использоваться некий **синхроимпульс** или его цифровой аналог (например последовательность вида "11...11" определенной длины). Если он передается по какому-то внешнему каналу управления, то рассмотренная схема идеального мультиплексирования абсолютно верна, если же используется внутриканальная синхронизация, то процесс синхронизации сводится к вставке дополнительного, так называемого **выравнивающего**, бита или группы бит после m выборок, либо организации более сложной повторяющейся структуры в потоке выборок, включающей m выборок и k полей определенной длины или выравнивающих бит. Эта структура может быть разной, но она фиксирована для конкретной схемы кодирования ИКМ и носит название **кадр** или **фрейм** (frame), в терминологии связистов "цикл". Несколько фреймов могут объединяться в еще более общую структуру называемую **мультифреймом** (multiframe), в терми-

нологии связистов "сверхцикл". **Период повторения фрейма** - это время, требуемое на один полный цикл коммутации с учетом времени вставки выравнивающей группы бит. Пример его вычисления при наличии выравнивающей группы бит рассмотрен более подробно в 1.4.2.

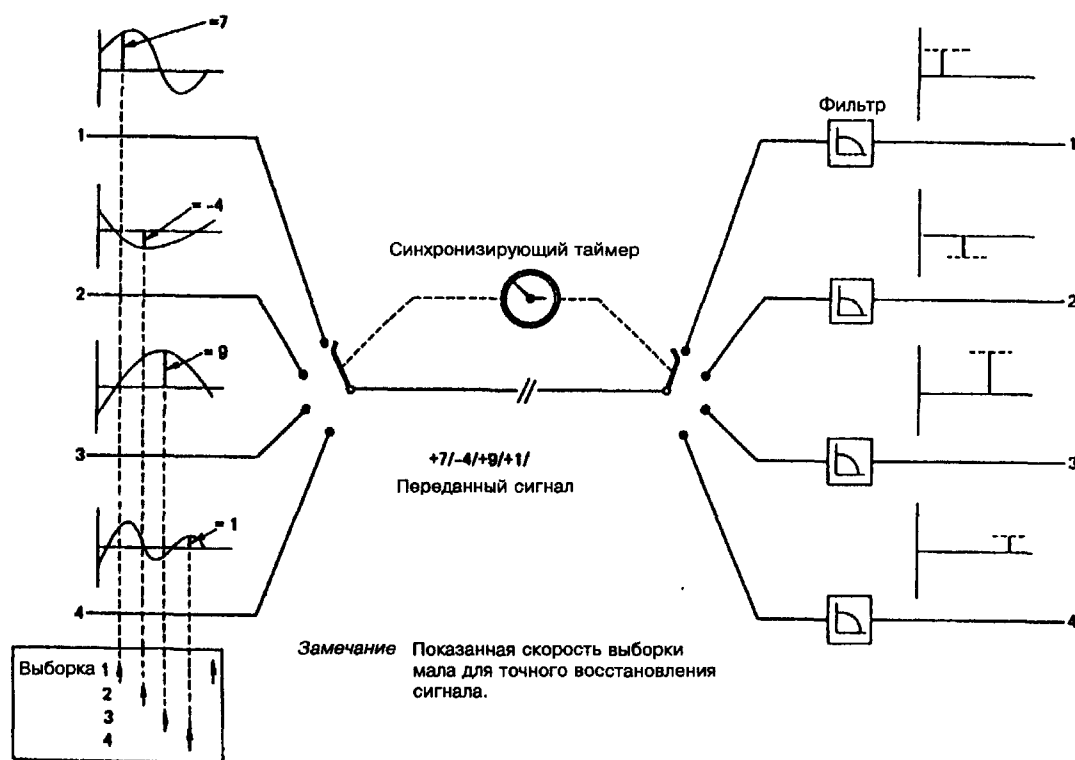


Рис. 1-4. Обобщенная схема временного мультиплексирования

Другим непривычным моментом (в казалось бы ясной схеме временного мультиплексирования, используемой в компьютерных системах) является либо наличие в поле выборки **бита сигнализации**, уменьшающего разрядную сетку выборки на один бит (с 7 до 6 или с 8 до 7), либо использование для целей сигнализации целых интервалов коммутации или тайм-слотов. Более подробно см. 1.4.2.

1.3.3. Временное мультиплексирование двоичных потоков данных

При использовании систем цифровой телефонии для передачи данных на входе мультиплексора нет речевых сигналов, которые нужно дискретизировать и квантовать, а есть уже сформированный поток двоичных данных. Для него схема временного мультиплексирования может быть конкретизирована. Она практически совпадает с процедурой мультиплексирования в компьютерных системах. Итак, на входе мультиплексора имеются n входных двоичных последовательностей (происхождение которых может быть и не связано с выборками), поэтому коммутатор мультиплексора может последовательно отбирать из каналов любую логически осмысленную для данной сетевой технологии последовательность бит, составляя из них выходную последовательность. Этот процесс называется **интерливингом** (interleaving), или **чередованием**. Различают следующие виды интерливинга:

- **бит-интерливинг** или чередование битов - на выход последовательно коммутируется по одному биту из каждого канала;
- **байт-интерливинг** или чередование байтов - на выход последовательно коммутируется по одному байту из каждого канала;
- **символьный интерливинг** или чередование символов - на выход последовательно коммутируется по одному символу (один ниббл или поле длиной 7 бит (ASCII код - американская версия), или поле длиной 8 бит - байт или октет (ASCII код - международная версия) из каждого канала;
- **блок-интерливинг** или чередование блоков - на выход последовательно коммутируется по одному блоку (который может быть длиной в несколько байтов или может быть полем целократным другому стандартному формату) из каждого канала.

Схема временного мультиплексирования четырех двоичных потоков данных входных каналов 64 кбит/с показана на рис.1-5. Для примера выбран вариант бит-интерливинга, где в используемых обозначениях: $1_{1к} \dots 1_{4к}, \dots, 4_{1к} \dots 4_{4к}$ - цифры 1, 2, 3, 4 соответствуют номерам бит, а индексы - номерам каналов. Стрелкой указано направление потока бит.

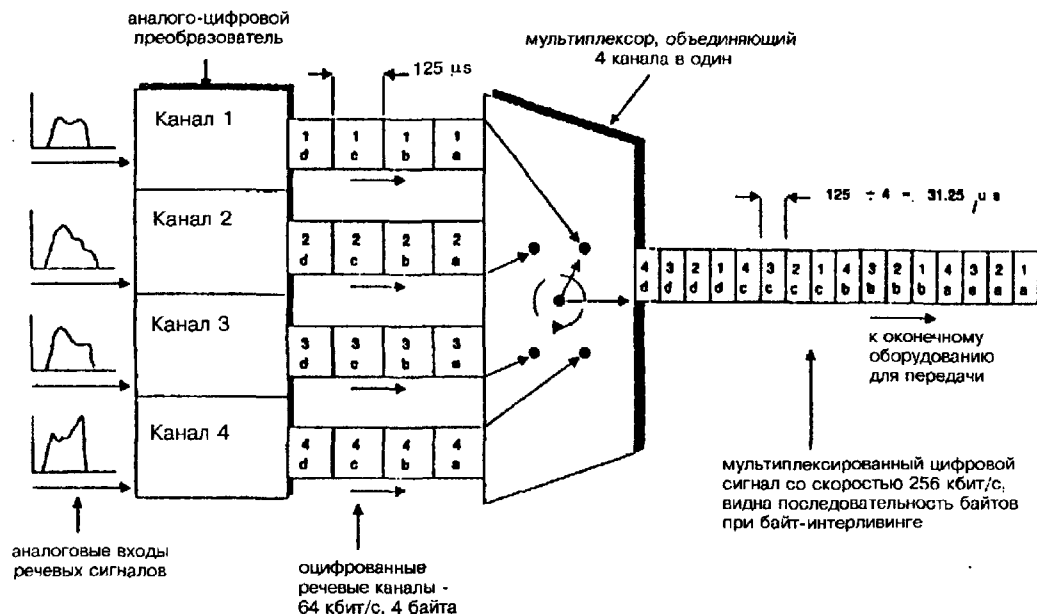


Рис.1-5. Временное мультиплексирование потока данных по схеме с бит-интерливингом

1.4. КОДИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДАННЫХ В ИКМ СИСТЕМАХ

1.4.1. Практические методы формирования цифровой последовательности

Рассмотрим простой пример дискретизации в системе ИКМ с ***n*-канальным мультиплексированием**, внутриканальной синхронизацией (путем вставки синхро-группы из k бит после m фреймов) и линейного симметричного квантования с числом уровней I . Для примера выберем $n=4$, $k=4$, $m=2$, $I=8$. Условимся, что мгновенное значение сигнала изменяется в интервале $(-4, +4)$. Пример иллюстрируется рис.1-6. Для компактности все процессы дискретизации, квантования, кодификации, мультиплексирования и выравнивания показаны на одном рисунке.

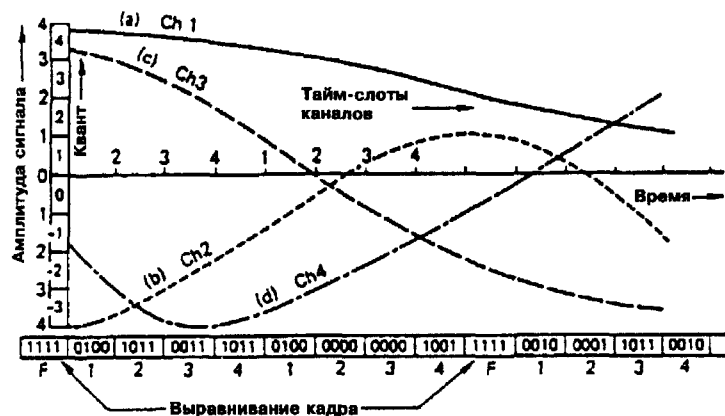


Рис.1-6. Практический пример мультиплексирования в ИКМ системе

ИКМ система последовательно выполняет следующие стандартные функции:

- **дискретизацию** сигнала в каждом из четырех каналов (κ_1 - κ_4) с частотой f_d (конкретное значение не играет роли) в последовательные нормированные моменты времени 0 (κ_1), 1 (κ_2), 2 (κ_3), 3 (κ_4), 4 (κ_1) и т. д. При отсутствии выравнивания выборки берутся периодически с периодом дискретизации 4 единицы, например, для κ_1 - в моменты: 0, 4, 8, 12, ... , для κ_2 : 1, 5, 9, 13, ... и т. д., что соответствует фрейму, состоящему из 4 тайм-слотов;
- **квантование** выборок сигнала каждого канала, т.е. отображение **не-**

прерывного множества значений амплитуд выборок a из интервала $(-4, +4)$ на **дискретное** множество из 8 уровней квантования, либо 0, 1, ..., 7 - одностороннее (несимметричное) отображение (однополярный сигнал), либо, например, -3, -2, ..., +4 - двустороннее (симметричное с точностью до уровня) отображение (двухполярный сигнал);

двоичное кодирование, или **кодификацию** (см. термин в 1.6.) квантованных значений. При **схеме кодирования**: знак-номер уровня и 8 уровнях квантования достаточно 4 бита на выборку: 1 знаковый бит и 3 бита на формирование двоичного номера уровня ($2^3 = 8$). Используем простой алгоритм отображения множеств, или **алгоритм кодификации**: если $n-1 < a < n$, то $a = n$ для всех a . Следовательно, если $a = 3.55$, то-есть, если $3 < a < 4$, то $a = 4$, а если $a = -0.78$, т.е. $-1 < a < 0$, то $a = 0$. В результате требований симметричности квантования, получаем поток бит, показанный на рис. 1-6, где $-3 \rightarrow 1011$, ..., $0 \rightarrow 0000$, ... , $+4 \rightarrow 0100$;

- **мультиплексирование** каналов по схеме: объединение 4 каналов на входе в один канал на выходе - 4:1 - т.е. с чередованием выборок отдельных каналов для создания потока бит выходного канала. Без учета синхронизации процесс мультиплексирования создает регулярный поток фреймов, состоящих из четырех выборок. Его регулярность нарушается необходимостью **синхронизации**, которая при внутриканальной синхронизации сводится к вставке синхрогруппы после m фреймов - этот процесс называется **выравниванием фрейма**. Для выравнивания по нашей схеме необходимо сформировать **мультифрейм** - структуру состоящую из двух фреймов, что еще больше осложняет процесс мультиплексирования;
- **выравнивание фрейма** (а точнее мультифрейма) осуществляется путем формирования и вставки легко идентифицируемой синхрогруппы "1111" (не используемой в процессе кодификации) после двух регулярных фреймов, для чего выделяется один дополнительный тайм-слот. В результате на приемной стороне происходит синхронизация приемника с передатчиком, а повторяющаяся структура - **результатирующий мультифрейм** - принимает вид: 8 выборок + синхрогруппа = 9 тайм-слотов. Можно ввести также понятие **результатирующий фрейм** - формальный параметр, равный $9/2=4.5$, показывающий, что период повторения регулярного фрейма изменился с 4 до 4.5 тайм-слотов. Из этого ясно, что мультиплексирование осуществляется "регулярно в среднем", с периодом повторения 4.5 слота, формируя за цикл один результирующий фрейм. Физически же информационные выборки формируются нерегулярно. Например, выборки в k_1 , берутся теперь в моменты времени 0, 4, 9, 13, 18, 22, 27, и т.д. .

Общий вид четырех входных сигналов, с выборками, взятыми последовательно в моменты времени 0, 1, 2, 3, и т. д., и их квантованные значения, полученные в результате кодификации, с учетом выравнивания, показаны на рис.1-6. Сформированный таким образом поток бит приведен в нижней части рисунка.

На приемной стороне происходит демультимплексирование указанной последовательности так, что в канал k_1 попадут только квантованные кодифицированные выборки, взятые в моменты: 0, 4, 9, 13, 18, 22, Из них затем (если нужно) и будут восстановлены с помощью фильтрации фильтрами нижних частот (ФНЧ) исходные аналоговые сигналы.

1.4.2. Методы двоичного кодирования и ошибки квантования

Для цифровых систем, как и для аналоговых, существуют шумы канала связи и шумы, возникающие в процессе преобразования сигнала, а значит и к ним применимы такие понятия, как **отношение сигнал/шум** и **динамический диапазон**.

Специфическими для цифровых систем являются **шумы квантования**. На рис. 1-7, например, показана разность между идеальным и реальным преобразованным сигналами - искажение, квалифицированное как шум, возникающий при линейном квантовании. Неприятной особенностью является то, что амплитуда искажений не зависит от амплитуды сигнала, делая наиболее уязвимой передачу сигналов низкого уровня. Ясно, что для уменьшения искажений нужно увеличивать число уровней квантования, но, в отличие от звуковых Hi-Fi систем, где используется 16, 18 и 20 бит на выборку, в цифровых системах связи выше 8 бит на выборку практически не используют, чтобы не увеличивать максимально необходимую скорость передачи.

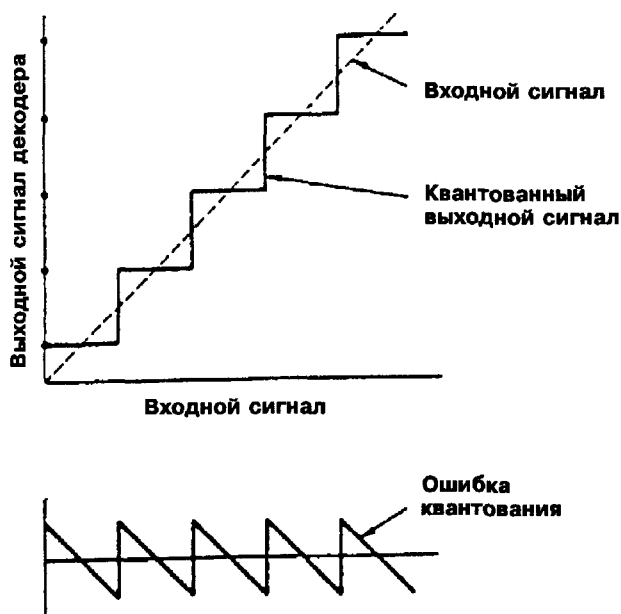


Рис. 1-7. Выходной сигнал и шум квантования при линейной кодификации

Для улучшения ситуации используют **методы нелинейного двоичного кодирования** при квантовании (**нелинейной кодификации**). Они идейно основаны на методах **компандерного** расширения динамического диапазона при передаче по каналу связи с ограниченным динамическим диапазоном, используемых в аналоговых системах (например, в системах магнитной записи). В них на входе системы сжимается с помощью **компрессора** до уровня, приемлемого для передачи по каналу связи, а на выходе из канала связи сигнал с помощью **эспандера** (осуществляющего обратное преобразование) восстанавливается (см. рис. 1-8).

Для реализации такой схемы нелинейной кодификации, достаточно выбрать требуемую степень компрессии и закон нелинейного преобразования, а затем решить проблему аппроксимации функции, соответствующей выбранному закону преобразования.

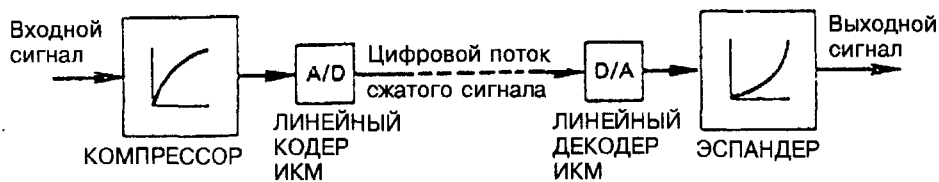


Рис. 1-8. Схема компандерной системы с компрессором и эспандером

Для нелинейных (прямого и обратного) преобразований входа/выхода идеально подходит пара $\exp(x) - \ln(x)$. Ее и аппроксимируют затем по методу близкому к линейной неравномерной адаптивной аппроксимации, оптимально выбирая число и наклон прямолинейных аппроксимирующих сегментов. В результате получают некий закон, который, будучи стандартизован, используется в коммерческих системах. Используются два таких закона для симметричного входного сигнала: **А-закон** (параметр A) и **μ-закон** (параметр μ), ниже x - вход, y - выход:

А-закон: $y = \text{sgn}(x)[z/(1 + \ln A)]$, где $z = A|x|$ для $0 \leq x \leq 1/A$ или $z = 1 + \ln A|x|$ для $(1/A) \leq |x| \leq 1$;
μ-закон: $y = \text{sgn}(x)[\ln(1 + \mu|x|)/\ln(1 + \mu)]$.

А-закон ($A=87.6$) используется в европейских системах ИКМ и дает минимальный шаг квантования $2/4096$, μ-закон используется в американских системах ИКМ (D1 с $\mu=100$ и D2 с $\mu=255$), давая минимальный шаг квантования $2/8159$ (см. ITU-T Rec. G.711 [30]). Указанный подход позволяет добиться отношения сигнал/шум (С/Ш) 30 дБ в динамическом диапазоне 48 дБ, что соответствует эквивалентной схеме кодирования с 13 битами на выборку.

1.4.3. Параметры стандартных ИКМ систем

Существует несколько реализаций ИКМ систем, признанных в качестве стандартных:

- T1 (AT&T, США, 1962), позднее названная Bell D1 - 24-канальная система с выходным потоком $T1 = 1544$ кбит/с;
- D2 (Bell, США) - 24-канальная система, описана в ITU-T Rec. G.733 [31];
- U.K. (Англия) - 24-канальная система с выходным потоком 1536 кбит/с;
- СЕРТ (Европа) - 30-канальная система с выходным потоком $E1 = 2048$ кбит/с, описана в ITU-T Rec. G.732 [32].

Параметры этих систем сведены в таблицу 1-1.

Таблица 1-1.
Параметры основных существующих стандартных систем ИКМ

Параметры	Bell D1	Bell D2	U.K.	CEPT
Частотный диапазон, Гц	300-3400	300-3400	300-3400	300-3400
Частота дискретизации, Гц	8000	8000	8000	8000
Квантование: бит на выборку	7	8 (5x8/1x7)	7	8
Кодификация: бит-значение/знак	6/1	7/1	6/1	7/1
Тайм-слот на один фрейм	24	24	24	32
Выравнивание: + бит на фрейм	193=192+1	193=192+1	192+0	256
Фреймов на мультифрейм	-	12	4	16
ИКМ каналов на фрейм	24	24	24	30
Выходной поток - кбит/с	1544	1544	1536	2048
Емкость основного цифрового канала - кбит/с	64	64	64	64
Поток данных на канал - кбит/с	56	64	56	64
Закон кодификации, значение параметра	μ -закон $\mu=100$	μ -закон $\mu=255$	A-закон $A=87.6$	A-закон $A=87.6$
Возможность внутриканальной сигнализации	1 бит/канал 8 кбит/с	1 бит/6 каналов 1.33 кбит/с	1 бит/2 канала 4 (2x2) кбит/с	Отдельный слот 2 кбит/с
Сигнализация по общему каналу	не предусмотрена	Только вместо внутриканальной, 4 кбит/с	не предусмотрена	Отдельный слот 64 кбит/с

Указанные в таблице параметры практически не требуют дополнительных объяснений. Укажем только их некоторые особенности.

Системы типа Bell D1 (как модификация системы T1) до сих пор существуют в северной Америке в силу большой распространенности в прошлом. Эти 4-х проводные системы используются и для передачи цифровых данных со скоростью 56 кбит/с по цифровым каналам, начало которому было положено компанией AT&T (видимо не раньше 1973 года, после внедрения тарифа "267"), предложившей услуги Dataphone Digital Service [1].

Система Bell D2 в отличие от D1 более продвинута: использует 8 бит на выборку в пятерках (1-5 и 7-11) фреймов и 7 бит в 6-ом и 12-ом фреймах, редуцируя закон кодификации при переходе с 8- на 7-битное квантование. Система использует выравнивание мультифреймов (12 фреймов) и допускает сигнализацию по общему каналу. В силу широкого распространения в северной Америке, Японии и юго-восточной Азии, система была стандартизована комитетом CCITT [31].

Английская система, как и D1, использует 7-битное кодирование, но выравнивание осуществляет по мультифрейму (4 фрейма), что позволяет обойтись без 193-го бита (отсюда скорость 1536 кбит/с). Система использует европейский закон кодификации (с 1968 года), что важно для целей совместимости. Практически вытесняется системой CEPT.

Система CEPT начала развиваться с начала 70-х годов. Она целиком базировалась на двоичных, а не на двоично-десятичных эквивалентах (как три предыдущие). В результате была выбрана 8-битная схема кодификации и 32 (а не 24) канала для первичного уровня мультиплексирования. Один из каналов (тайм-слот 0) целиком используется для синхронизации (выравнивания фреймов) и передачи системного статуса, второй (тайм-слот 16) - для организации общего канала сигнализации - 64 кбит/с. Число фреймов в мультифрейме также кратно 2 и зависит от типа сигнализации. При внутриканальной сигнализации используется 16 фреймов на мультифрейм, при использовании общего канала сигнализации - 2 фрейма на мультифрейм. Схема выравнивания проста и кратна 2: 8 бит на фрейм при выравнивании фрейма и 8 бит на 16 фреймов для выравнивания мультифрейма. Система CEPT фактически стала доминирующей не только в Европе но и в мире.

1.4.4. Практические методы линейного кодирования потока данных в канале

Сформированная в результате мультиплексирования и выравнивания цифровая двоично-кодированная ИКМ последовательность подается в канал связи, на входе которого, как правило, используется устройство сопряжения с каналом, или интерфейсный блок, и собственный передатчик. Учитывая, что канал, рассматриваемый как среда передачи, может быть электрическим, оптическим или радио-каналом, полученную последовательность приходится еще по крайней мере дважды перекодировать для оптимизации ее прохождения через интерфейс (**интерфейсное кодирование**) и линию связи (**линейное кодирование**). Два других вида кодирования: **помехоустойчивое кодирование** для обнаружения и исправления ошибок, возникающих в процессе передачи, а также **шифрование данных**, передаваемых такой последовательностью, здесь не рассматриваются.

Поток бит, полученный в результате квантования и двоичного кодирования (кодификации), оптимален только с точки зрения уменьшения ошибок квантования, но непригоден для передачи по каналу связи по ряду причин, основные из которых следующие:

- выходной цифровой поток имеет **широкий спектр**, что затрудняет его передачу по каналу связи с ограниченной полосой пропускания и осложняет процесс регенерации сигнала синхронизации, передаваемого в канале, особенно в случае восстановления потерянного синхронизма;
- спектр сигнала имеет **значительную долю низкочастотных составляющих**, которые могут интерферировать с составляющими передаваемого низкочастотного сигнала;
- спектр содержит **большую постоянную составляющую**, усложняющую фильтрацию напряжения сети питания.

Для оптимизации спектра сигнала, подаваемого в линию связи, используется так называемое **линейное кодирование**. Оно должно обеспечить:

- минимальную спектральную плотность на нулевой частоте и ее ограничение на нижних частотах;
- информацию о тактовой частоте передаваемого сигнала в виде дискретной составляющей, легко выделяемой на фоне непрерывной части спектра;
- непрерывный спектр должен быть достаточно узкополосным для передачи через канал связи без искажений;
- малую **избыточность**, для снижения **относительной скорости передачи** в канале связи;
- минимально возможные **длины блоков повторяющихся символов** ("1" или "0") и **диспаритетность** (неравенство числа "1" и "0" в кодовых комбинациях).

Для двоичного кодирования число уровней входного сигнала $m = 2$, а число уровней выходного сигнала n может быть 2 (**двухуровневое кодирование**) или 3 (**трехуровневое кодирование**). Двухуровневое кодирование может быть **однополярным** (+1, 0) и **двухполярным**, или симметричным (+1, -1); трехуровневое - однополярным (+2, +1, 0) и двухполярным (+1, 0, -1). Например, оптические линии связи требуют однополярных методов кодирования, тогда как электрические линии связи могут использовать как однополярные, так и двухполярные методы кодирования.

В различных методах кодирования "1" может быть представлена положительным прямоугольным импульсом на полную или на половинную длину двоичного интервала, или переходом с "+1" на "0" или "-1" (ступенькой вниз) в центре интервала, а "0" - соответствующей длины отрицательным импульсом, или отсутствием импульса, или обратным переходом с "-1" или "0" на "+1" (ступенькой вверх) в центре интервала.

Для ограничения длины блоков повторяющихся символов типа "11...11" или "00...00" используется **инверсия** ("обращение" или незапланированное (преднамеренное) изменение) полярности импульсов регулярной кодовой последовательности, обозначаемая ниже буквой "V". Наряду с инверсией иногда используются **вставки** (дополнительные символы определенной полярности, обозначаемые ниже буквой B), позволяющие сохранить паритет кодовой комбинации.

Алгоритмы кодирования в большинстве случаев просты и могут быть описаны словесно, однако исчерпывающее описание дается направленным графом состояний, описывающим множество всех возможных состояний и переходов из одного в другое.

На рис. 1-9 для иллюстрации приведены некоторые линейные коды. Используются следующие обозначения: (а) - исходная двоичная последовательность - взята из примера, приведенного на рис.1-6, (б)-(к) - соответствующие ей идеальные формы несимметричных (однополярных) и симметричных (двухполярных) импульсных последовательностей, полученные в результате применения специальных методов кодирования к исходной двоичной последовательности. На рис.1-9 приведены следующие коды:

- б) - однополярный код без возвращения к нулю - NRZ;
- в) - двухполярный NRZ или симметричный телеграфный код;

- г) - двухполярный код с возвращением к нулю - RZ;
- д) - код с поразрядно-чередующейся инверсией - ADI;
- е) - код с чередующейся инверсией на "1" - AMI;
- ж) - код с инверсией кодовых комбинаций - CMI;
- з) - двухполярный двухуровневый код Миллера;
- и) - биполярный код высокой плотности порядка 3 - HDB3;
- к) - однополярный эквивалент кода HDB3 в оптической линии связи.

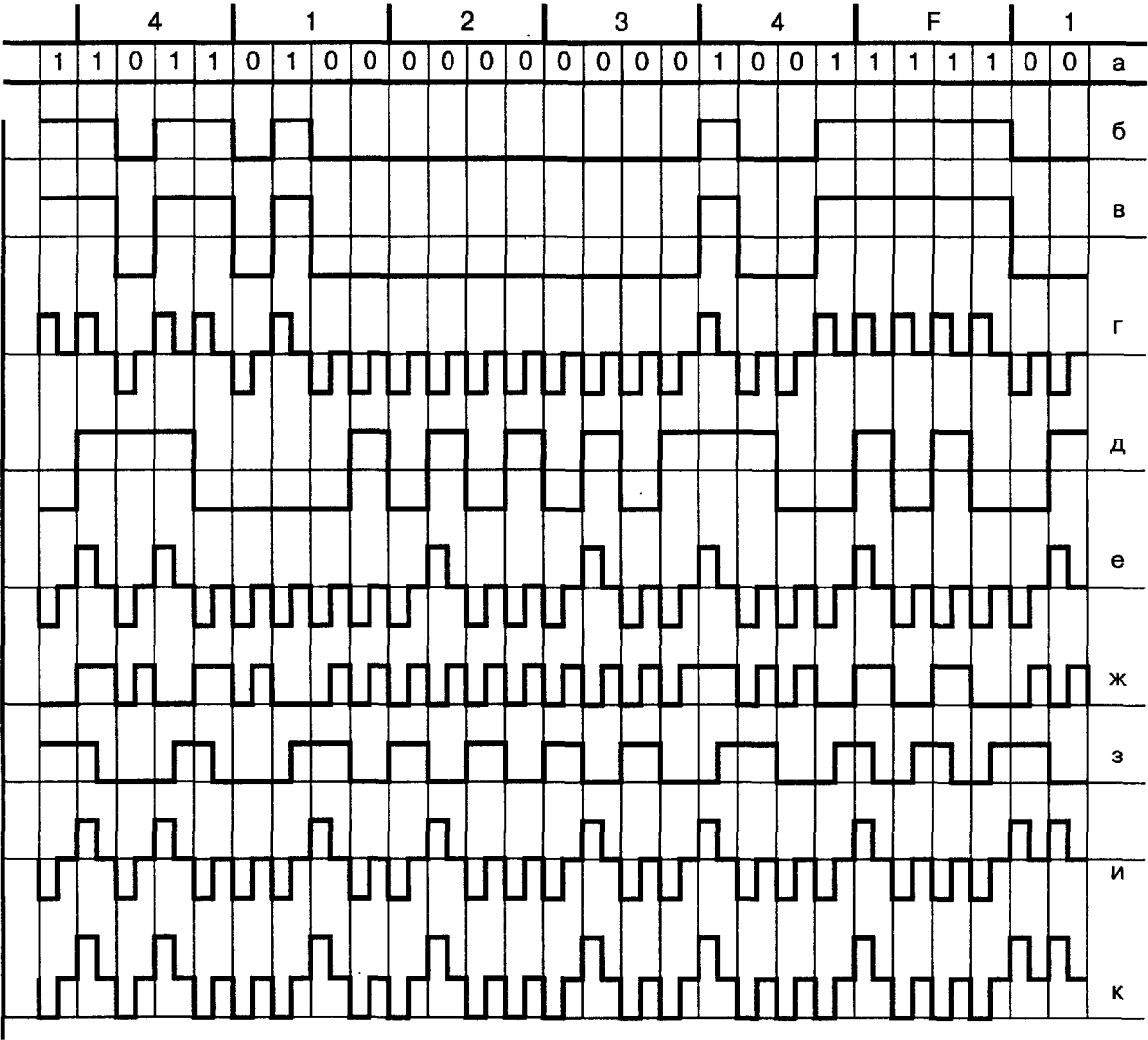


Рис.1-9. Примеры линейного кодирования в канале связи

Ниже приведены расшифровки сокращений и краткие определения алгоритмов формирования кодов, используемых в практике цифровой связи:

- 1b2b** - широко используемый **частный случай класса блочных кодов** (см. ниже), в котором 1 бит исходной ИКМ последовательности длительностью T кодируется комбинацией из 2 бит длительностью T/2 (относительная скорость передачи в канале связи при этом возрастает в 2 раза). К этому классу (из приведенных нами) относятся коды CMI и Миллера.
- ADI** - **Alternate Digit Inversion** code - двоичный код с инверсией полярности сигнала на каждом втором двоичном разряде (не важно, какой он: "1" или "0"); в результате формируется двухполярный двухуровневый код.
- AMI** - **Alternate Mark Inversion** code - двоичный код RZ с инверсией на каждой "1", может быть получен из кода ADI путем инверсии каждой четной "1"; в результате формируется двухполярный трехуровневый код.
- B3ZS** - **Bipolar with 3 Zero Substitution** code - биполярный код с подстановкой альтернативных

блоков вместо блоков из трех "0", т.е. вместо блока "000" происходит подстановка блоков "00V" или "B0V" для сохранения паритета - аналог кода HDB2 (см. ниже).

B6ZS - **Bipolar with 6 Zero Substitution** code - биполярный код с подстановкой альтернативных блоков вместо блоков из 6-ти "0", т.е. вместо "000000" блоков "0VB0VB".

B8ZS - **Bipolar with 8 Zero Substitution** code - биполярный код с подстановкой альтернативных блоков вместо блоков из 8-ми "0", т.е. вместо "00000000" блоков "000VB0VB".

CMI - **Coded Mark Inversion** code - двухуровневый без возвращения к нулю двоичный код класса 1B2B с инверсией полярности кодовой комбинации на полный интервал на каждой "1" (т.е. каждой "1" ставится в соответствие либо комбинация "11", либо "00") и изменением полярности в середине каждого интервала "0" (т.е. каждому "0" ставится в соответствие дипульс "01").

HDB2 - **High-Density Bipolar code of order 2** - двухполярный код высокой плотности порядка 2 - код RZ с инверсией на "1" (аналогичен AMI), в котором каждый блок "000" заменяется на блок "00V" или "B0V", где В - вставка импульса "1", выполняемая так, чтобы число В импульсов между последовательными V импульсами было нечетным. В результате формируется трехуровневый код.

HDB3 - **High-Density Bipolar code of order 3** - двухполярный код высокой плотности порядка 3 - код с инверсией на "1", в котором каждый блок "0000" заменяется на блок "000V" или "B00V", где В - вставка импульса "1" выполняемая так, чтобы число В импульсов между последовательными V импульсами было нечетным. В результате формируется трехуровневый код.

mbnb - общее обозначение **класса блочных кодов** - где **m** - длина (в битах) блоков, на которые разбивается исходная ИКМ последовательность, а **n** - соответствующая им длина (в битах) блоков, составленных из кодовых символов. Из них наиболее широко используется класс 1B2B (см. выше).

NRZ - **Non Return to Zero** code - основополагающий двухуровневый код **без возвращения к нулю**, может быть как двухполярным, так и однополярным.

RZ - **Return to Zero** code - основополагающий трехуровневый код **с возвращением к нулю**.

Miller code - двухполярный двухуровневый код Миллера класса 1B2B, имеющий множество состояний {00, 01, 10, 11}, переходы между которыми описываются графом, приведенным на рис.1-10. Например, для приведенной на рис.1-9 исходной последовательности 1101101000000 ... порождаемые графом кодовые комбинации имеют вид: 11 10 00 01 10 00 01 11 ..., а сам процесс генерации (перехода из состояния в состояние) имеет вид:

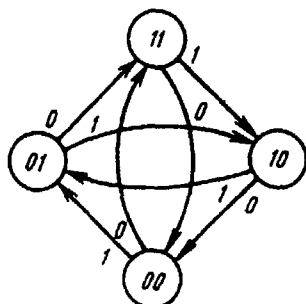


Рис.1-10. Граф формирования кодовых комбинаций кода Миллера

1 → 11 - 1 → 10 - 0 → 00 - 1 → 01 - 1 → 10 - 0 → 00 - 1 → 01 - 0 → 11 и т. д.

Нужно иметь в виду, что указанные коды могут быть использованы и как интерфейсные коды, и как линейные коды. Для электрических линий связи интерфейсные и линейные коды могут совпадать, для оптических, как правило, - нет в силу невозможности непосредственного использования биполярных кодов в оптическом кабеле. Например, при использовании биполярного интерфейсного кода HDB3 в оптических линиях связи могут использоваться коды CMI, MCMI (модифицированный CMI) или код типа mBnB, либо использо-

ваться его оптические аналоги, например, однополярный эквивалент кода HDB3 (см. 1-10,к).

Более подробно о линейном кодировании в каналах связи см. например, в [33], главу 5.

1.5. ЦИФРОВЫЕ ИЕРАРХИИ СКОРОСТЕЙ ПЕРЕДАЧИ

Новые технологии телекоммуникаций стали развиваться в связи с переходом **от аналоговых к цифровым методам** передачи данных, основанных на **мультиплексировании с временным разделением каналов и ИКМ**.

При использовании цифровых методов мультиплексор (типа $n:1$) формирует, как известно, из n входных цифровых последовательностей одну выходную, состоящую из повторяющихся **групп** по n одноименных **блоков** (бит, байт, несколько байтов), сформированных за "тайм-слот". Мультиплексор теоретически должен при этом обеспечить скорость передачи данных порядка $n \times v$, где v - скорость передачи данных одного входного канала, предполагаемая одинаковой для всех каналов.

Если в качестве входного используется сигнал **основного цифрового канала** DS0 (ОЦК) со скоростью передачи 64 кбит/с, то с помощью одного мультиплексора типа $n:1$ можно теоретически формировать потоки со скоростью $n \times 64$ кбит/с. Так, для Bell D2 мы имели поток 24×64 кбит/с, а для СЕРТ - 30×64 кбит/с. Если считать этот мультиплексор первым в схеме **каскадного соединения** из нескольких мультиплексоров второго, третьего и т.д. уровней типа $m:1$, $l:1$, $k:1$..., то можно сформировать различные **иерархические наборы** цифровых скоростей передачи, или **цифровые иерархии**, позволяющие довести этот процесс мультиплексирования, или уплотнения каналов, до необходимого уровня, дающего требуемое число каналов DS0 на выходе, выбирая различные коэффициенты кратности n , m , l , k ,

1.5.1. Схемы плезиохронной цифровой иерархии - PDH

Три такие иерархии были разработаны в начале 80-ч годов. В **первой** из них, принятой в США и Канаде, в качестве скорости сигнала **первичного цифрового канала** ПЦК (DS1) была выбрана скорость 1544 кбит/с (фактически $n = 24$, т.е. двадцать четыре цифровых телефонных канала 64 кбит/с, а для передачи данных - 24 информационных канала 64 кбит/с). Во **второй**, принятой в Японии, использовалась та же скорость для DS1. В **третьей**, принятой в Европе и Южной Америке, в качестве первичной была выбрана скорость 2048 кбит/с (формально $n = 32$, фактически $n = 30$, т.е. в качестве информационных используется тридцать телефонных или информационных каналов 64 кбит/с плюс два канала сигнализации и управления по 64 кбит/с).

Первая иерархия, порожденная скоростью 1544 кбит/с, давала последовательность: DS1 - DS2 - DS3 - DS4 или последовательность вида: 1544 - 6312 - 44736 - 274176 кбит/с (часто цитируется ряд приближенных величин 1.5 - 6 - 45 - 274 Мбит/с), что, с учетом скорости DS0, соответствует ряду коэффициентов мультиплексирования $n=24$, $m=4$, $l=7$, $k=6$. Указанная иерархия позволяет передавать соответственно 24, 96, 672 и 4032 канала DS0.

Здесь и ниже DS0 - DS4 - мы будем называть цифровыми каналами 0-го, 1-го, 2-го, 3-го и 4-го уровней иерархии. В терминологии, используемой в связи, это соответственно: **основной** цифровой канал (ОЦК), **первичный** цифровой канал (ПЦК), **вторичный** цифровой канал (ВЦК), **третичный** цифровой канал (ТЦК) и **четвертичный** цифровой канал (ЧЦК).

Вторая иерархия, порожденная скоростью 1544 кбит/с, давала последовательность DS1 - DS2 - DSJ3 - DSJ4 или последовательность 1544 - 6312 - 32064 - 97728 кбит/с (ряд приближенных величин составляет 1.5 - 6 - 32 - 98 Мбит/с), что, с учетом скорости DS0, соответствует ряду коэффициентов мультиплексирования $n=24$, $m=4$, $l=5$, $k=3$. Указанная иерархия позволяет передавать соответственно 24, 96, 480 и 1440 каналов DS0.

Здесь DSJ3 и DSJ4 мы будем называть цифровыми каналами 3-го и 4-го уровней Японской PDH иерархии.

Третья иерархия, порожденная скоростью 2048 кбит/с, давала последовательность E1 - E2 - E3 - E4 - E5 или последовательность 2048 - 8448 - 34368 - 139264 - 564992 - кбит/с (ряд приближенных величин составляет 2 - 8 - 34 - 140 - 565 Мбит/с), что соответствует ряду коэффициентов $n=30$ (32), $m=4$, $l=4$, $k=4$, $i=4$, (т.е. коэффициент мультиплексирования в этой иерархии выбирался постоянным и кратным 2). Указанная иерархия позволяет передавать соответственно 30, 120, 480, 1920 и 7680 каналов DS0, что отражается и в названии ИКМ систем: ИКМ-30, ИКМ-120, ИКМ-480 и т.д..

Указанные иерархии, известные под общим названием **плезиохронная цифровая иерархия** PDH, или ПЦИ, сведены в таблицу 1-2.

Таблица 1-2.

Три схемы цифровых иерархий: американская (АС), японская (ЯС) и европейская (ЕС)

Уровень цифровой иерархии	Скорости передачи, соответствующие различным схемам цифровой иерархии		
	АС: 1544 кбит/с	ЯС: 1544 кбит/с	ЕС: 2048 кбит/с
0	64	64	64
1	1544	1544	2048
2	6312	6312	8448
3	44736	32064	34368
4	---	97728	139264

Параллельное развитие трех различных иерархий не могло способствовать развитию глобальных телекоммуникаций в мире в целом, поэтому комитетом по стандартизации ITU-T или МСЭ-Т были сделаны шаги по их унификации и возможному объединению. В результате был разработан стандарт [13], согласно которому:

- **во-первых**, были стандартизованы три первых уровня первой иерархии (DS1-DS2-DS3), четыре уровня второй иерархии (DS1-DS2-DSJ3-DSJ4) и четыре уровня третьей иерархии (E1-E2-E3-E4) в качестве основных и указаны схемы **кросс-мультиплексирования** иерархий, например, из третьей иерархии в первую (с первого на второй уровень) и обратно (с третьего на четвертый уровень), что и показано на рис.1-11 (коэффициенты мультиплексирования показаны на линиях связи блоков, представляющих скорости передачи);
- **во-вторых**, последние уровни первой (274 Мбит/с) и третьей (565 Мбит/с) иерархий не были рекомендованы в качестве стандартных;
- **в-третьих**, была сохранена ветвь 32064 - 97728 кбит/с (или приблизительно 32 - 98 Мбит/с) во второй иерархии, т.е. уровни DSJ3 и DSJ4, параллельные уровням DS3 в первой иерархии и E4 в третьей иерархии. Уровень DSJ3 фактически соответствует уровню E3, что облегчает кросс-мультиплексирование со второго уровня на третий. Уровень DSJ4 - 98 Мбит/с - был возможно сохранен для совместимости с технологией **распределенного оптоволоконного интерфейса данных FDDI**.

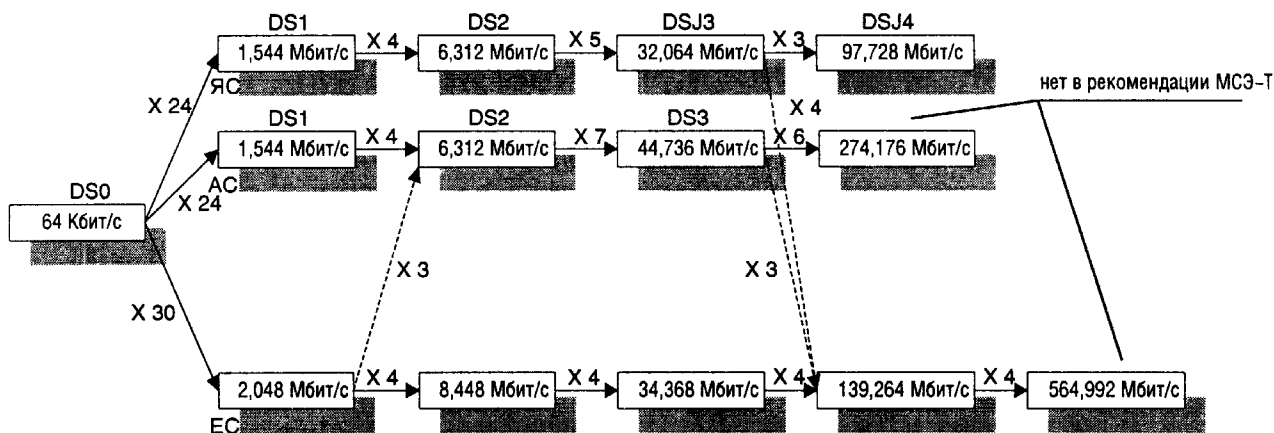


Рис.1-11. Схема мультиплексирования (—) и кросс-мультиплексирования (- - -) в американской (AC), японской (ЯС) и европейской (ЕС) цифровых иерархиях

Работы по стандартизации иерархий как в Европе, так и в Америке, имели два важных последствия:

- разработка схемы плезиохронной цифровой иерархии (PDH или ПЦИ);
- разработка схемы синхронной цифровой иерархии (SONET/SDH или СЦИ).

1.5.2. Особенности плезиохронной цифровой иерархии

Наличие стандартных скоростей передачи и фиксированных коэффициентов мультиплексирования позволило говорить о трех схемах мультиплексирования - американской, японской и европейской (называемой часто CEPT или ETSI/CEPT).

При использовании жесткой синхронизации при приеме/передаче можно было бы применить метод мультиплексирования с чередованием октетов или байтов, как это делалось при формировании цифровых сигналов первого уровня, для того, чтобы иметь принципиальную возможность идентификации байтов или групп байтов каждого канала в общем потоке. Однако учитывая, что общая синхронизация входных последовательностей, подаваемых на мультиплексор от разных абонентов/пользователей, отсутствует, в схемах второго и более высокого уровней мультиплексирования был использован **метод мультиплексирования с чередованием бит** (а не байт). В этом методе мультиплексор, например, второго уровня формирует выходную цифровую последовательность (со скоростью 6 Мбит/с - AC, ЯС или 8 Мбит/с - ЕС) путем чередования бит входных последовательностей от разных каналов (для AC и ЯС это каналы T1, а для ЕС - каналы E1).

Так как мультиплексор не формирует структуры, которая могла бы быть использована для определения позиции бита каждого канала, а входные скорости разных каналов могут не совпадать, то используется внутренняя побитовая синхронизация, при которой мультиплексор сам выравнивает скорости входных потоков путем добавления нужного числа **выравнивающих бит** в каналы с относительно меньшими скоростями передачи (наиболее простой вариант, хотя могут использоваться другие варианты, когда выравнивание скоростей осуществляется путем изъятия бит из каналов с большими скоростями, или сочетаются оба процесса добавления/изъятия). Благодаря этому на выходе мультиплексора формируется синхронизированная цифровая последовательность. Информация о вставленных/изъятых битах передается по служебным каналам, формируемым отдельными битами в структуре фрейма. На последующих уровнях мультиплексирования эта схема повторяется, добавляя новые выравнивающие биты. Эти биты затем удаляются/добавляются при **демультиплексировании** на приемной стороне для восстановления исходной цифровой последовательности. Такой процесс передачи получил название **плезеохронного** (т.е. почти синхронного), а цифровые иерархии АС, ЯС и ЕС соответственно название **плезеохронных цифровых иерархий** - PDH.

Кроме синхронизации, на уровне мультиплексора второго порядка также происходит формирование фреймов и мультифреймов, которые позволяют структурировать последовательность в целом. Например, для канала T2 (6312 кбит/с) длина фрейма равна 789 бит при естественном сохранении частоты повторения фрейма 8000 Гц. Мультифрейм соответствует 12 фреймам. Для канала E2 (8448 кбит/с) длина фрейма равна 1056 бит, и также может быть использован мультифрейм из 12 фреймов [15]. Формирование фреймов и мультифреймов и их выравнивание особенно важно для локализации на приемной стороне каждого фрейма, что позволяет в свою очередь получить информацию о сигнализации и кодовых группах контролирующих избыточных кодов CRC и информацию служебного канала данных.

В АС используется два уровня мультиплексирования - 1.5→6 и 6→45 плюс один возможный дополнительный 45→140 для сопряжения с ЕС. В ЯС используются три уровня мультиплексирования - 1.5→6, 6→32 и 32→98 плюс один возможный дополнительный 32→140 для сопряжения с ЕС. В ЕС используются три уровня мультиплексирования - 2→8, 8→34 и 34→140.

Общая схема канала передачи с использованием технологии PDH даже в самом простом варианте топологии сети "точка - точка" на скорости 140 Мбит/с должна включать три уровня мультиплексирования на передающей стороне (для ЕС, например, 2→8, 8→34 и 34→140) и три уровня демультиплексирования на приемной стороне, что приводит к достаточно сложной аппаратурной реализации таких систем. Однако существенное удешевление цифровой аппаратуры за последнее десятилетие и использование оптоволоконных кабелей в качестве среды передачи PDH сигнала привели к тому, что системы цифровой телефонии с использованием технологии PDH получили значительное распространение. Эти системы позволили транспортировать большое количество каналов цифровой высококачественной телефонной связи. Например, один канал 140 Мбит/с эквивалентен 1920 (30x4x4x4=1920) каналам 64 кбит/с, которые в первую очередь использовались для передачи речи, но могут быть использованы, в частности, для передачи данных.

С использованием современных методов ИКМ (например дифференциальной ИКМ - ДИКМ) можно использовать скорость 32 кбит/с для передачи одного речевого канала, что приводит к схемам каналов T1 или E1, несущих 48 или 60 телефонных каналов [15]. Современная техника сжатия данных позволила последовательно увеличить эти показатели в 2 раза (16 кбит/с на речевой канал), затем в 4 раза (8 кбит/с на канал) и, наконец, благодаря использованию техники кодирования с линейным предсказанием по кодовой книге, в 5 раз (6.4 кбит/с на канал).

Более важным результатом этого развития, однако, с нашей точки зрения, стало то, что PDH системами стали пользоваться для передачи данных, и в первую очередь банковских транзакций, используя главным образом каналы 64 кбит/с с протоколом пакетной коммутации X.25. Казалось, что от этого привлекательность новой технологии только выиграет за счет привлечения новой мощной группы пользователей. Однако этого не произошло. PDH технология продемонстрировала на этом этапе возросшего к ней интереса свою негибкость.

1.5.3. Недостатки плезеохронной цифровой иерархии

Суть основных недостатков PDH в том, что добавление выравнивающих бит делает невозможным идентификацию и вывод, например, потока 64 кбит/с или 2 Мбит/с, "зашитого" в поток 140 Мбит/с, без полного демультиплексирования или "расшивки" этого потока и удаления выравнивающих бит. Одно дело "гнать" поток междугородных или международных телефонных разговоров от одного телефонного узла к другому "сшивая" и "расшивая" их достаточно редко. Другое дело - связать несколько банков и/или их отделений с помощью PDH сети. В последнем случае часто приходится либо **выво-**

дить поток 64 кбит/с или 2 Мбит/с из потока 140 Мбит/с, чтобы завести его, например, в отделение банка, либо наоборот **выводить** поток 64 кбит/с или 2 Мбит/с из банка для **ввода** его обратно в поток 140 Мбит/с. Осуществляя такой **ввод/вывод**, приходится проводить достаточно сложную операцию трехуровневого демультиплексирования ("расшивания") PDH сигнала с удалением/добавлением выравнивающих (на всех трех уровнях) бит и его последующего трехуровневого мультиплексирования ("сшивания") с добавлением новых выравнивающих бит.

Схема такой операции для одного пользователя (с потоком 2 Мбит/с) показана на рис.1-12. При наличии многих пользователей, требующих ввода/вывода исходных (например, 2 Мбит/с) потоков, для аппаратурной реализации сети требуется чрезмерно большое количество мультиплексоров, в результате эксплуатация сети становится экономически невыгодной.

Другое узкое место технологии PDH - слабые возможности в организации служебных каналов для целей контроля и управления потоком в сети и практически полное отсутствие средств маршрутизации низовых мультиплексированных потоков, что крайне важно для использования в сетях передачи данных. Обычно для целей последующей идентификации и сигнализации поток разбивается на группы тайм-слотов, или **фреймы**, из которых затем komponуются группы из нескольких фреймов или **мультифреймы**. Последние, давая возможность идентифицировать на приемной стороне отдельные фреймы, снабжаются дополнительными битами циклических помехоустойчивых кодов и используемых систем сигнализации [15]. Однако эти средства достаточно слабы, особенно на первых двух уровнях АС и ЯС иерархий. Например, мультифреймы T1 позволяют формировать кроме сигнала синхронизации, кодовую группу кода CRC-6 (6 бит контрольного кода на 4632 бита - 24 фрейма) и служебный канал данных со скоростью 4 кбит/с, используемый, в частности, для посылки сигнала **потери синхронизации фрейма** LFA. Мультифреймы T2 дают возможность формировать служебный канал той же емкости - 4 кбит/с и кодовую группу кода CRC-5 (5 бит контрольного кода на 3156 бит).

Рекомендация G.703 [14] вообще не предусматривает необходимые для нормальной маршрутизации заголовки. В связи с отсутствием специальных средств маршрутизации, при формировании PDH фреймов и мультифреймов увеличивается (при возрастании числа мультиплексирований и переключений потоков при маршрутизации) возможность ошибки в отслеживании "истории" текущих переключений, а значит увеличивается и возможность "потерять" сведения не только о текущем переключении, но и о его "истории" в целом, что приводит к нарушению схемы маршрутизации всего трафика.

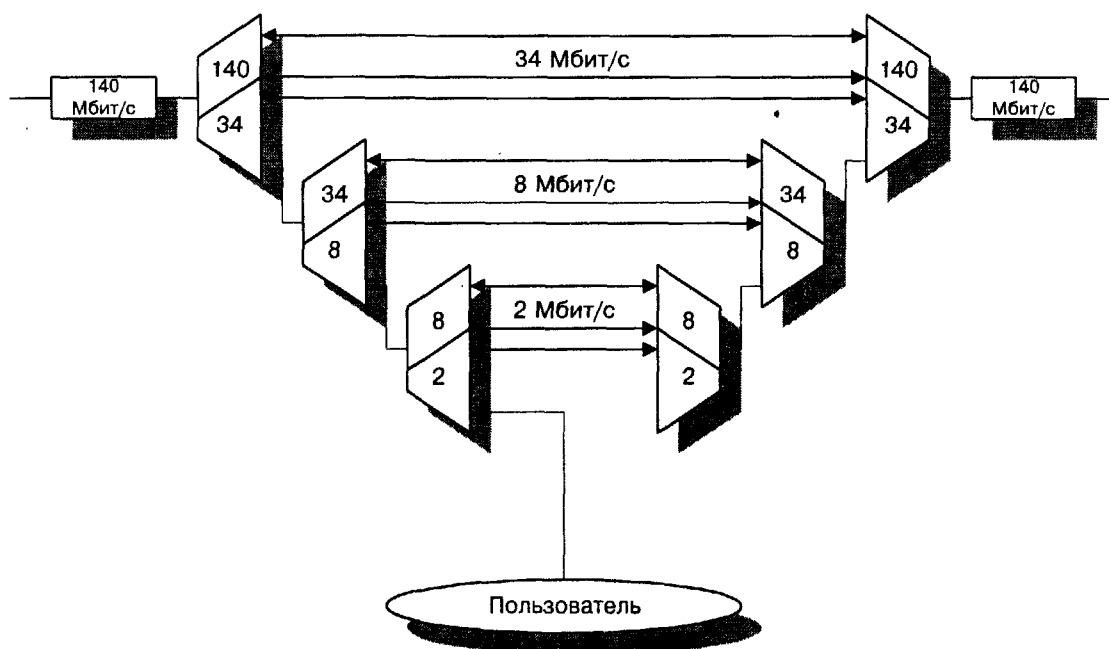


Рис.1-12. Операция ввода/вывода потока пользователя 2 Мбит/с в поток 140 Мбит/с по схеме PDH

Так, казалось бы существенное достоинство метода - небольшая "перегруженность заголовками" - на деле оборачивается еще одним серьезным недостатком, как только возникает необходимость в развитой маршрутизации, вызванная использованием сети PDH для передачи данных.

1.5.4. Синхронные иерархии SONET/SDH

Указанные недостатки PDH и желание их преодолеть привели к разработке в США еще одной иерархии - иерархии **синхронной оптической сети** SONET, а в Европе аналогичной **синхронной цифровой иерархии** SDH, предложенными для использования на волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС). Целью разработки была иерархия, которая позволила бы:

- вводить/выводить входные потоки без необходимости проводить их сборку/разборку (а значит иметь возможность определять положение каждого входного потока, составляющего общий поток);
- разработать новую структуру фреймов, позволяющую осуществлять не только развитую маршрутизацию, но и осуществлять в пределах иерархии управление сетями с топологией любой сложности;
- систематизировать иерархический ряд скоростей передачи и продолжить его (на перспективу) за пределы ряда PDH;
- разработать стандартные интерфейсы для облегчения стыковки оборудования.

Для достижения поставленных целей американскими разработчиками первоначально (начало 80-х годов) предлагалось:

- во-первых, использовать **синхронную**, а не асинхронную или плезиохронную схему передачи с **побайтным** (а не с побитным) **чередованием** при мультиплексировании;
- во-вторых, положить в основу иерархии SONET **первичную скорость передачи** OC1 = 50.688 Мбит/с, основанную на использовании стандартного периода повторения фрейма 125 мкс, принимающего вид двумерной **матрицы** формата 3 x 264 байта ($264 \times 3 \times 8 \times 8000 = 50688000$ бит/с), так как она позволяла продолжить американскую ветвь PDH иерархий, т.е. 1.5 - 6 - 45 Мбит/с, последний уровень которой, путем добавления необходимых заголовков, мог бы быть преобразован в первый уровень новой иерархии OC1;
- в-третьих, включить в иерархию достаточное число (первоначально 48) уровней OC1 - OCn (в настоящее время она включает значительно больше уровней, см. ниже) и принять **кратность** последующих уровней иерархии равной номеру уровня, т.е. $OC3 = 3 \times OC1 = 3 \times 50.688 = 152.064$ Мбит/с;
- в-четвертых, использовать известную к тому времени **технологии инкапсуляции** данных, предложив технологию **виртуальных контейнеров**, их упаковки и транспортировки, дающую возможность загружать и переносить в них фреймы PDH иерархии со скоростями 1.5, 6, 45 Мбит/с;
- в-пятых, ориентировать иерархию на использование **оптических** (а не электрических) сред передачи сигнала.

В 1984-86 годах, рассмотрев ряд альтернатив, комитет T1 (США) предложил использовать сигнал со скоростью передачи 50.688 Мбит/с в качестве основного **синхронного транспортного сигнала STS-1**. Однако, учитывая неудачу практического внедрения кросс-мультиплексирования существующих PDH иерархий, разработчики технологии SONET не могли не считаться с необходимостью облегчить процедуру взаимодействия американской и европейской PDH иерархий и не принять во внимание наличие стандартов CCITT на цифровую иерархию, охватывающую диапазон скоростей 1.5 - 140 Мбит/с, а также аналогичной европейской разработки, названной **SDH иерархией**, или технологией SDH. В последней в качестве основного формата синхронного сигнала был принят **синхронный транспортный модуль STM-1**, имеющий скорость передачи 155.52 Мбит/с и позволяющий инкапсулировать все фреймы европейской PDH иерархии, в том числе фрейм E4 (140 Мбит/с).

В результате комитетом SONET в последствие было принято мужественное решение - отказаться от внедрения ещё одной обособленной иерархии (т.е., собственно SONET) и разработать на ее основе новую **синхронную цифровую иерархию**, названную **SONET/SDH**, первый уровень которой OC1 принимался равным 51.84 Мбит/с, что позволяло путем разработки развитой схемы мультиплексирования и кросс-мультиплексирования, предложить универсальный набор виртуальных контейнеров, позволяющий заключить в их оболочки все форматы фреймов стандартных уровней американской и европейской PDH иерархий.

Теперь синхронный транспортный модуль STM-1 (155.52 Мбит/с), предложенный для европейской версии SDH, с одной стороны, совпадал с новой скоростью SONET OC3 ($51.84 \times 3 = 155.52$), а с другой - позволял включить в схему мультиплексирования максимальную скорость европейской PDH иерархии - 140 Мбит/с.

Совместные усилия в этом направлении привели к разработке и публикации в Синей книге в 1989 году трех основополагающих рекомендаций CCITT (теперь ITU-T) по SDH - Rec. G.707, G.708 и G.709 [16-18], а также параллельной публикации организациями ANSI и Bellcore аналогичных стандартов для технологии SONET [34-42].

2. СИНХРОННЫЕ ЦИФРОВЫЕ СЕТИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ SDH

2.1. СИНХРОННЫЕ ЦИФРОВЫЕ СЕТИ

Цифровые сети, разработанные и внедренные до появления синхронных сетевых технологий SONET/SDH, были, по сути, асинхронными системами, так как не использовали внешнюю синхронизацию от центрального опорного источника. В них потеря бит (или невозможность их точной локализации) приводили не только к потере информации, но и к нарушению синхронизации. На принимающем конце сети было проще выбросить неверно полученные фреймы, чем инициализировать восстановление синхронизации с повторной передачей потерянного фрагмента, как это делается, например, в локальных сетях. Это значит, что указанная информация будет потеряна безвозвратно.

Практика показывает, что местные таймеры могут давать значительное отклонение от точной скорости передачи. В [43], например, указывается, что для сигналов DS3 (44.736 Мбит/с) такое отклонение от различных источников может достигать 1789 бит/с. *60 ppm*

В синхронных сетях средняя частота всех местных таймеров или одинакова (синхронна) или близка к синхронной (плезиохронна) благодаря использованию центрального таймера (источника) с точностью не хуже 10^{-9} (что дает для DS3 возможное отклонение скорости порядка 0.045 бит/с). В этой ситуации необходимость выравнивания фреймов или мультифреймов стоит не так остро, а диапазон выравнивания значительно уже.

Более того, ситуация с выделением определенного фрагмента потока (например, канала DS1 или E1) упрощается, если ввести указатели начала этого фрагмента в структуре инкапсулирующего его фрейма. Использование указателей (техника эта стара, как компьютерный мир) позволяет гибко компоновать внутреннюю структуру контейнера-носителя. Сохранение указателей в некоем буфере (заголовке фрейма или мультифрейма) и их дополнительная защита кодами с коррекцией ошибок позволяет получить исключительно надежную систему локализации внутренней структуры передаваемой по сети полезной нагрузки (фрейма, мультифрейма или контейнера).

Указанные соображения говорят о том, что синхронные сети имеют ряд преимуществ перед используемыми асинхронными, основные из них следующие:

- **упрощение сети**, вызванное тем, что в синхронной сети один мультиплексор ввода-вывода (см. ниже), позволяя непосредственно вывести (или ввести), например, сигнал E1 (2 Мбит/с) из фрейма (или в фрейм) STM-1 (155 Мбит/с), заменяет целую “гирлянду” мультиплексоров PDH (см. рис. 1-12), давая экономию не только в оборудовании (его цене и номенклатуре), но и в требуемом месте для размещения, питании и обслуживании;
- **надежность и самовосстанавливаемость сети**, обусловленные тем, что, во-первых, сеть использует волоконно-оптические кабели (ВОК), передача по которым практически не подвержена действию электромагнитных помех, во-вторых, архитектура и гибкое управление сетями позволяет использовать защищенный режим работы, допускающий два альтернативных пути распространения сигнала с почти мгновенным переключением в случае повреждения одного из них, а также обход поврежденного узла сети, что делает эти сети самовосстанавливающимися;
- **гибкость управления сетью**, обусловленная наличием большого числа достаточно широкополосных каналов управления и компьютерной иерархической системой управления с уровнями сетевого и элементного менеджмента, а также возможностью автоматического дистанционного управления сетью из одного центра, включая динамическую реконфигурацию каналов и сбор статистики о функционировании сети;
- **выделение полосы пропускания по требованию** - сервис, который раньше мог быть осуществлен только по заранее (например, за несколько дней) спланированной договоренности (например, вывод требуемого канала при проведении видеоконференции), теперь может быть предоставлен в считанные секунды путем переключения на другой (широкополосный) канал;
- **прозрачность для передачи любого трафика** - факт, обусловленный использованием виртуальных контейнеров для передачи трафика, сформированного другими технологиями, включая самые современные технологии Frame Relay, ISDN и ATM;
- **универсальность применения** - технология может быть использована как для создания глобальных сетей или глобальной магистрали, передающей из точки в точку тысячи каналов со скоростью до 40 Гбит/с, так и для компактной кольцевой корпоративной сети, объединяющей десятки локальных сетей;
- **простота наращивания мощности** - при наличии универсальной стойки для размещения аппаратуры переход на следующую более высокую скорость иерархии можно осуществить просто вынув одну группу функциональных блоков и вставив новую (рассчитанную на большую скорость) группу блоков.

2.2. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИНХРОННОЙ ИЕРАРХИИ SDH

2.2.1. Общие особенности построения синхронной иерархии

Рассмотрим общие особенности построения синхронной цифровой иерархии SDH.

Несмотря на очевидные преимущества сетей SDH перед сетями PDH, они не имели бы такого успеха, если бы не обеспечивали преимущество и поддержку стандартов PDH. Как мы уже отмечали при разработке технологии SONET обеспечивалась преимущество американской, а при разработке SDH - европейской иерархий PDH. В окончательном варианте стандарты SONET/SDH поддерживали обе указанные иерархии. Это выразилось в том, что **терминальные мультиплексоры и мультиплексоры ввода/вывода** сетей SONET/SDH, через которые осуществляется **доступ в сеть** были рассчитаны на поддержку только тех входных каналов, или **каналов доступа**, скорость передачи которых соответствовала **объединенному стандартному ряду** американской и европейской иерархий PDH, а именно: 1,5, 2, 6, 8, 34, 45, 140 Мбит/с. Цифровые сигналы каналов доступа, скорость передачи которых соответствует указанному ряду, будем называть **трибами** PDH (или в терминологии связистов **компонентными сигналами**), а сигналы, скорость передачи которых соответствует стандартному ряду скоростей SDH - **трибами** SDH.

Итак, **первая особенность** иерархии SDH - **поддержка** в качестве входных сигналов каналов доступа **только трибов** PDH и SDH.

Другая особенность - **процедура формирования структуры фрейма**.

Два правила относятся к разряду общих: при наличии иерархии структур структура верхнего уровня может строиться из структур нижнего уровня, несколько структур того же уровня, могут быть объединены в одну более общую структуру. Остальные правила отражают специфику технологии. Например, на входе мультиплексора доступа имеем трибы PDH, которые должны быть упакованы в оболочку фрейма так, чтобы их легко можно было ввести и вывести в нужном месте с помощью мультиплексора ввода-вывода. Для этого сам фрейм достаточно представить в виде некоторого **контейнера** стандартного размера (в силу синхронности сети его размеры не должны меняться), имеющего сопровождающую документацию - **заголовок**, где собраны все необходимые для управления и маршрутизации контейнера поля-параметры, и внутреннюю емкость для размещения **полезной нагрузки**, где должны располагаться однотипные контейнеры меньшего размера (нижних уровней), которые также должны иметь некий заголовок и полезную нагрузку и т. д. по принципу матрешки, или по **методу последовательных вложений**, или инкапсуляций.

Для реализации этого метода было предложено использовать понятие **контейнер**, в который и упаковывается триб. По типоразмеру контейнеры делятся на 4 уровня, соответствующие уровням PDH. На контейнер должен наклеиваться ярлык, содержащий управляющую информацию для сбора статистики прохождения контейнера. Контейнер с таким ярлыком используется для переноса информации, т.е. является **логическим**, а не физическим **объектом**, поэтому его называют **виртуальным контейнером**.

Итак, **вторая особенность** иерархии SDH - трибы должны быть упакованы в стандартные помеченные контейнеры, размеры которых опеределаются уровнем триба в иерархии PDH.

Виртуальные контейнеры могут объединяться в группы двумя различными способами. Контейнеры нижних уровней могут, например, мультиплексироваться (т. е. составляться вместе) и использоваться в качестве полезной нагрузки контейнеров верхних уровней (т.е. большего размера), которые, в свою очередь, служат полезной нагрузкой контейнера самого верхнего уровня (самого большого размера) - фрейма STM-1.

Такое группирование может осуществляться по жесткой синхронной схеме, при которой место отдельного контейнера в поле для размещения нагрузки строго фиксировано. С другой стороны, из нескольких фреймов могут быть составлены новые (более крупные) образования **мультифреймы**.

Из-за возможных различий в типе составляющих фрейм контейнеров и непредвиденных временных задержек в процессе загрузки фрейма положение контейнеров внутри мультифрейма может быть, строго говоря, не фиксировано, что может привести к ошибке при вводе/выводе контейнера, учитывая общую нестабильность синхронизации в сети. Для устранения этого факта, на каждый виртуальный контейнер заводится **указатель**, содержащий фактический адрес начала виртуального контейнера на карте поля, отведенного под полезную нагрузку. Указатель дает контейнеру некоторую степень свободы, т.е. возможность "плавать" под действием непредвиденных временных флуктуаций, но при этом гарантирует, что он не будет потерян.

Итак, **третья особенность** иерархии SDH - положение виртуального контейнера может определяться с помощью указателей, позволяющих устранить противоречие между фактом синхронности обработки и возможным изменением положения контейнера внутри поля полезной нагрузки.

Хотя размеры контейнеров различны и емкость контейнеров верхних уровней достаточно велика, может оказаться так, что либо она все равно недостаточна, либо под нагрузку лучше выделить

несколько (в том числе и с дробной частью) контейнеров меньшего размера. Для этого в SDH технологии предусмотрена возможность **сцепления** или **конкатенации** контейнеров (составление нескольких контейнеров вместе в одну структуру, называемую связистами "сцепкой"). Составной контейнер отличается соответствующим индексом от основного и рассматривается (с точки зрения размещения нагрузки) как один большой контейнер. Указанная возможность позволяет с одной стороны оптимизировать использование имеющейся номенклатуры контейнеров, с другой стороны позволяет легко приспособить технологию к новым типам нагрузок, не известных на момент ее разработки.

Итак, **четвертая особенность** иерархии SDH - несколько контейнеров одного уровня могут быть сцеплены вместе и рассматриваться как один непрерывный контейнер, используемый для размещения нестандартной полезной нагрузки.

Пятая особенность иерархии SDH состоит в том, что в ней предусмотрено формирование отдельного (нормального для технологий пакетной обработки в локальных сетях) поля заголовков размером $9 \times 9 = 81$ байт. Хотя перегруженность общим заголовком невелика и составляет всего 3.33%, он достаточно большой, чтобы разместить необходимую управляющую и контрольную информацию и отвести часть байт для организации необходимых внутренних (служебных) каналов передачи данных. Учитывая, что передача каждого байта в структуре фрейма эквивалентна потоку данных со скоростью 64 кбит/с, передача указанного заголовка соответствует организации потока служебной информации эквивалентного 5.184 Мбит/с.

Естественно, что при построении любой иерархии должен быть определен либо ряд стандартных скоростей этой иерархии, либо правило его формирования и первый (**порождающий**) член ряда. Если для PDH значение DS0 (64 кбит/с) вычислялось достаточно просто, то для SDH значение первого члена ряда можно было получить только после определения структуры фрейма и его размера. Схема логических рассуждений достаточно проста. Во-первых, поле его полезной нагрузки должно было вмещать максимальный по размеру виртуальный контейнер VC-4, формируемый при инкапсуляции триба 140 Мбит/с. Во-вторых, его размер: $9 \times 261 = 2349$ байт и определил размер поля полезной нагрузки STM-1, а добавление к нему поля заголовков определило размер **синхронного транспортного модуля** STM-1: $9 \times 261 + 9 \times 9 = 9 \times 270 = 2430$ байт или $2430 \times 8 = 19440$ бит, что при частоте повторения 8000 Гц позволяет определить и порождающий член ряда для иерархии SDH: $19440 \times 8000 = 155.52$ Мбит/с.

2.2.2. Обобщенная схема мультиплексирования потоков в SDH (первая редакция)

Разработанная с учетом указанных общих принципов стандартная схема инкапсуляции PDH трибов в контейнеры и их последующего мультиплексирования при формировании модуля STM-1 первоначально имела вид, представленный на рис.2-1 [17, редакция 1988г.].

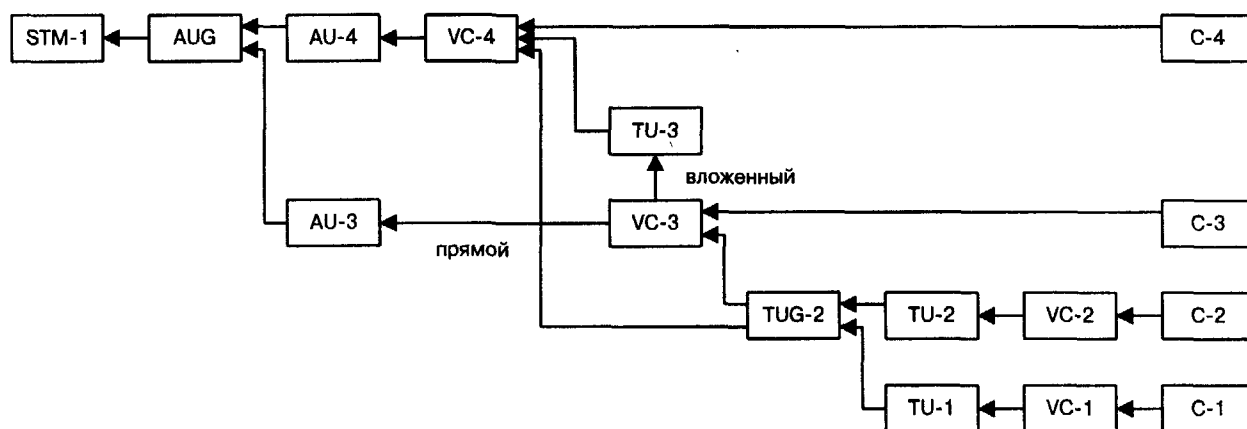


Рис.2-1. Обобщенная схема мультиплексирования PDH трибов в технологии SDH (первая редакция)

В этой обобщенной схеме мультиплексирования используются следующие основополагающие обозначения: C-n - **контейнеры** уровня n ($n=1,2,3,4$); VC-n - **виртуальные контейнеры** уровня n

($n=1,2,3,4$), TU- n - **трибные блоки** уровня n ($n=1,2,3$), TUG- n - **группы трибных блоков** уровня n ($n=2,3$), AU- n - **административные блоки** уровня n ($n=3,4$); AUG - **группа административных блоков** и, наконец, STM-1 - **синхронный транспортный модуль**, используемые в SDH технологии.

Контейнеры C- n служат для **инкапсуляции** (размещения с целью последующего переноса) соответствующих сигналов каналов доступа или трибов, питающих их входы. Слово “инкапсуляция” больше подчеркивает физический смысл процесса, тогда как логически происходит **отображение** структуры фрейма соответствующего триба на структуру инкапсулирующего его контейнера. Уровни контейнера n соответствуют уровням PDH иерархии, т.е. $n=1,2,3,4$, а число **типоразмеров** контейнеров N должно быть равно числу членов объединенного стандартного ряда, т.е. 7. Эти числа согласованы, так как четвертый уровень PDH по стандарту [13] имеется только у ЕС иерархии, т.е. C-4 инкапсулирует E4, а контейнеры C-1,2,3 должны быть разбиты каждый на два подуровня, для инкапсуляции соответствующих трибов AC и ЕС иерархий.

Итак, имеем:

- T- n , E- n - **стандартные каналы доступа** или **трибы** уровня n (в терминологии связистов “компонентные сигналы”) - входные потоки (или входы) SDH мультиплексора, соответствующие **объединенному стандартному ряду** AC и ЕС иерархий PDH, приведенному выше.
- C- n - **контейнер** уровня n - элемент SDH, содержащий триб T- n , т.е. несущий в себе информационную нагрузку соответствующего уровня иерархии PDH, стандартизованного в [13]; контейнеры уровня n разбиваются на следующие контейнеры подуровней C- nm :
 - C-1 - разбивается на контейнер C-11, инкапсулирующий триб T1=1.5 Мбит/с, и контейнер C-12, инкапсулирующий триб E1=2 Мбит/с;
 - C-2 - разбивается на контейнер C-21, инкапсулирующий триб T2=6 Мбит/с и контейнер C-22, инкапсулирующий триб E2=8 Мбит/с;
 - C-3 - разбивается на контейнер C-31, инкапсулирующий триб E3=34 Мбит/с и контейнер C-32, инкапсулирующий триб T3=45 Мбит/с;
 - C-4 не имеет контейнеры подуровней и инкапсулирует триб E4=140 Мбит/с.

В первом варианте стандарта G.708 [17, редакция 1988] контейнеры C- n предназначались не только для инкапсуляции PDH трибов, но и других (тогда еще не конкретизированных) широкополосных сигналов.

2.2.3. Виртуальные контейнеры и другие элементы синхронной иерархии

Контейнеры можно рассматривать в качестве первых элементов в номенклатуре элементов иерархии SDH. К контейнеру (как и к любому пакету, подлежащему отправлению по некоторому маршруту) добавляется **маршрутный заголовок**. В результате он превращается в **виртуальный контейнер** VC уровня n , т.е. VC- n . В номенклатуре элементов иерархии SDH существуют следующие виртуальные контейнеры:

- VC-1, VC-2 - **виртуальные контейнеры** нижних уровней 1 или 2 и VC-3, VC-4 - **виртуальные контейнеры** верхних уровней 3 или 4 - элементы SDH, структура которых или формат достаточно прост и определяется формулой: POH + PL, где POH - **маршрутный заголовок** (в терминологии связистов **трактовый заголовок**); PL - **полезная нагрузка**.

Виртуальные контейнеры VC-1,2,3 уровней 1, 2, 3, также как и контейнеры C-1,2,3, разбиваются на виртуальные контейнеры подуровней nm , т.е. VC- nm , а именно:

- VC-1 разбивается на VC-11 и VC-12;
- VC-2 разбивается на VC-21 и VC-22;
- VC-3 разбивается на VC-31 и VC-32.

Поля PL и POH формата виртуального контейнера как логического элемента имеют вид:

- PL - поле различного (в зависимости от типа виртуального контейнера) размера, формат которого имеет двумерную структуру по типу фрейма вида **9х m** (9 строк, m столбцов); это поле формируется либо из контейнеров соответствующего уровня (например, для виртуальных контейнеров VC-1,2 оно формируется из контейнеров C-1,2 соответственно), либо из других соответствующих элементов структуры мультиплексирования SDH (см. ниже);
 - POH - поле, размером не более 9 байт, формат которого имеет двумерную структуру вида **1х n** (например, формат 1х9 байт для VC-4 или VC-32 и формат 1х6 байт для VC-31); это поле составлено из различных по назначению байтов (см. ниже).
- TU- n - **трибные блоки** уровня n ($n=1,2,3$) (в терминологии связистов **субблоки**) - элементы структуры мультиплексирования SDH, формат которых прост и определяется формулой: PTR + VC, где

- H2 - обобщенный канал, соответствующий третьему уровню (или третичной скорости) иерархии PDH. Он аналогично разбивается на H21 и H22, где $H21 = E3 = 34$ Мбит/с, а $H22 = T3 = 45$ Мбит/с.
- H3 в классификации не используется.
- H4 - обобщенный канал, соответствующий четвертому уровню (или четвертичной скорости) иерархии PDH. Он не разбивается на подуровни, т.е. $H4 = E4 = 140$ Мбит/с.

Из этой схемы видны варианты мультиплексирования группы трибных блоков TUG-2:

- TUG-21 формируется или из одного TU-21 (вариант 1xTU-21) или из четырех TU-11 (вариант 4xTU-11), или из трех TU-12 (вариант 3xTU-12);
- TUG-22 формируется аналогично: 1xTU-22 или 4xTU-12, или 5xTU-11.

В свою очередь выходы TUG-21 и TUG-22 могут быть мультиплексированы для формирования полезной нагрузки контейнеров верхних уровней C-3,4 в соответствии со схемой на рис.2-2 и указанными на ней коэффициентами. Схема формирования виртуальных контейнеров верхнего уровня может быть теперь конкретизирована.

- VC-3 - **виртуальный контейнер уровня 3** - элемент структуры мультиплексирования SDH, который разбивается на два виртуальных контейнера: VC-31 и VC-32 - поля формата 9x65 байтов - для VC-31, и поля формата 9x85 байтов - для VC-31; полезная нагрузка VC-3 формируется либо из одного контейнера C-3 (прямой вариант схемы мультиплексирования), либо путем мультиплексирования нескольких групп TUG-2, а именно:
 - VC-31 формируется как 1xC31 или 4xTUG-22, или 5xTUG-21;
 - VC-32 формируется как 1xC32 или 7xTUG-22.
- VC-4 - **виртуальный контейнер уровня 4** - элемент структуры мультиплексирования SDH, который не разбивается по подуровням и представляет собой поле формата 9x261 байтов; его полезная нагрузка формируется либо из контейнера C-4 (прямой вариант схемы мультиплексирования), либо путем мультиплексирования нескольких групп TUG-2 и TU-3, а именно: VC-4 формируется как 1xC4 или 4xTU-31, или 3xTU-32, или 21xTUG-21, или 16xTUG-22.

Виртуальные контейнеры верхних уровней VC-3,4 позволяют сформировать соответствующие **административные блоки**:

- AU-3 - **административный блок уровня 3** - элемент структуры мультиплексирования SDH формата PTR + PL, разбивается на два подуровня AU-31 и AU-32, полезная нагрузка которых PL формируются из виртуального контейнера VC-31 или VC-32 соответственно;
 - PTR - указатель административного блока - AU-3 PTR (AU-31 PTR или AU-32 PTR) определяет адрес начала поля полезной нагрузки, а именно VC-31, VC-32 в результате получаем:
 - AU-31 = AU-31 PTR + VC-31;
 - AU-32 = AU-32 PTR + VC-32.
- AU-4 - **административный блок уровня 4** - элемент структуры мультиплексирования SDH формата PTR + PL, не имеет подуровней, PTR - указатель административного блока - AU-4 PTR (поле формата 9x1 байтов, соответствующее четвертой строке поля **секционных заголовков** SOH фрейма STM-N), определяет адрес начала поля полезной нагрузки; полезная нагрузка PL формируются либо из виртуального контейнера VC-4 (прямой вариант схемы мультиплексирования), либо в результате мультиплексирования другими возможными путями, а именно: AU-4 формируется как 1xVC-4 или 4xVC-31, или 3xVC-32, или 21xTUG-21, или 16xTUG-22, причем фактически для передачи VC-31,32 и TUG-21,22 используется поле полезной нагрузки VC-4, в котором при размещении VC-32 и TUG-22 четыре левых столбца (4x9 байтов), а при размещении TUG-21 - восемь столбцов (8x9 байт), используются под фиксированные выравнивающие наполнители.

Два последних элемента SDH - AUG и STM-1 определены ниже.

- AUG - **группа административных блоков** - элемент структуры мультиплексирования SDH, появившийся во второй публикации стандарта G.709 [18, редакция 1991], формируется путем мультиплексирования административных блоков AU-3,4 с различными коэффициентами мультиплексирования: AUG формируется как 1xAU-4 или 4xAU-31, или 3xAU-32; AUG затем и отображается на полезную нагрузку STM-1.
- STM-1 - **синхронный транспортный модуль** - основной элемент структуры мультиплексирования SDH, имеющий формат вида: SOH + PL, где SOH - **секционный заголовок** - два поля в блоке заголовка размером 9x9 байтов (структуру SOH см. ниже), PL - **полезная нагрузка**, формируемая из группы административных блоков AUG (в схеме первой публикации стандарта [18, редакция 1988], вместо связки блоков AUG и STM-1 был только модуль STM-1,

описанный как блок, формируемый путем мультиплексирования AU-3,4 с различными коэффициентами мультиплексирования (то, что делает сейчас блок AUG) и добавления секционного заголовка SOH).

Синхронные транспортные модули STM-1 могут быть, согласно основной схеме мультиплексирования для иерархии SDH, мультиплексированы с коэффициентом N в синхронный транспортный модуль STM-N для последующей передачи по каналу связи. С учетом приведенных пояснений становится более понятной схема взаимодействия различных уровней PDH иерархий, погруженных в SDH иерархию.

Рассмотренная схема (рис. 2-2) охватывает все возможные варианты формирования STM-1 и допускает на входе все стандартные PDH трибы, но она достаточно сложна, хотя-бы потому, что число возможных путей формирования велико. Например, если рассмотреть на этой схеме возможные пути формирования STM-1 из трибов H12 (2 Мбит/с), то их окажется семь:

- 1) H12 - C-12 - VC-12 - TU-12 - TUG-21 - VC-32 - AU-32 - AUG - STM-1
- 2) H12 - C-12 - VC-12 - TU-12 - TUG-21 - VC-32 - AU-32 - VC-4 - AU-4 - AUG - STM-1
- 3) H12 - C-12 - VC-12 - TU-12 - TUG-21 - VC-4 - AU-4 - AUG - STM-1
- 4) H12 - C-12 - VC-12 - TU-12 - TUG-21 - VC-31 - TU-31 - VC-4 - AU-4 - AUG - STM-1
- 5) H12 - C-12 - VC-12 - TU-12 - TUG-22 - VC-4 - AU-4 - AUG - STM-1
- 6) H12 - C-12 - VC-12 - TU-12 - TUG-22 - VC-31 - TU-31 - VC-4 - AU-4 - AUG - STM-1
- 7) H12 - C-12 - VC-12 - TU-12 - TUG-22 - VC-31 - AU-31 - AUG - STM-1

Из них варианты (2) и (6) наиболее сложные. Для того, чтобы подробно показать важные детали процесса формирования, в [27] в качестве гипотетического был рассмотрен именно вариант (6) формирования модуля STM-1 при использовании терминального мультиплексора SDH с каналом доступа 2 Мбит/с. Соответствующая ему логическая схема представлена там же на рис.5, чтобы наглядно продемонстрировать сложность такого формирования.

2.2.4. Обобщенная схема мультиплексирования потоков в SDH (третья редакция)

Указанная многовариантность и сложность формирования модуля STM-1, предложенная в первой редакции, ставила в трудное положение производителей оборудования SDH и отрицательно сказалось на его унификации, а также номенклатуре поддерживаемых PDH трибов. Наименьшую поддержку получили трибы E2 и T2. Триб E2 был исключен из списка обязательных уже во второй редакции (1991), а триб T2 остался в третьей редакции (1993 г.) только в обобщенной схеме мультиплексирования SONET/SDH и был исключен комитетом ETSI из списка обязательных в европейском варианте обобщенной схемы мультиплексирования SDH. Показательным в этом плане является номенклатура трибов оборудования SDH, обзор которого был проведен в [29]. Из него видно, что триб T2 не включен как обязательный ни в одну спецификацию восьми крупнейших производителей SDH оборудования. То же можно сказать и о девятом производителе - Nokia (Финляндия).

Другим фактором, порождающим многовариантность, было допущение кросс-мультиплексирования, т.е. отображения TUG-21 на VC-31, а также отображения TUG-21 и TUG-22 непосредственно на VC-4 с различными коэффициентами мультиплексирования: 5, 21 и 16. Для уменьшения многовариантности схема мультиплексирования в редакциях стандартов G.708 и G.709 была упрощена.

На рис. 2-3 представлена третья редакция (1993г.) схемы мультиплексирования SDH, предложенная в обобщенном виде в стандарте G.708 [17, редакция 1993г.] и в более подробном виде в стандарте G.709 [18, редакция 1993г.], который и показан на этом рисунке. Основными отличиями этой схемы от схемы первой редакции (рис. 2-2) являются:

- отсутствие триба E2 (отображаемого в контейнер C-22) и связанных с ним блоков VC-22 и TU-22 (контейнер C-21, виртуальный контейнер VC-21 и блок TU-21 представлены как C-2, VC-2 и TU-2 соответственно);
- появление блока TUG-3 и замыкание на него выхода блока TUG-2 (потеря симметрии, т.е. связей TUG-21 - VC-4 и TUG-22 - VC-4);
- несимметричное использование TU-3 в связке с VC-3 только для ветви: C-3 - триб E3/T3 (вместо симметричной схемы TU-31/TU-32 - VC-31/VC-32) и отсутствие в связи с этим возможности кросс-мультиплексирования, осуществляемого по связи TUG-21 - VC-31, ввиду ее отсутствия.

Указанные упрощения привели к тому, что теперь от семи возможных путей формирования STM-1 из трибов E1 (2 Мбит/с) осталось только два:

- 1) H12 - C-12 - VC-12 - TU-12 - TUG-2 - TUG-3 - VC-4 - AU-4 - AUG - STM-1
- 2) H12 - C-12 - VC-12 - TU-12 - TUG-2 - VC-3 - AU-3 - AUG - STM-1

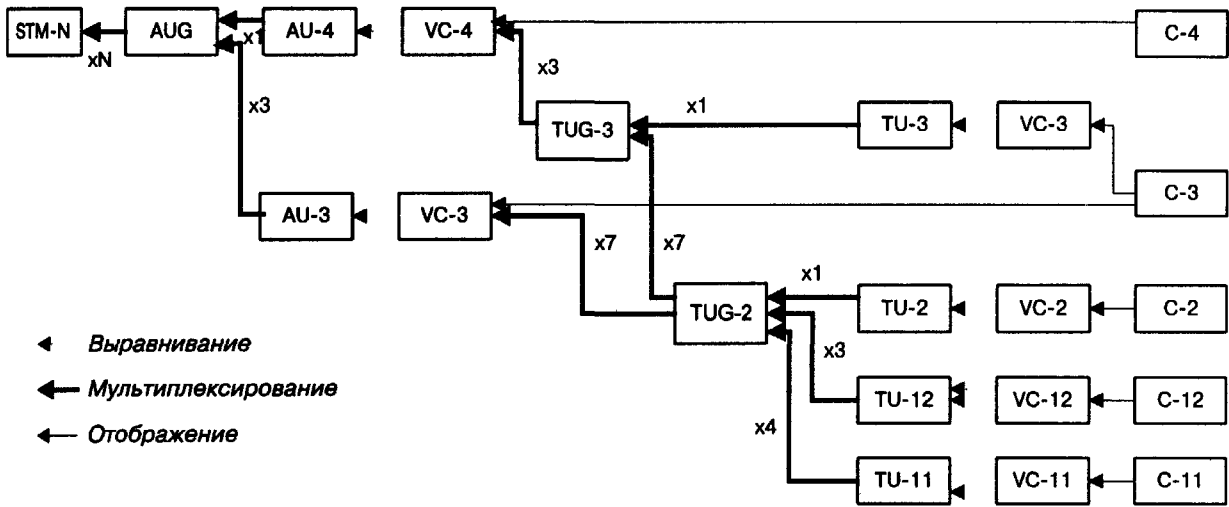


Рис.2-3. Общая схема мультиплексирования PDH трибов в технологии SDH (редакция ITU-T 1993г.)

Эти упрощения становятся еще более очевидными, если учесть, что указанная схема является общей, объединяющей две схемы мультиплексирования: европейскую схему мультиплексирования SDH, предложенную Институтом стандартов ETSI [45] (рис.2-4), и американскую схему мультиплексирования SONET/SDH, которую можно вычлениить из общей схемы и представить в виде подсхемы на рис. 2-5. Эти две схемы отличаются тем, что у них отсутствует вариантность в формировании STM-1 из набора допустимых трибов.

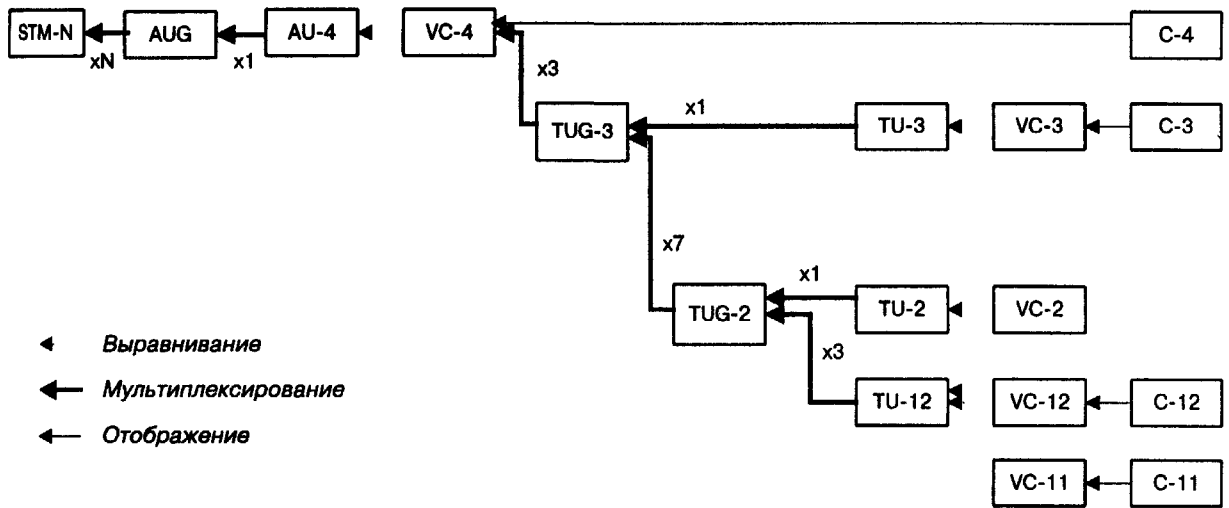


Рис.2-4. Схема мультиплексирования PDH трибов в технологии SDH (редакция ETSI 1992г.)

Для рассматриваемого нами примера с трибом E1 вариант формирования STM-1 по схеме ETSI (рис. 2-4) имеет вид:

E1 - C-12 - VC-12 - TU-12 - TUG-2 - TUG-3 - VC-4 - AU-4 - AUG - STM-1,

а по схеме SONET/SDH (рис. 2-5) имеет вид:

E1 - C-12 - VC-12 - TU-12 - TUG-2 - VC-3 - AU-3 - AUG - STM-1.

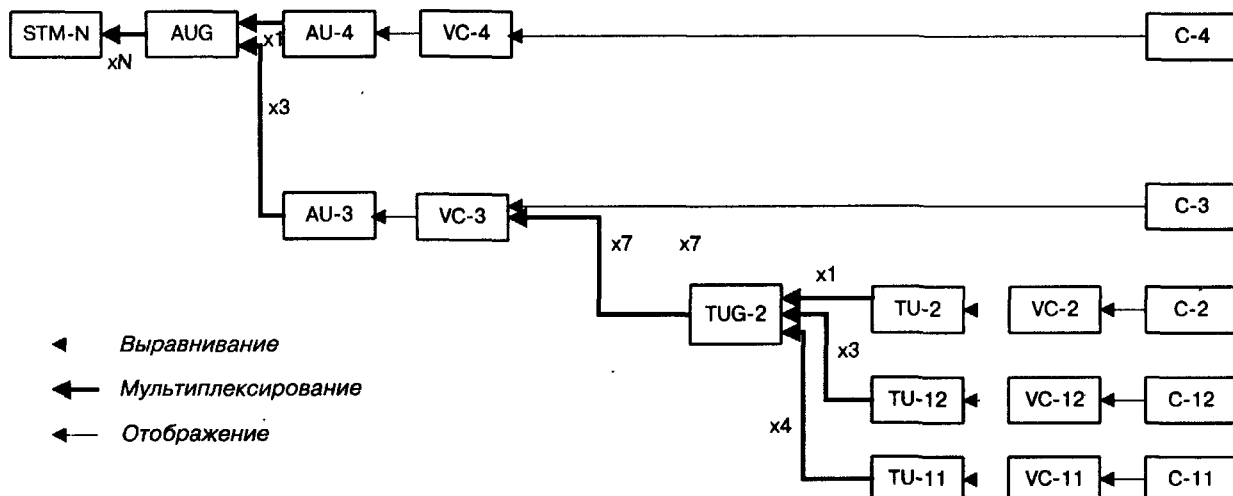


Рис.2-5. Схема мультиплексирования PDH трибов в технологии SONET/SDH (редакция 1993г.)

Итак, на сегодняшний день общая схема мультиплексирования SDH приобрела окончательный вид (рис.2-3), зафиксированный в публикации так называемой Белой книги рекомендаций ITU-T (МСЭ-Т) [18,150], а европейская интерпретация этой схемы (рис.2-4) зафиксирована в публикации ETSI [45]. Эти схемы достаточно формальны, чтобы понять детали логических преобразований цифровой последовательности в процессе мультиплексирования, поэтому она более подробно рассмотрена ниже в п.2.2.5.

2.2.5. Детальный пример схемы формирования модуля STM-1

Для того, чтобы показать детали процесса формирования по указанной схеме ETSI, на рис.2.6 представлен пример логической схемы формирования модуля STM-1 из потока трибов E1 (нужно иметь ввиду, что в физической схеме положение отдельных элементов, например указателей, не соответствует их месту в логической схеме, кроме того используется ряд резервных, или фиксирующих элементов, играющих роль "наполнителей", или элементов управления, или элементов выравнивания SDH фрейма).

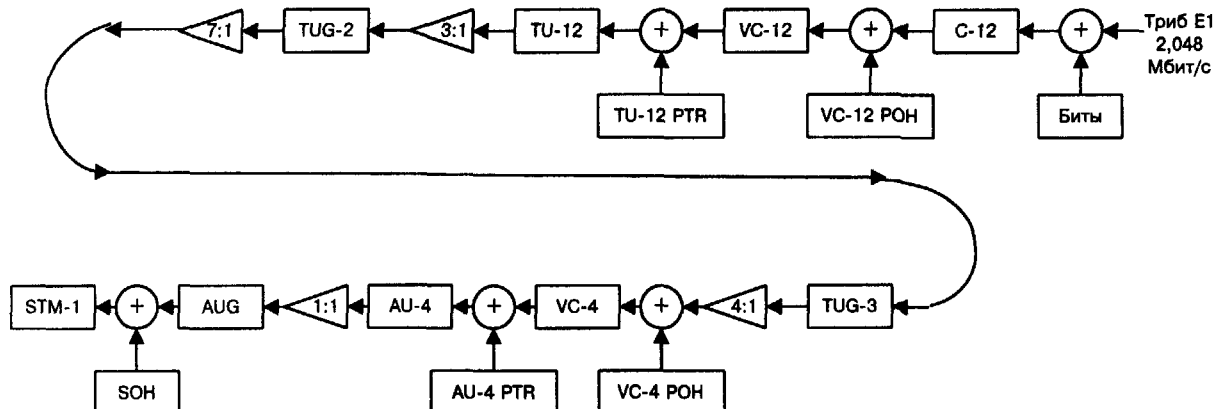


Рис.2-6. Пример логического формирования модуля STM-1 из триба E1 по схеме ETSI

На этом рисунке символ $\oplus$ означает операцию **конкатенации** (физической или логической пристыковки) заголовка или указателя к другим элементам схемы мультиплексирования SDH, а символ $\triangleleft$ означает операцию мультиплексирования с соответствующим коэффициентом, указанным внутри.

Схема наглядна сама по себе и достаточна на уровне популярного изложения, однако она не всегда отражает реально осуществляемые физические преобразования и для более глубокого понимания нуждается в некоторых пояснениях и замечаниях.

Шаг 1. Все начинается с формирования контейнера C-12, наполняемого из канала доступа, питаемого трибом E1. Его поток 2,048 Мбит/с, для удобства последующих рассуждений, лучше представить в виде цифровой 32-байтной последовательности, циклически повторяющейся с частотой 8 кГц, т.е. с частотой повторения фрейма STM-1 (это так, если учесть, что $2048000/8000=256$ бит или 32 байта, см. также п.1.4.3.).

К этой последовательности в процессе формирования C-12 возможно добавление выравнивающих бит, а также других фиксирующих, управляющих и упаковывающих бит (условно показанных блоком "биты"). Ясно, что емкость C-12 должна быть больше 32 байт, фактически она в зависимости от режима преобразования VC-12 в TU-12 (см. ниже) будет больше или равна 34 байтам. Для простоты последующих рассуждений примем размер контейнера C-12 равным 34 байтам.

Шаг 2. Далее к контейнеру C-12 добавляется маршрутный заголовок VC-12 POH длиной в один байт (обозначаемый V5) с указанием маршрутной информации, используемой, в основном, для сбора статистики прохождения контейнера. В результате формируется виртуальный контейнер VC-12 размером 35 байт. (В [46] указана скорость 2224 кбит/с, соответствующая контейнеру C-12, что в пересчете соответствует длине фрейма C-12 равной 34.75 байта; это может быть так, если предположить, что на 4 фрейма мультифрейма VC-12 (см. Замечание 1) используется только один заголовок V5 длиной в один байт, что в пересчете на фрейм VC-12 дает в среднем 0.25 байта дополнительного заголовка, тогда размер виртуального контейнера VC-12 также равен 35 байтам ($34.75+0.25=35$)).

Шаг 3. Формально добавление указателя TU-12 PTR длиной в один байт к виртуальному контейнеру VC-12, превращает его в трибный блок TU-12 длиной 36 байтов (логически это удобнее представить в виде двумерной таблицы (матрицы) или **фрейма** 9x4 байтов, учитывая, что окончательная структура - модуль STM-1 - также представляется в виде фрейма 9x270 байтов с 9 строками и 270 столбцами).

Замечание 1. Преобразование виртуального контейнера VC-12 (также как и VC-11 и VC-2) в трибный блок TU-12 (или соответственно в блоки TU-11 и TU-2) и последующее мультиплексирование может проходить по двум схемам, или в двух режимах: **плавающем и фиксированном**. Достоинство плавающего режима в том, что он допускает использование указателей для определения истинного положения контейнера в поле полезной нагрузки, а значит допускает определенную **асинхронность в транспортировке контейнера** и является средством гибкого **динамического выравнивания** положения контейнера внутри структуры, в которую он погружен. Фиксированный режим использует фиксированное синхронное отображение структурированной информации трибных блоков на поле полезной нагрузки контейнеров верхних уровней. Он позволяет однозначно идентифицировать эту информацию с помощью указателей административных блоков AU, соответствующих этим контейнерам, что делает ненужным использование указателей трибных блоков TU-n PTR. Достоинство такого режима - более простая структура TU-n или TUG, допускающая более **эффективную последующую обработку**. Недостаток очевиден - **исключается любая несинхронность** при транспортировке контейнера.

Для обеспечения плавающего режима формируется **мультифрейм**, состоящий из нескольких фреймов, в "рамках" которого мог бы плавать контейнер нижнего уровня (C-11, C-12, C-2). При создании такого мультифрейма допускается три варианта отображения трибов на его структуру: **асинхронное, бит-синхронное и байт-синхронное** (последнее проработано только для T1/E1). Варианты отображения устанавливаются операторами сети, причем по умолчанию используется асинхронное отображение. Бит-синхронное размещение используется для сигналов, не имеющих байтовой (октетной) структуры и не рекомендуется в [12] для международных соединений. Байт-синхронный вариант для триба E1 имеет две опции: одна соответствует PDH-трибу с **внутриканальной сигнализацией CAS** (19-ый байт 140 байтного фрейма TU), другая - с **сигнализацией по общему каналу CCS** (используется сигнализация SS#7).

Так, для контейнеров VC-12 **мультифрейм** формируется из четырех последовательных фреймов VC-12. Он имеет период повторения 500 мкс и составную длину 140 байтов, $35 \times 4 = 140$ (рис. 2-7). Его начальная фаза определяется байтом **индикатора положения нагрузки** H4 в заголовке POH контейнера верхнего уровня. В мультифрейме каждый фрейм имеет заголовок длиной в один байт, из этих заголовков фактически используется только заголовок первого фрейма V5. Остальные заголовки, обозначаемые J2, Z6 и Z7 зарезервированы формально. Внутренняя структура фреймов VC-12, мультифрейма различна в зависимости от варианта отображения [18].

Этот мультифрейм и является основой для формирования трибного блока AU-12. В нем перед заголовком каждого фрейма VC-12 дополнительно помещается указатель TU-12 PTR (они обозначаются как V1, V2, V3 и V4) длиной в один байт. В результате формируется мультифрейм TU-12 с периодом повторения 500 мкс и составной длиной 144 байта.

Указатели V1 и V2 составляют одно общее 16-битное поле, назначение бит в котором следующее (слева-направо): биты 1-4 (биты N) - **флаг новых данных** NDF (изменение его нормального значения "0110" на инверсное "1001" сообщает, что под действием нагрузки изменилось выравнивание, а возможно и размер TU); биты 5-6 (биты S) - **указатель типа трибного блока TU** (для TU-12 это последовательность "10"); биты 7-16 (чередующаяся последовательность I/D бит, где I - биты **положительного выравнивания**, а D - биты **отрицательного выравнивания**) - **собственно указатель TU-п PTR**, для TU-12 его величина может изменяться в диапазоне 0-139. Этот указатель и определяет положение первого фрейма VC-12, располагающегося после V2 в мультифрейме TU-12 (рис. 2-7, нижний, поле 0-34). Указатель V4 является резервным полем, а V3 фактически используется для выравнивания.

V5	VC-12 ₁	J2	VC-12 ₂	Z6	VC-12 ₃	Z7	VC-12 ₄
V1	105-139	V2	0-34	V3	35-69	V4	70-104

Рис.2-7. Мультифреймы VC-12 (VC-12_{1,2,3,4}) и TU-12 (V1...V4) в плавающем режиме

Выравнивание осуществляется по отношению к первому фрейму и может быть как **положительным**, при котором последующие фреймы сдвигаются назад (от V3 к V4), для чего используется байт, следующий за V3, так и **отрицательным** (от V4 к V3) - для чего используется поле указателя V3 (в этом случае оно интерпретируется как поле данных).

В фиксированном режиме указатели не используются и мультифрейм не формируется. Для такого режима может быть использовано как **бит-синхронное**, так и **байт-синхронное** отображения. Причем последний вариант не используется в сетях с вводом/выводом VC-1.

В этом режиме TU-12 представляется в виде фрейма с исходным периодом повторения 125 мкс и длиной 36 байтов, из которых первый байт (обозначаемый как R) условно содержит образы V1, V2, V3, V4, а второй (также R) - образы V5, J2, Z6, Z7.

Шаг 4. Последовательность трибных блоков TU-12 в результате байт-мультиплексирования 3:1 превращается в **группу трибных блоков** TUG-2 с суммарной длиной последовательности 108 байтов ($36 \times 3 = 108$). Логически структуру TUG-2 также удобнее представить в виде фрейма 9x12 байтов.

Замечание 2. Фактически при мультиплексировании TU-12 в TUG-2 указатели TU-12 PTR располагаются отдельно от виртуальных контейнеров в начале фрейма, как это показано ниже на рис. 2-9.

Шаг 5. Последовательность TUG-2 подвергается повторному байт-мультиплексированию 7:1, в результате которого формируется **группа трибных блоков** TUG-3 - фрейм длиной 756 байтов ($108 \times 7 = 756$), соответствующий фрейму 9x84 байта.

Замечание 3. Фактически TUG-3 соответствует фрейму 9x86, в начале которого добавляется два столбца (2x9 байтов) (рис. 2-8), состоящие из поля **индикации нулевого указателя** - **NPI** и **фиксированного пустого поля** (наполнителя) - **FS**. В результате формула образования TUG-3 принимает вид: $TUG-3 = 7 \times TUG-2 + NPI + FS_{TUG-3}$, где индекс TUG-3 используется для отличия FS, применяемых в различных структурах. Таким образом, фрейм TUG-3 имеет длину 774 байта ($7 \times 108 + 3 + 15 = 774$), что соответствует фрейму 9x86 байтов. Процедура мультиплексирования наглядно показана на рис.2-8, а схема формирования TUG-3 на рис.2-9.

Шаг 6. Полученная последовательность вновь байт-мультиплексируется 3:1, в результате чего формируется последовательность блоков TUG-3 с суммарной длиной 2322 байта ($774 \times 3 = 2322$).

Шаг 7. Происходит формирование виртуального контейнера верхнего уровня VC-4 в результате добавления к полученной последовательности (в соответствии со схемой на рис.2-6) маршрутного заголовка POH длиной 9 байтов, что приводит к фрейму длиной в 2331 байтов ($2322 + 9 = 2331$).

Замечание 4. Фактически VC-4 соответствует фрейму 9x261, структура которого состоит из одного столбца (1x9 байтов) POH, двух столбцов фиксированного пустого поля FS и трех TUG-3 - блока, полученного в результате мультиплексирования. В результате формула образования VC-4 принимает вид: $VC-4 = 3 \times TUG-3 + POH_{VC-4} + FS_{VC-4}$. Таким образом, последовательность VC-4 имеет длину 2349 байтов ($3 \times 774 + 9 + 2 \times 9 = 2349$), что соответствует фрейму 9x261 байт.

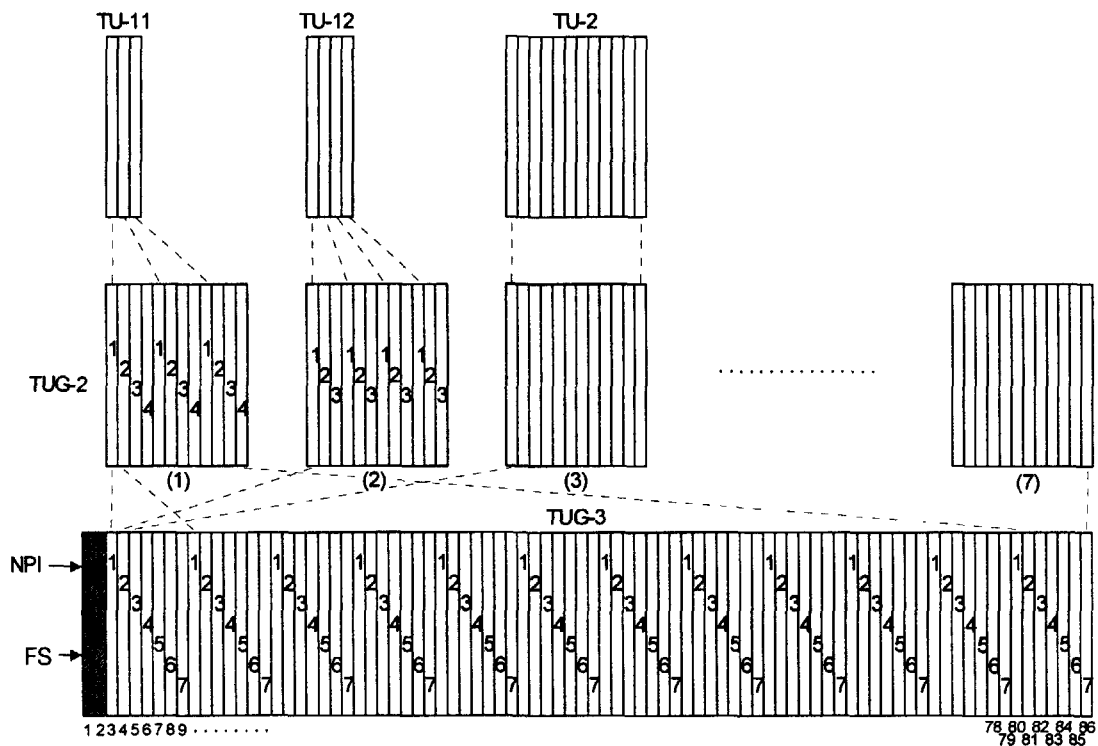


Рис.2-8. Процедура мультиплексирования TUG-2 в TUG-3

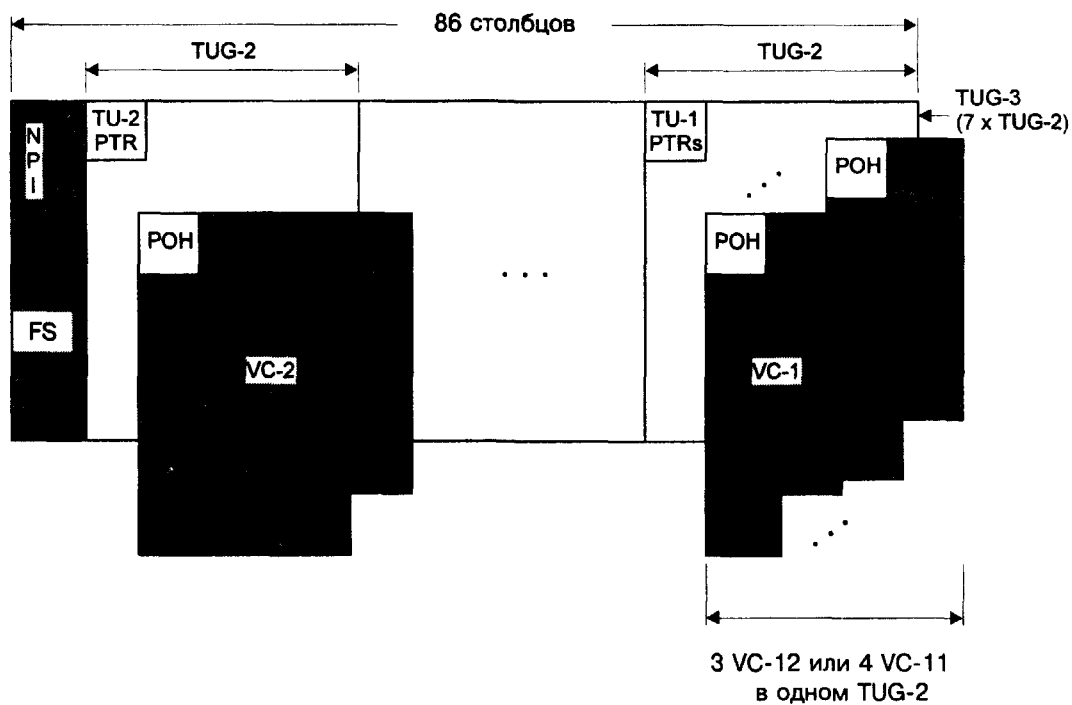


Рис.2-9. Схема формирования TUG-3

Шаг 8. На последнем этапе происходит формирование **синхронного транспортного модуля STM-1**. При этом сначала формируется AU-4, путем добавления указателя AU-4 PTR, длиной 9 байтов, который располагается в SOH (см. ниже), а затем группа административных блоков AUG путем формального, в данном конкретном случае, мультиплексирования 1:1 AU-4. К группе AUG добавляется **секционный заголовок** SOH, который состоит из двух частей: **заголовка регенераторной секции** RSOH (формат 3х9 байтов) и **заголовка мультиплексной секции** MSOH (формат 5х9 байтов), окончательно формируя синхронный транспортный модуль STM-1, представляемый в виде кадра, имеющего длину 2430 байтов, или в виде фрейма 9 х 270 байтов, что при частоте повторения в 8 кГц соответствует скорости передачи 155,52 Мбит/с.

Итак, если подытожить результаты рассмотренного примера, получаем следующую итоговую формулу преобразования двоичного потока E1 в схеме мультиплексирования по стандарту ETSI (символьный (верхний) вариант и численный (нижний) вариант, где значения приведены в байтах):

$$STM-1 = (((E1 + \langle \text{байты} \rangle + VC-12_POH + TU-12_PTR) \times 3^{TUG-2}) \times 7^{TUG-3} + NPI + FS_{TUG-3}) \times 3^{VC-4} + VC-4_POH + FS_{VC-4} + AU-4_PTR \times 1_{AUG} + RSOH + MSOH$$

$$STM-1 = (((32E1 + 2_{\text{байты}} + 1_{VC-12_POH} + 1_{TU-12_PTR}) \times 3^{TUG-2}) \times 7^{TUG-3} + 3NPI + 15FS_{TUG-3}) \times 3^{VC-4} + 9_{VC-4_POH} + 18FS_{VC-4} + 9_{AU-4_PTR} \times 1_{AUG} + 3 \times 9_{RSOH} + 5 \times 9_{MSOH}$$

Указанные формулы являются более точной, хотя и менее наглядной (по сравнению с рис.2-6) эквивалентной формой представления процесса формирования модуля STM-1, которую можно предложить в качестве обобщенного алгоритма процедуры формирования. Их можно получить для всех вариантов сборки такого модуля.

2.2.6. Другие варианты сборки модуля STM-1 по схеме ETSI

Рассмотрим кратко другие варианты сборки модуля STM-1 по схеме ETSI, рис.2-4. Их всего четыре:

- 1 - вариант сборки, порожденный трибом T1 (1.5 Мбит/с), отображаемым на контейнер C-11:
T1 → C-11 → VC-11 → TU-12 → TUG-2 → TUG-3 → VC-4 → AU-4 → AUG → STM-1;
- 2 - вариант сборки, порожденный трибом E3 (34 Мбит/с), отображаемым на контейнер C-3:
E3 → C-3 → VC-3 → TU-3 → TUG-3 → VC-4 → AU-4 → AUG → STM-1;
- 3 - вариант сборки, порожденный трибом T3 (45 Мбит/с), отображаемым на контейнер C-3:
T3 → C-3 → VC-3 → TU-3 → TUG-3 → VC-4 → AU-4 → AUG → STM-1;
(формально путь сборки тот-же, что и в предыдущем варианте);
- 4 - вариант сборки, порожденный трибом E4 (140 Мбит/с), отображаемым на контейнер C-4:
E4 → C-4 → VC-4 → AU-4 → AUG → STM-1.

Варианты 1 и 3 применяются для обеспечения совместимости с сетями SONET/SDH, использующими американскую иерархию PDH.

Аналогично предыдущему, с небольшими пояснениями, можно привести итоговые формулы преобразования соответствующих двоичных потоков в схеме мультиплексирования ETSI (символьный (первый) вариант и численный (второй) вариант, где значения приведены в байтах или битах). Формулы для варианта 1 имеют вид:

$$STM-1 = (((T1 + \langle \text{байты} \rangle + VC-11_POH + TU-12_PTR + FS_{TU-12}) \times 3^{TUG-2}) \times 7^{TUG-3} + NPI + FS_{TUG-3}) \times 3^{VC-4} + VC-4_POH + FS_{VC-4} + AU-4_PTR \times 1_{AUG} + RSOH + MSOH$$

$$STM-1 = (((24T1 + 1_{\text{байты}} + 1_{VC-11_POH} + 1_{TU-12_PTR} + 9FS_{TU-12}) \times 3^{TUG-2}) \times 7^{TUG-3} + 3NPI + 15FS_{TUG-3}) \times 3^{VC-4} + 9_{VC-4_POH} + 2 \times 9_{FS_{VC-4}} + 9_{AU-4_PTR} \times 1_{AUG} + 3 \times 9_{RSOH} + 5 \times 9_{MSOH}$$

Здесь поток T1 формально представлен в виде 24-байтной последовательности. C-11 = 25 байт. VC-11 = 26 байт, так как VC-11 POH = 1 байт. TU-12 PTR = 1 байт. При преобразовании VC-11 в TU-12 добавляется фиксированное пустое поле FS_{TU-12} = 9 байт (чего не было в варианте сборки, порожденным E1) в результате чего формируется такой же по формату фрейм TU-12 (9х4 = 36 байт). Последующий процесс тот-же, что и в варианте сборки, порожденным E1).

Формулы для варианта 2 имеют вид:

$$STM-1 \Rightarrow (((E3 + \langle \text{байты} \rangle + VC-3_POH + TU-3_PTR + FS_{TU-3}) \times 1^{TUG-3}) \times 3^{VC-4} + VC-4_POH + FS_{VC-4} + AU-4_PTR \times 1_{AUG} + RSOH + MSOH$$

$$STM-1 = (((537E3 + 219_{\text{байты}} + 9_{VC-3_POH} + 3_{TU-3_PTR} + 6FS_{TU-3}) \times 1^{TUG-3}) \times 3^{VC-4} + 9_{VC-4_POH} + 2 \times 9_{FS_{VC-4}} + 9_{AU-4_PTR} \times 1_{AUG} + 3 \times 9_{RSOH} + 5 \times 9_{MSOH}$$

Здесь поток E3 (34368 кбит/с) может быть формально представлен в виде 537-байтной последовательности (34368/64=537), которая дополняется 219 байтами до 756-байтной полезной нагрузки (формат 9x84 байта) виртуального контейнера VC-3. Соответствующая ей скорость 48384 кбит/с принимается за скорость контейнера C-3 [46]. При этом контейнер C-3 преобразуется в VC-3 по общей схеме: VC-3 = VC-3 POH + PL, где PL - полезная нагрузка, представляемая в виде трех идентичных **субфреймов** SF (формат 3x84 байта), обозначаемых в [18] как T1, T2 и T3. Здесь обозначим их как T_{1,2,3}, чтобы не путать с трибами Tn. В соответствии с [18], полезная нагрузка (символьный вариант) формируется по более сложной схеме:

$$PL = T_1 + T_2 + T_3 = 3x(VC-3_1 + FS_{VC-3} + JCB_{VC-3} + JOB_{VC-3})$$

Здесь VC-3₁ - информационная часть нагрузки SF (1431 бит), FS_{VC-3} - фиксированное пустое поле SF контейнера VC-3 (573 бита), JCB_{VC-3} - биты управления выравниванием SF (2x5 бит), JOB_{VC-3} - биты возможного выравнивания SF (2 бита).

В результате численный вариант формирования полезной нагрузки примет вид:

$$PL = 3 \cdot (1431_{VC-3_1} + 573_{FS_{VC-3}} + 2 \cdot 5_{JCB_{VC-3}} + 2_{JOB_{VC-3}}) / 8 = 756 \text{ [байт]}$$

Формулы для варианта 3 имеют вид:

$$STM-1 = (((T_3 + \langle \text{байты} \rangle + VC-3_POH + TU-3_PTR + FS_{TU-3}) \cdot x1_{TUG-3}) \cdot x3_{VC-4} + VC-4_POH + FS_{VC-4} + AU-4_PTR) \cdot x1_{AUG} + RSOH + MSON$$

$$STM-1 = (((699_{T_3} + 57_{\text{байты}} + 9_{VC-3_POH} + 3_{TU-3_PTR} + 6_{FS_{TU-3}}) \cdot 1_{TUG-3}) \cdot 3_{VC-4} + 9_{VC-4_POH} + 2 \cdot 9_{FS_{VC-4}} + 9_{AU-4_PTR}) \cdot 1_{AUG} + 3 \cdot 9_{RSOH} + 5 \cdot 9_{MSOH}$$

Здесь поток T3 (44736 кбит/с) может быть формально представлен в виде 699-байтной последовательности (44736/64=699), которая дополняется 57 байтами до 756-байтной полезной нагрузки (формат 9x84 байта) виртуального контейнера VC-3. При этом структура контейнера C-3 преобразуется в VC-3 по той же схеме, что и в варианте 2): VC-3 = VC-3 POH + PL, но PL представляется в виде девяти идентичных **субфреймов** SF (формат 1x84 байта). В соответствии с этим полезная нагрузка (символьный вариант) формируется по схеме:

$$PL = 9x(VC-3_1 + FS_{VC-3} + JCB_{VC-3} + JOB_{VC-3} + OHC_{VC-3})$$

Здесь используются те же обозначения, что и раньше: VC-3₁ имеет длину 621 бит, FS_{VC-3} - 43 бита, JCB_{VC-3} - 5 бит, JOB_{VC-3} - 1 бит. Дополнительно в SF резервируются поле OHC_{VC-3} длиной 2 бита для организации в будущем канала связи заголовка.

В результате численный вариант формирования полезной нагрузки примет вид:

$$PL = 9 \cdot (621_{VC-3_1} + 43_{FS_{VC-3}} + 5_{JCB_{VC-3}} + 1_{JOB_{VC-3}} + 2_{OHC_{VC-3}}) / 8 = 756 \text{ [байт]}$$

Формулы для варианта 4 имеют вид:

$$STM-1 = (E4 + \langle \text{байты} \rangle + VC-4_POH + AU-4_PTR) \cdot x1_{AUG} + RSOH + MSON$$

$$STM-1 = (2176_{E4} + 164_{\text{байты}} + 9_{VC-4_POH} + 9_{AU-4_PTR}) \cdot 1_{AUG} + 3 \cdot 9_{RSOH} + 5 \cdot 9_{MSOH}$$

Здесь поток E4 (139264 кбит/с) может быть формально представлен в виде 2176-байтной последовательности (139264/64=2176), которая дополняется 164 байтами до 2340-байтной полезной нагрузки (формат 9x260 байт) виртуального контейнера VC-4. При этом контейнер C-4 преобразуется в VC-4 по аналогичной схеме: VC-3 = VC-3 POH + PL, но PL представляется в виде девяти идентичных **субфреймов** SF (формат 1x260 байт), разделенных на 20 блоков по 13 байт каждый. В соответствии с этим полезная нагрузка (символьный вариант) формируется по наиболее сложно формализуемой схеме (рис. 2-10):

$$PL = 9x(20x(VC-4_1) + VC-4_{IW} + VC-4_{IZ} + 13FS_{VC-4} + 5FS_X + FS_Z + 5JCB_X + JOB_Z + 5OHC_X)$$

Обозначения те же: VC-4₁ - суммарная длина на один SF - 1934 бита (20*12*8 (поля 96I) + 8 (байт W) + 6 (байт Z)), FS_{VC-4} - 130 бит (13*8 (байты Y) + 5*5 (байты X) + 1 (байт Z)), JCB_X - 5 бит (5*1 - байты X), JOB_Z - 1 бит (байт Z), OHC_X - 10 бит (5*2 - байты X), байты: W (I I I I I I I I), X (C R R R R R O O), Y (R R R R R R R R), Z (I I I I I S R); I - информационный бит, C - бит управления выравниванием, R - бит заполнения пустого поля, O - бит канала связи заголовка, S - бит возможного выравнивания.

W	96l	X	96l	Y	96l	Y	96l	Y	96l
X	96l	Y	96l	Y	96l	Y	96l	X	96l
Y	96l	Y	96l	Y	96l	X	96l	Y	96l
Y	96l	Y	96l	X	96l	Y	96l	Z	96l

Рис.2-10. Карта субфрейма SF при асинхронном отображении триба E4 на VC-4

В результате численный вариант формирования полезной нагрузки примет вид:

$$PL = 9 \cdot 20 \cdot 13 = 9 \cdot (20 \cdot (12 \cdot 8_{VC-4_J} + 8_{VC-4_JW} + 6_{VC-4_JZ} + 13 \cdot 8_{FS_VC-4} + 5 \cdot 5_{FS_X} + 1_{FS_Z} + 5 \cdot 1_{JCB_X} + 1_{JOB_Z} + 5 \cdot 2_{ОНС_X}) / 8 = 2340 \text{ [байт]}$$

Аналогично могут быть описаны варианты сборки модуля STM-1 по схеме на рис. 2-5.

- 1 - вариант сборки, порожденный трибом T1 (1.5 Мбит/с), отображаемым на контейнер C-11:
T1 → C-11 → VC-11 → TU-11 → TUG-2 → VC-3 → AU-3 → AUG → STM-1;
- 2 - вариант сборки, порожденный трибом E1 (2 Мбит/с), отображаемым на контейнер C-12:
E1 → C-12 → VC-12 → TU-12 → TUG-2 → VC-3 → AU-3 → AUG → STM-1;
- 3 - вариант сборки, порожденный трибом T2 (6 Мбит/с), отображаемым на контейнер C-2:
T2 → C-2 → VC-2 → TU-2 → TUG-2 → VC-3 → AU-3 → AUG → STM-1;
- 4 - вариант сборки, порожденный трибами E3/T3 (34/45 Мбит/с), отображаемыми на контейнер C-3:
E3/T3 → C-3 → VC-3 → AU-3 → AUG → STM-1;
- 5 - вариант сборки, порожденный трибом E4 (140 Мбит/с):
E4 → C-3 → VC-3 → AU-3 → AUG → STM-1.

Сборка модулей STM-1 является одним из основных этапов в структуре мультиплексирования SDH. Для первого уровня синхронной иерархии он является последним этапом мультиплексирования, тогда как для последующих уровней необходимо рассмотреть как из модуля первого уровня собирается модуль требуемого уровня. Это рассмотрено в следующем разделе.

2.2.7. Сборка модулей STM-N

Выбор ряда скоростей STM-N иерархии SDH, то-есть дальнейшее стандартное наращивание скоростей передачи, первоначально предполагалось осуществлять по формально соответствующей схеме SONET, используя фактически скорости кратные STM-1, с коэффициентами кратности 1, 4, 8, 12, 16. Два уровня SDH иерархии STM-1 = 155.52 Мбит/с и STM-4 = 622.08 Мбит/с были зафиксированы в 1988г. в стандарте CCITT Rec. G.707 [16, версия 1988 г.] и назывались соответственно первым и четвертым уровнем иерархии SDH (хотя логично было бы называть их первым и вторым уровнем, так как промежуточных уровней между ними нет). Последующее развитие практики разработки и применения этого стандарта, показало, что коэффициенты кратности 8 и 12, имеющие скорости 1244.16 и 1866.24 Мбит/с, предложенные в [16, версия 1988 г.], не были приняты на практике, а сам ряд SDH скоростей из арифметической прогрессии, заложенной в SONET, трансформировался в геометрическую прогрессию вида 1, 4, 16, 64, 256, диктуемую желанием иметь постоянный коэффициент мультиплексирования - 4. Следуя этому ряду коэффициентов, в настоящее время эксплуатируются или разрабатываются SDH системы со скоростями, соответствующими окончательной версии **SDH иерархии**: STM-1, STM-4, STM-16, STM-64, STM-256 или 155.52, 622.08, 2488.32, 9953.28, 39813.12 Мбит/с. Три первых уровня (называемых по-старому первым, четвертым и шестнадцатым) были "де-юре" стандартизованы в последней версии ITU-T Rec. G.707 [16, версия 1993].

Мультиплексирование STM-1 в STM-N может осуществляться как **каскадно**: 4x1 → 4, 4x4 → 16, 4x16 → 64, 4x64 → 256, так и **непосредственно** по схеме N:1 → N, где N = 4, 16, 64, 256. При этом для схемы непосредственного мультиплексирования используется **чередование** байтов.

Например, если шестнадцать STM-1 каналов (0, 1, 2, ... 13, 14, 15 или в шестнадцатиричном исчислении 0, 1, 2, ... D, E, F) на входе мультиплексора STM-16 генерируют шестнадцать байт-последовательностей: **b₀b₀b₀...**, **b₁b₁b₁...**, **b₂b₂b₂...**, ..., **b_Db_Db_D...**, **b_Eb_Eb_E...**, **b_Fb_Fb_F...**, то в результате мультиплексирования на выходе STM-16 формируется байт-последовательность: **b₀b₁b₂...b_Db_Eb_Fb₀b₁b₂...**. Фактически так просто удастся мультиплексировать только тогда, когда все STM-1 имеют одинаковую структуру полезной нагрузки, если нет, то нужно, чтобы соблюдались некоторые **правила бесконфликтной взаимосвязи**. В стандарте G.708 (версия 1988г.) требовалось, чтобы все STM-1 принадлежали к одной из трех категорий:

- 1 - AU-3 (разного типа), несущие C-3 в качестве полезной нагрузки;

W	96l	X	96l	Y	96l	Y	96l	Y	96l
X	96l	Y	96l	Y	96l	Y	96l	X	96l
Y	96l	Y	96l	Y	96l	X	96l	Y	96l
Y	96l	Y	96l	X	96l	Y	96l	Z	96l

Рис.2-10. Карта субфрейма SF при асинхронном отображении триба E4 на VC-4

В результате численный вариант формирования полезной нагрузки примет вид:

$$PL = 9 \cdot 20 \cdot 13 = 9 \cdot (20 \cdot (12 \cdot 8_{VC-4_J} + 8_{VC-4_JW} + 6_{VC-4_JZ} + 13 \cdot 8_{FS_VC-4} + 5 \cdot 5_{FS_X} + 1_{FS_Z} + 5 \cdot 1_{JCB_X} + 1_{JOB_Z} + 5 \cdot 2_{ОНС_X}) / 8 = 2340 \text{ [байт]}$$

Аналогично могут быть описаны варианты сборки модуля STM-1 по схеме на рис. 2-5.

- 1 - вариант сборки, порожденный трибом T1 (1.5 Мбит/с), отображаемым на контейнер C-11:
T1 → C-11 → VC-11 → TU-11 → TUG-2 → VC-3 → AU-3 → AUG → STM-1;
- 2 - вариант сборки, порожденный трибом E1 (2 Мбит/с), отображаемым на контейнер C-12:
E1 → C-12 → VC-12 → TU-12 → TUG-2 → VC-3 → AU-3 → AUG → STM-1;
- 3 - вариант сборки, порожденный трибом T2 (6 Мбит/с), отображаемым на контейнер C-2:
T2 → C-2 → VC-2 → TU-2 → TUG-2 → VC-3 → AU-3 → AUG → STM-1;
- 4 - вариант сборки, порожденный трибами E3/T3 (34/45 Мбит/с), отображаемыми на контейнер C-3:
E3/T3 → C-3 → VC-3 → AU-3 → AUG → STM-1;
- 5 - вариант сборки, порожденный трибом E4 (140 Мбит/с):
E4 → C-3 → VC-3 → AU-3 → AUG → STM-1.

Сборка модулей STM-1 является одним из основных этапов в структуре мультиплексирования SDH. Для первого уровня синхронной иерархии он является последним этапом мультиплексирования, тогда как для последующих уровней необходимо рассмотреть как из модуля первого уровня собирается модуль требуемого уровня. Это рассмотрено в следующем разделе.

2.2.7. Сборка модулей STM-N

Выбор ряда скоростей STM-N иерархии SDH, то-есть дальнейшее стандартное наращивание скоростей передачи, первоначально предполагалось осуществлять по формально соответствующей схеме SONET, используя фактически скорости кратные STM-1, с коэффициентами кратности 1, 4, 8, 12, 16. Два уровня SDH иерархии STM-1 = 155.52 Мбит/с и STM-4 = 622.08 Мбит/с были зафиксированы в 1988г. в стандарте CCITT Rec. G.707 [16, версия 1988 г.] и назывались соответственно первым и четвертым уровнем иерархии SDH (хотя логично было бы называть их первым и вторым уровнем, так как промежуточных уровней между ними нет). Последующее развитие практики разработки и применения этого стандарта, показало, что коэффициенты кратности 8 и 12, имеющие скорости 1244.16 и 1866.24 Мбит/с, предложенные в [16, версия 1988 г.], не были приняты на практике, а сам ряд SDH скоростей из арифметической прогрессии, заложенной в SONET, трансформировался в геометрическую прогрессию вида 1, 4, 16, 64, 256, диктуемую желанием иметь постоянный коэффициент мультиплексирования - 4. Следуя этому ряду коэффициентов, в настоящее время эксплуатируются или разрабатываются SDH системы со скоростями, соответствующими окончательной версии **SDH иерархии**: STM-1, STM-4, STM-16, STM-64, STM-256 или 155.52, 622.08, 2488.32, 9953.28, 39813.12 Мбит/с. Три первых уровня (называемых по-старому первым, четвертым и шестнадцатым) были "де-юре" стандартизованы в последней версии ITU-T Rec. G.707 [16, версия 1993].

Мультиплексирование STM-1 в STM-N может осуществляться как **каскадно**: 4x1 → 4, 4x4 → 16, 4x16 → 64, 4x64 → 256, так и **непосредственно** по схеме N:1 → N, где N = 4, 16, 64, 256. При этом для схемы непосредственного мультиплексирования используется **чередование** байтов.

Например, если шестнадцать STM-1 каналов (0, 1, 2, ... 13, 14, 15 или в шестнадцатиричном исчислении 0, 1, 2, ... D, E, F) на входе мультиплексора STM-16 генерируют шестнадцать байт-последовательностей: **b₀b₀b₀...**, **b₁b₁b₁...**, **b₂b₂b₂...**, ..., **b_Db_Db_D...**, **b_Eb_Eb_E...**, **b_Fb_Fb_F...**, то в результате мультиплексирования на выходе STM-16 формируется байт-последовательность: **b₀b₁b₂...b_Db_Eb_Fb₀b₁b₂...**. Фактически так просто удастся мультиплексировать только тогда, когда все STM-1 имеют одинаковую структуру полезной нагрузки, если нет, то нужно, чтобы соблюдались некоторые **правила бесконфликтной взаимосвязи**. В стандарте G.708 (версия 1988г.) требовалось, чтобы все STM-1 принадлежали к одной из трех категорий:

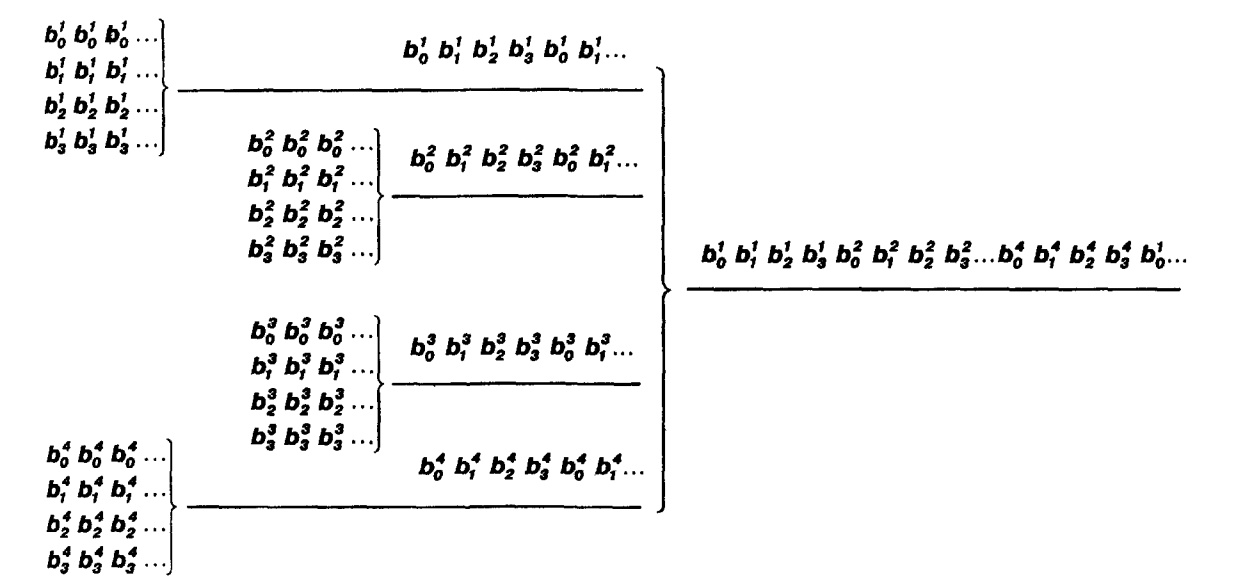
- 1 - AU-3 (разного типа), несущие C-3 в качестве полезной нагрузки;

- 2 - AU-n (разного типа), но несущие тот же тип TUG-2 в качестве полезной нагрузки;
- 3 - Различные типы TUG-2 в качестве полезной нагрузки.

В том же стандарте последней версии (1993г.) в связи с различиями схем мультиплексирования ETSI и SONET/SDH (рис. 2-4, 2-5) правила бесконфликтной взаимосвязи STM-N последовательностей еще более ужесточаются, а именно:

- при мультиплексировании последовательностей, содержащих AUG, которые базируются на разных AU-n (AU-4 или AU-3), предпочтение отдается схемам, использующим AU-4. Те же схемы, что используют AU-3 должны быть демультимплексированы до уровня TUG-2 или VC-3 (в зависимости от полезной нагрузки) и повторно мультиплексированы по схеме: TUG-3 → VC-4 → AU-4;
- при мультиплексировании последовательностей, содержащих VC-11, которые используют различные TU-n (TU-11 или TU-12), предпочтение отдается схемам, использующим TU-11.

Если при формировании модуля STM-N используется каскадное мультиплексирование, то оно осуществляется по схеме чередования групп байтов, причем число байтов в группе равно кратности мультиплексирования предыдущего каскада. Например, если формирование STM-16 происходит по двухкаскадной схеме 4xSTM-1 → STM-4, 4xSTM-4 → STM-16, то первый каскад использует мультиплексирование по байтам, а второй - по группам, состоящим из четырех байтов. Если предположить, что на вход каждого из четырех STM-4, питающих STM-16, поступают последовательности {b_jⁱ} (здесь подстрочные индексы i=0,1,2,3 - номера входов, а надстрочные индексы j=1,2,3,4 - номера мультиплексоров STM-4), то процесс формирования осуществляется следующим образом:



Ясно, что если формирование STM-64 происходит по трехкаскадной схеме 4xSTM-1 → STM-4, 4xSTM-4 → STM-16, 4xSTM-16 → STM-64, то первый каскад использует мультиплексирование по байтам, второй - по группам, состоящим из четырех байтов, а третий по группам из 16 байтов.

2.2.8. Структура фреймов STM-N

Все варианты мультиплексирования, с которыми мы ознакомились, сводились к формированию физического модуля STM-1, а затем STM-N. Рассмотрим логическую структуру модуля STM-1, представленную в виде фрейма STM-1 с его заголовками.

Структура фрейма модуля STM-1 приведена на рис.2-11. Фрейм для удобства рассмотрения обычно представляется в виде двумерной структуры (матрицы), формат которой: 9 строк на 270 од-нобайтных столбцов. Структуру можно развернуть в виде одномерной (повторяющейся с частотой выборки 8000 Гц) цифровой последовательности, или кадра, длиной 2430 байтов (9*270=2430). Такая развертка (соответствующая отображению матрицы на одномерный массив) осуществляется *постро-чно* (в соответствии со схемой мультиплексирования). Фрейм состоит из трех групп полей: поля *сек-ционных заголовков* SOH формата 3x9 и 5x9 байтов, поля *указателя AU-4* формата 1x9 байтов и поля *полезной нагрузки* формата 9x261 байтов.

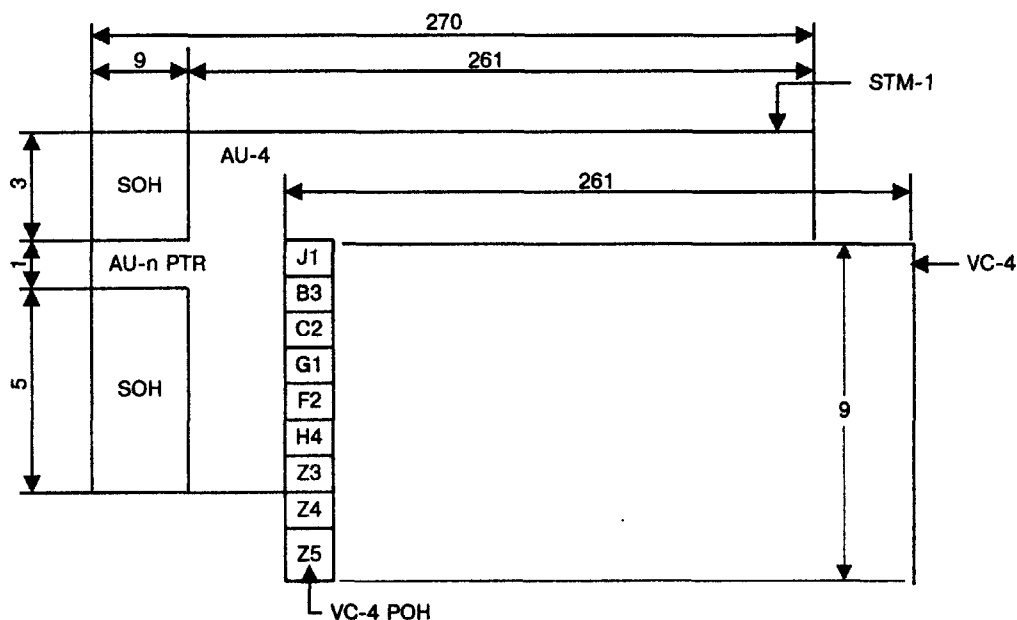


Рис.2-11. Структура фрейма STM-1 и фрагменты отображения AU-4 на STM-1

Согласно рис.2-4 и рис.2-5 существует единственная возможность фиксированного отображения группы административных блоков AUG на общее поле, составленное из поля указателя AU-n (AU-n PTR - строка размером 1x9) и поля полезной нагрузки (9x261). Для фрейма STM-1 существует две возможности отображения на то же общее поле административных блоков AU-n (а значит и виртуальных контейнеров VC-n), а именно: отображение одного AU-4 (рис. 2-11) или трех AU-3, мультиплексированных по схеме байт-интерливинга (рис.2-12). При этом строка указателей AU-n PTR содержит либо AU-4 PTR для блока AU-4, либо три AU-3 PTR для AU-3.

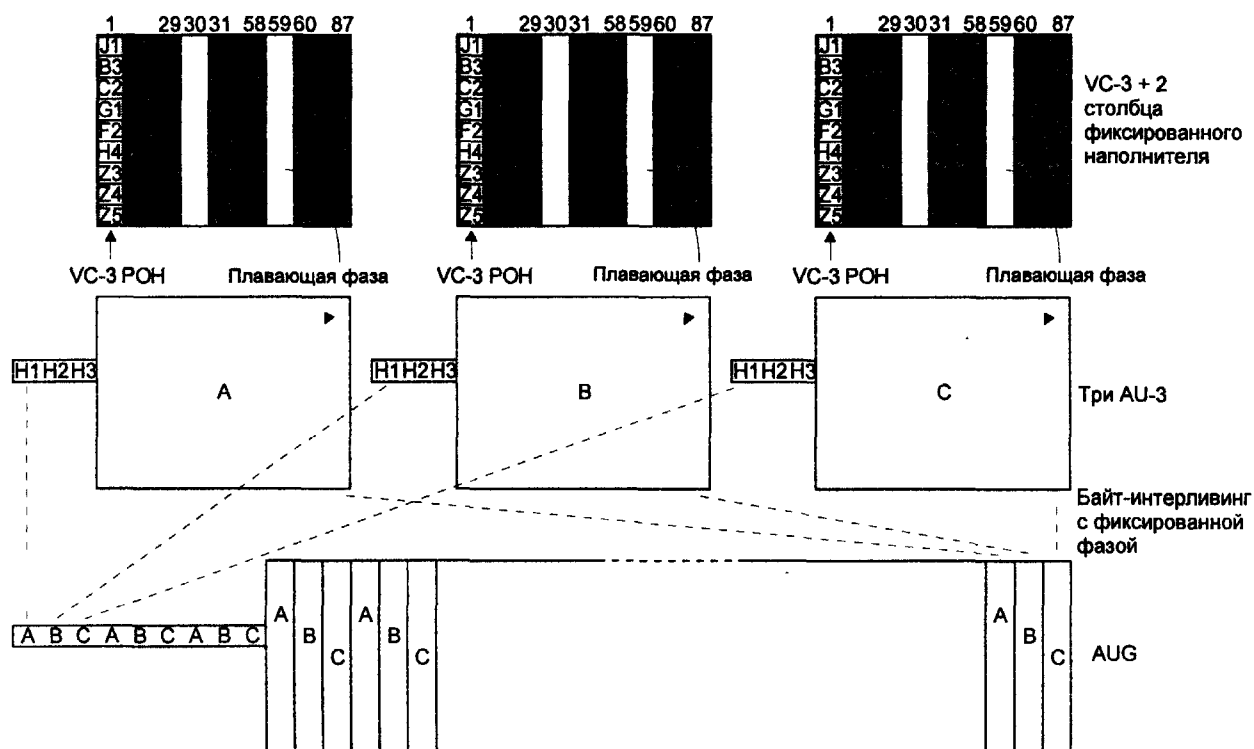


Рис.2-12. Мультиплексирование трех AU-3 при формировании STM-1

Фаза контейнеров VC-n не фиксирована, так как указатели AU-n ($n=3,4$) задают положение первых байтов контейнеров VC-n по отношению к их (указателей) фиксированным позициям, что позволяет виртуальным контейнерам VC-n "плавать" внутри AU-n и компенсировать не только разности фаз VC и SOH, но и разности скоростей составляющих их фреймов (по 3 байта зарезервированы для положительного и отрицательного выравнивания).

Блок AU-4 имеет полезную нагрузку 9х261 байтов и служит для переноса одного виртуального контейнера VC-4, имеющего свой **маршрутный заголовок** POH (левый столбец размером 9 байтов). Основное назначение POH - обеспечить **целостность связи на маршруте** от точки сборки виртуального контейнера до точки его разборки.

Первые 6 байтов заголовка имеют следующее назначение:

- байт J1 используется в рамках формируемого в национальной сети 16-байтного кадра для передачи маркера начала фрейма (байт 1) и **идентификатора точки маршрутного доступа** (байты 2-16), представленного строкой ASCII-символов в формате, соответствующем рекомендации ITU-T E.164 [139] и используемого для того, чтобы принимающий терминал получал постоянное подтверждение о связи с определенным передатчиком (в международных сетях используется 64-байтная строка, в которую и преобразуется 16-байтная "национальная" строка);
- байт B3 - **VIP-8 код**, контролирующий ошибки четности в предыдущем контейнере;
- байт C2 - **указатель типа полезной нагрузки** контейнера, например, TUG, C-3, фиксированный TU, ATM, MAN, FDDI и др. [17];
- байт G1 - **состояние маршрута**, дает информацию обратной связи от терминальной к исходной точке формирования маршрута (например, о наличии ошибок или сбоев на удаленном конце FEBE, FERF);
- F2, Z3 - **байты**, которые могут быть задействованы пользователем данного маршрута для организации **канала связи**;
- H4 - **обобщенный индикатор положения нагрузки**, используется при организации мультифреймов, например, указывает на номер фрейма VC-1,2 в мультифреймах TU-1,2;
- байт Z4 - зарезервирован для возможного развития системы;
- байт Z5 - **байт оператора сети**, зарезервирован для целей администрирования сети.

Полезной нагрузкой VC-4 может быть либо один контейнер V-4 (формата 9х260 байтов), либо три TUG-3 (формата 9х86 байтов), мультиплексированные по схеме на рис. 2-13.

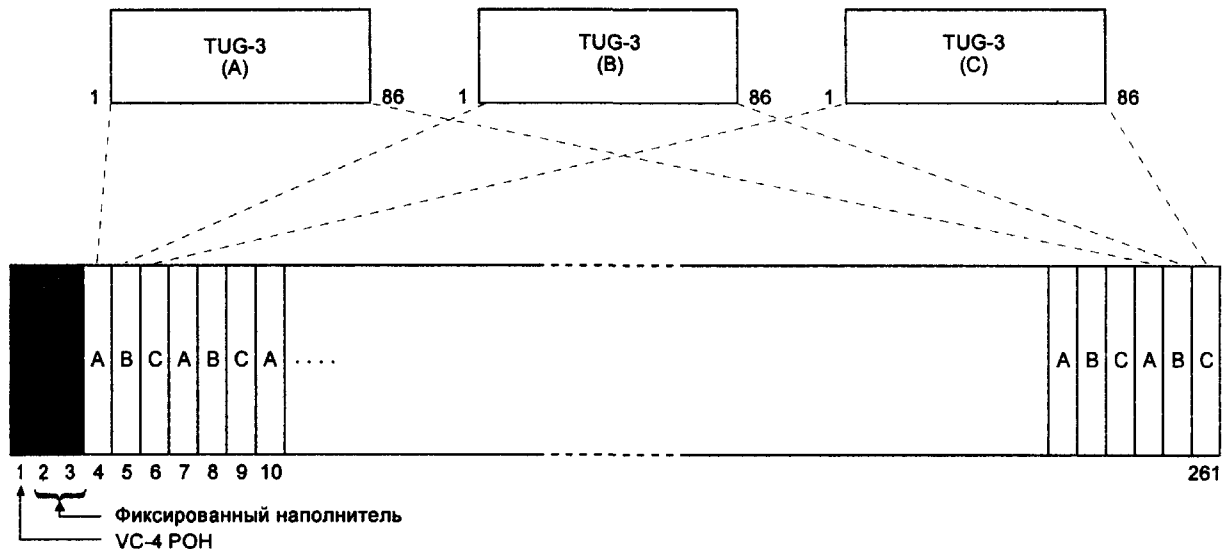


Рис.2-13. Мультиплексирование трех TUG-3 в один VC-4 при формировании STM-1

Группы TUG-3, в свою очередь, могут быть сформированы из семи групп TUG-2, как это показано на рис.2-8, либо одного виртуального контейнера VC-3, имеющего формат 9х85 байтов и точно вписывающегося в поле полезной нагрузки (рис.2-14). Структура заголовка VC-3 POH такая же, как и у VC-4 POH.

Первый столбец группы TUG-3 состоит из указателей H1, H2, H3 (по 1 байту) и фиксированного наполнителя FS (6 байтов)

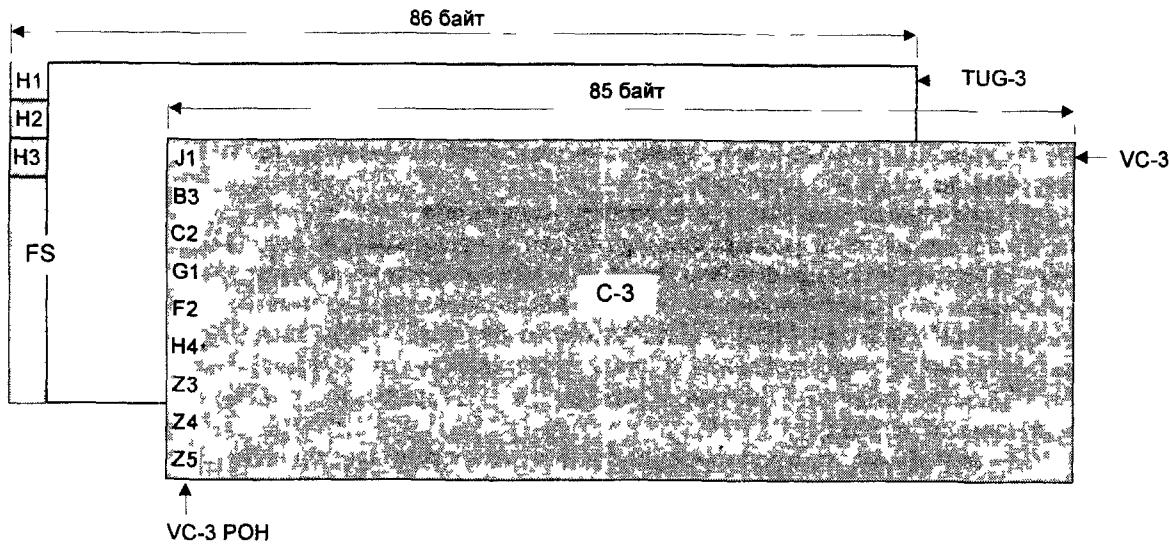


Рис.2-14. Мультиплексирование одного VC-3 в TUG-3 при формировании STM-1

Мы описали только основные структуры фреймов и варианты их мультиплексирования (вложения), более подробно см. рекомендацию G.709.

2.2.9. Структура заголовков фреймов STM-N

Заголовок SOH (рис 2-15), состоит из двух блоков: RSOH - **заголовка регенераторной секции** размером 3х9=27 байтов и MSOH - **заголовка мультиплексной секции** размером 5х9=45 байтов. Он отвечает за структуру фрейма STM-1 и его связи с мультифреймом в случае мультиплексирования нескольких модулей STM-1

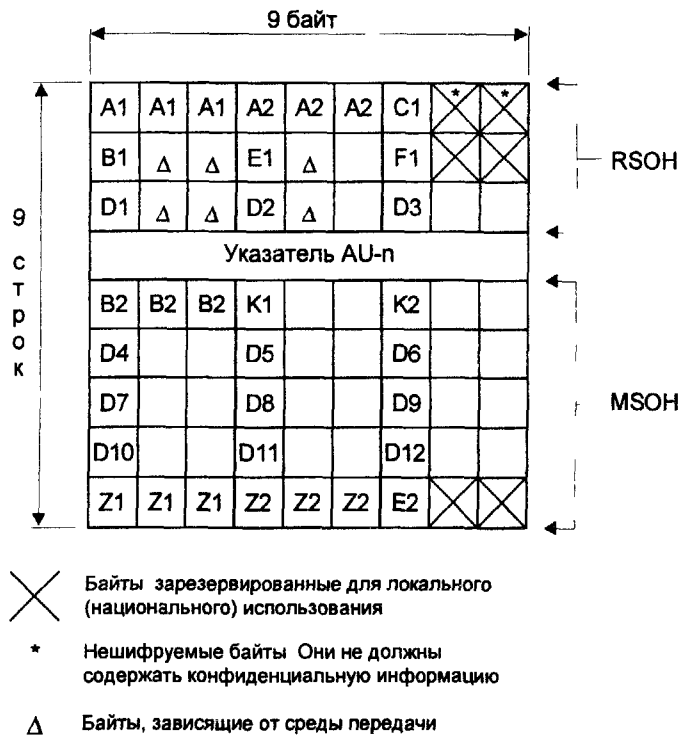


Рис.2-15. Структура заголовков SOH фрейма STM-1

На рис.2-15 используются следующие обозначения:

- байты A1, A1, A1, A2, A2, A2 являются идентификаторами наличия фрейма STM-1 в фрейме STM-N ($A1=11110110$, $A2=00101000$);
- байт В1 и три байта В2 формируют две кодовые последовательности, используемые для проверки на четность с целью обнаружения ошибок в предыдущем фрейме: В1-8 формирует 8-битную последовательность для размещения в В1 и В1Р-24 - 24-битную последовательность для размещения в трех В2;
- байт С1 определяет значение третьей координаты “с” - глубину интерливинга (см. ниже) в схеме мультиплексирования STM-N;
- байты D1-D12 формируют **служебный канал передачи данных** - DCC: D1-D3 формируют DCC канал регенераторной секции (192 кбит/с), D4-D12 - DCC канал мультиплексной секции (576 кбит/с);
- байты E1, E2 могут быть использованы для создания **служебных каналов голосовой связи**: E1 для регенераторной секции (64 кбит/с), E2 для мультиплексной секции (64 кбит/с);
- байт F1 зарезервирован для создания **канала передачи данных/голосовой связи** для нужд пользователя;
- байты K1, K2 используются для сигнализации и **управления автоматическим переключением** на исправный канал при работе в защищенном режиме - APS;
- шесть байтов Z1, Z2 являются резервными за исключением бит 5-8 байтов Z1, используемых для сообщений о статусе синхронизации (подробнее см. табл.1 [17]);
- шесть байтов, помеченных значком Δ, могут быть использованы как поля, определяемые средой передачи;
- байты, помеченные звездочками, не подвергаются (в отличие от остальных) процедуре шифрования (скремблирования) заголовка;
- все непомеченные байты зарезервированы для последующей международной стандартизации.

В отличие от заголовка SOH фрейма STM-1, байты которого могут быть определены двумя координатами: строка **a** - столбец **b**. Байты заголовка SOH фрейма STM-N, учитывая особенности мультиплексирования (прямое или каскадное), описанные выше, определяются тремя координатами (рис.2-16): **a**, **b**, **c**, где **a** ($a=1-9$) - **номер строки** (как и раньше), **b** ($b=1-9$) - **номер мультистолбца**, объединяющего несколько столбцов, **c** ($c=1,2,...,N$) - **глубина интерливинга**, т.е. номер тайм-слота при мультиплексировании.

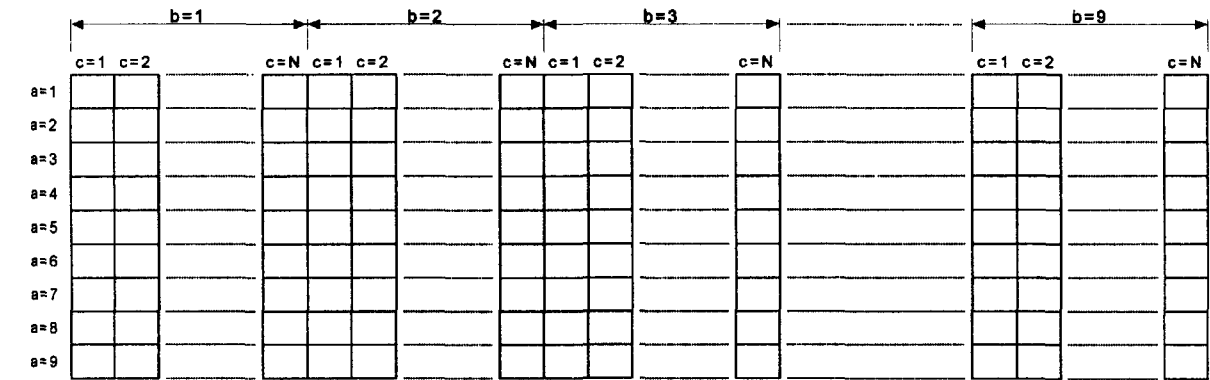
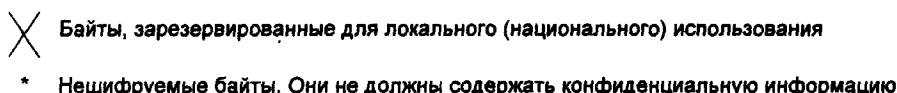


Рис.2-16. Размещение байтов заголовка SOH для фреймов STM-N

В результате мы получаем **расширенную матрицу** (рис. 2-16), новые координаты которой (**row**, **col**) могут быть вычислены по **a**, **b**, **c**: $row = a$, $col = N(b-1) + c$.

Структура заголовка SOH фрейма STM-4, полученная с соблюдением указанных правил, имеет формат 9x36 байтов и приведена на рис.2-17, а аналогичная структура SOH фрейма STM-16 имеет формат 9x144 байта и приведена на рис.2-18. Структуры заголовка SOH для других скоростей формально не стандартизованы, хотя STM-64 уже используется на практике. Она, очевидно, будет иметь формат 9x576 байтов, а внутренняя структура может быть реконструирована на основе общих правил формирования **row**, **col**, проиллюстрированных на рис.2-16.



144 байта

Указатель AU-n

RSOH

MSH

9

Байты, зарезервированные для локального (национального) использования

• Нешифруемые байты. Они не должны содержать конфиденциальную информацию

2.3.1. Функциональные задачи и модули сетей SDH

Сеть SDH, как и любая сеть, строится из отдельных функциональных модулей ограниченного набора: **мультиплексоров, коммутаторов, концентраторов, регенераторов и терминального оборудования**. Этот набор определяется основными функциональными задачами, решаемыми сетью:

- **сбор** входных потоков через каналы доступа в агрегатный блок, пригодный для транспортировки в сети SDH - **задача мультиплексирования**, решаемая **терминальными мультиплексорами** - ТМ сети доступа;
- **транспортировка** агрегатных блоков по сети с возможностью ввода/вывода входных/выходных потоков - **задача транспортирования**, решаемая **мультиплексорами ввода/вывода** - ADM, логически управляющими информационным потоком в сети, а физически - потоком в **физической среде**, формирующей в этой сети транспортный канал;
- **перегрузка** виртуальных контейнеров в соответствии со схемой маршрутизации из одного сегмента сети в другой, осуществляемая в выделенных узлах сети, - **задача коммутации**, или **кросс-коммутации**, решаемая с помощью **цифровых коммутаторов** или **кросс-коммутаторов** - DXC;
- **объединение** нескольких однотипных потоков в распределительный узел - концентратор (или хаб) - **задача концентрации**, решаемая **концентраторами**;
- **восстановление** (регенерация) формы и амплитуды сигнала, передаваемого на большие расстояния, для компенсации его затухания - **задача регенерации**, решаемая с помощью **регенераторов** - устройств, аналогичных **повторителям** в LAN;
- **сопряжение** сети пользователя с сетью SDH - **задача сопряжения**, решаемая с помощью **оконечного оборудования** - различных согласующих устройств, например, конвертеров интерфейсов, конвертеров скоростей, конвертеров импедансов и т. д. [26].

2.3.2. Мультиплексоры

Основным функциональным модулем сетей SDH является мультиплексор. Мы будем использовать этот термин как для собственно **мультиплексоров**, служащих для **сборки** (мультиплексирования) высокоскоростного потока из низкоскоростных, так и для **демультиплексоров**, служащих для **разборки** (демультиплексирования) высокоскоростного потока с целью выделения низкоскоростных потоков.

Мультиплексоры SDH в отличие от обычных мультиплексоров, используемых, например, в сетях PDH, выполняют как функции собственно мультиплексора, так и функции устройств терминального доступа, позволяя подключать низкоскоростные каналы PDH иерархии непосредственно к своим **входным портам**. Они являются более универсальными и гибкими устройствами, позволяющими решать практически все перечисленные выше задачи, т.е. кроме задачи мультиплексирования выполнять еще и задачи коммутации, концентрации и регенерации. Это оказывается возможным в силу модульной конструкции **SDH мультиплексора** - SMUX, при которой выполняемые функции определяются лишь возможностями системы управления и составом модулей, включенных в спецификацию мультиплексора. Принято, однако, выделять два основных типа SDH мультиплексора: **терминальный мультиплексор** и **мультиплексор ввода/вывода**.

Терминальный мультиплексор ТМ является мультиплексором и оконечным устройством SDH сети с каналами доступа, соответствующими трибам PDH и SDH иерархий (рис.2-19). Терминальный мультиплексор может или **вводить каналы**, т.е. коммутировать их со входа трибного интерфейса на линейный выход, или **выводить каналы**, т.е. коммутировать их с линейного входа на выход трибного интерфейса. Он может также осуществлять **локальную коммутацию** входа одного трибного интерфейса на выход другого трибного интерфейса. Как правило эта коммутация ограничена трибами 1.5 и 2 Мбит/с.

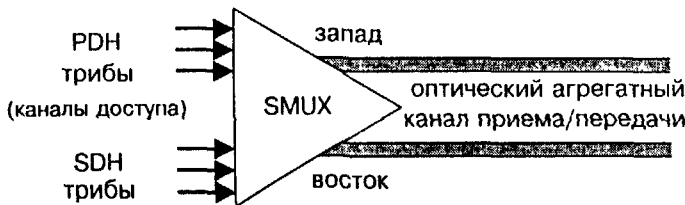


Рис.2-19. Синхронный мультиплексор (SMUX): терминальный мультиплексор (ТМ) или мультиплексор ввода/вывода (ADM)

Для мультиплексора максимального на данный момент действующего уровня SDH иерархии (STM-64), имеющего скорость выходного потока 10 Гбит/с, максимально полный набор каналов доступа может включать PDH трибы 1,5, 2, 6, 34, 45, 140 Мбит/с и SDH трибы 155, 622 и 2500 Мбит/с, соответствующие STM-1,4,16 [27]. Если PDH трибы являются "электрическими", т.е. использующими электрический сигнал для передачи данных, то SDH трибы могут быть как электрическими (STM-1), так и оптическими (STM-1,4,16). Для мультиплексоров SDH уровня STM-16 из этого набора исключается триб 2500 Мбит/с, для уровня STM-4 из него исключается триб 622 Мбит/с, и, наконец, для первого уровня - триб 155 Мбит/с. Ясно, что конкретный мультиплексор может и не иметь полного набора трибов для использования в качестве каналов доступа. Это определяется не только пожеланиями заказчика, но и возможностями фирмы-изготовителя.

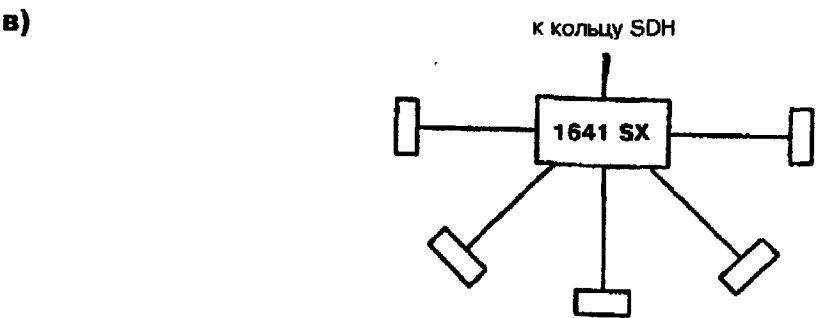
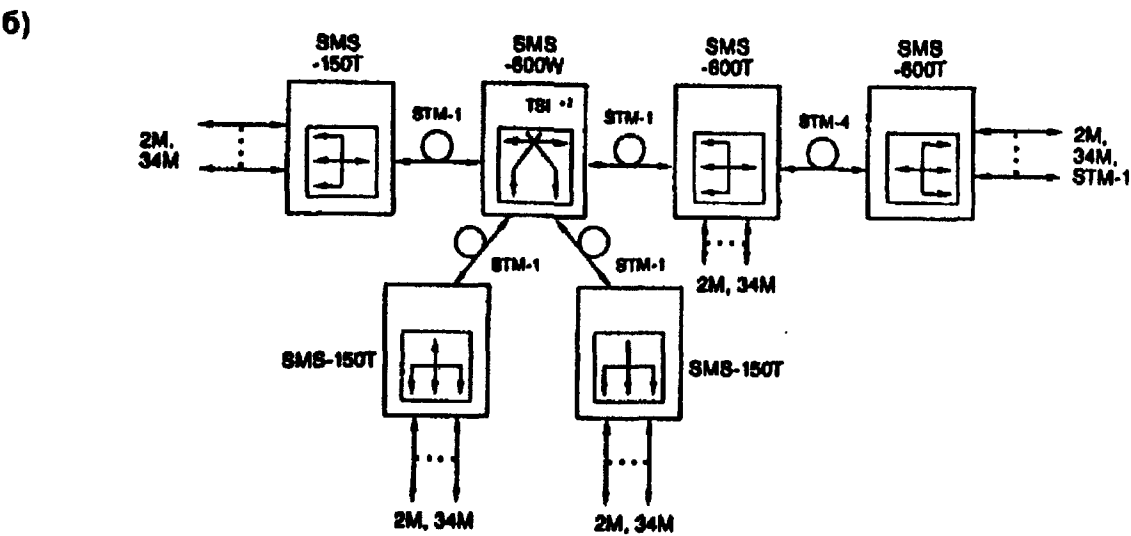
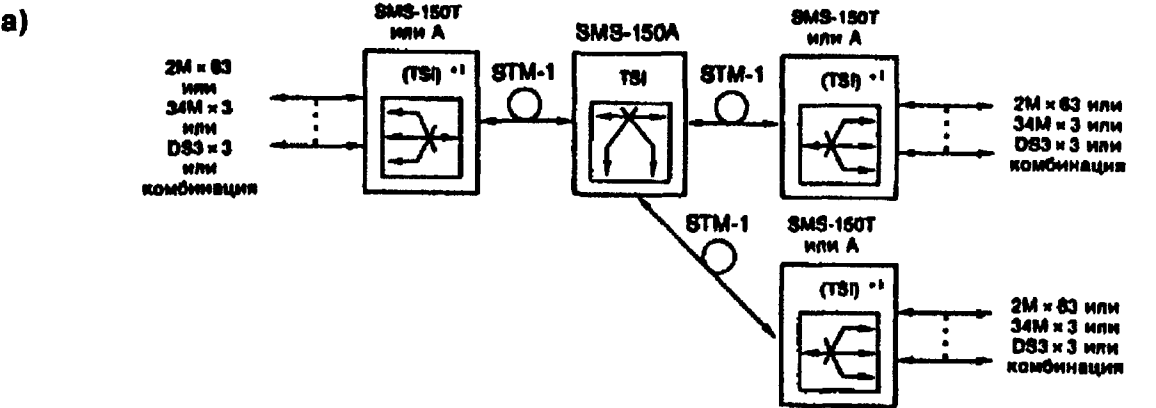
Другой важной особенностью SDH мультиплексора является наличие двух оптических линейных выходов (каналов приема/передачи), называемых **агрегатными выходами** и используемых для создания режима стопроцентного резервирования, или защиты по схеме 1+1 с целью повышения надежности [22]. Эти выходы (в зависимости от топологии сети) могут называться **основными** и **резервными** (линейная топология, см. ниже рис.2-25) или **восточными** и **западными** (кольцевая топология, см. ниже рис.2-29). Нужно заметить, что термины "восточный" и "западный", применительно к сетям SDH, используются достаточно широко для указания на два прямо противоположных пути распространения сигнала в кольцевой топологии: один - по кольцу влево - "западный", другой - по кольцу вправо - "восточный". Они не обязательно являются синонимами терминов "основной" и "резервный" (см. например, рис.2-37, где резервные блоки затенены). Если резервирование не используется (так называемый незащищенный режим), достаточно только одного выхода (одного канала приема/передачи). Резервирование 1+1 в сетях SDH является их внутренней особенностью и не имеет ничего общего с так называемым **внешним резервированием**, когда используется альтернативный (резервный) путь от одного узла сети к другому, как это делается в так называемой **ячейстой сети SDH**, работающей в незащищенном режиме.

Мультиплексор ввода/вывода ADM может иметь на входе тот же набор трибов, что и терминальный мультиплексор (рис.2-19). Он позволяет вводить/выводить соответствующие им каналы. Дополнительно к возможностям коммутации, обеспечиваемым TM, ADM позволяет осуществлять сквозную коммутацию выходных потоков в обоих направлениях (например, на уровне контейнеров VC-4 в потоках, поступающих с линейных или агрегатных выходов, т.е. оптических каналов приема/передачи), а также осуществлять замыкание канала приема на канал передачи на обеих сторонах ("восточной" и "западной") в случае выхода из строя одного из направлений. Наконец, он позволяет (в случае аварийного выхода из строя мультиплексора) пропускать основной оптический поток мимо него в обходном режиме. Все это дает возможность использовать ADM в топологиях типа кольца.

2.3.3. Концентраторы

Концентратор (иногда называемый по-старому - хаб, так как используется в топологических схемах типа "звезда"), представляет собой мультиплексор, объединяющий несколько, как правило однотипных (со стороны входных портов) потоков, поступающих от удаленных узлов сети в один **распределительный узел** сети SDH, не обязательно также удаленный, но связанный с основной транспортной сетью (рис.2-20).

Этот узел может также иметь не два, а три, четыре или больше линейных портов типа STM-N или STM-N-1 (рис.2-20а,б,в) и позволяет организовать **ответвление** от основного потока или кольца (рис.2-20а), или, наоборот, подключение двух внешних ветвей к основному потоку или кольцу (рис.2-20б) или, наконец, подключение нескольких узлов ячейстой сети к кольцу SDH (рис.2-20в). В общем случае он позволяет уменьшить общее число каналов, подключенных непосредственно к основной транспортной сети SDH. Мультиплексор распределительного узла в порте ответвления позволяет локально коммутировать подключенные к нему каналы, давая возможность удаленным узлам обмениваться через него между собой, не загружая трафик основной транспортной сети.



Использование мультиплексора Alcatel 1641 SX в топологии "звезда"

Рис.2-20. Синхронный мультиплексор (SMUX) в режиме концентратора

2.3.4. Регенераторы

Регенератор представляет собой вырожденный случай мультиплексора, имеющего один входной канал - как правило, оптический триб STM-N и один или два (при использовании схемы защиты 1+1) агрегатных выхода (рис.2-21).

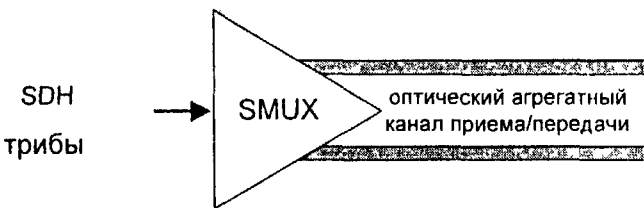


Рис.2-21. Мультиплексор в режиме регенератора

Он используется для увеличения допустимого расстояния между узлами сети SDH путем регенерации сигналов полезной нагрузки. Обычно это расстояние (учитывая практику использования одномодовых волоконно-оптических кабелей) составляет 15-40 км для длины волны порядка 1300 нм или 40-80 км - для 1500 нм, хотя при использовании оптических усилителей оно может достигать 100-150 км. Более точно это расстояние определяется отношением допустимых для секции регенератора суммарных потерь к затуханию на 1 км длины кабеля (см. более подробно в п.2.6.3. и п.4.1.1).

2.3.5. Коммутаторы

Подавляющее большинство современных мультиплексоров ввода/вывода строятся по модульному принципу. Среди этих модулей центральное место занимает **кросс-коммутатор** или просто **коммутатор** - DXC. В синхронной сети он позволяет установить связи между различными каналами, ассоциированными с определенными пользователями сети, путем организации полупостоянной (временной) перекрестной связи, или **кросс-коммутации**, между ними. Возможность такой связи позволяет осуществить **маршрутизацию** в сети SDH на уровне виртуальных контейнеров VC-n (см. например, рис. 2-2, 2-3), управляемую сетевым менеджером (управляющей системой) в соответствии с заданной конфигурацией сети.

Физически возможности внутренней коммутации каналов заложены в самом мультиплексоре SDH, что позволяет говорить о мультиплексоре как о **внутреннем** или **локальном коммутаторе**. На рис. 2-22, например, менеджер полезной нагрузки может динамически изменять логическое соответствие между трибным блоком TU и каналом доступа (трибным интерфейсом), что равносильно **внутренней коммутации** каналов. Кроме этого, мультиплексор, как правило, имеет возможность коммутировать собственные каналы доступа, (рис.2-23), что равносильно **локальной коммутации** каналов (как отмечалось у ТМ и ADM выше). На мультиплексоры, например, можно возложить задачи локальной коммутации на уровне однотипных каналов доступа, т.е. задачи, решаемые концентраторами (рис. 2-23).

Все это говорит о возможности распределенного управления процессом коммутации в узлах сети SDH. Однако эти возможности в большинстве своем ограничены как по числу коммутируемых каналов, так и по типу виртуальных контейнеров VC, доступных для коммутации. Поэтому в общем случае приходится использовать **специально разработанные синхронные коммутаторы** - SDXC, осуществляющие не только локальную, но и общую или **проходную** (сквозную) **коммутацию** высокоскоростных потоков (34 Мбит/с и выше) и синхронных транспортных модулей STM-N (рис.2-24). Важной особенностью таких коммутаторов является **отсутствие блокировки** других каналов при коммутации, когда коммутация одних групп TU не накладывает ограничений на процесс обработки других групп TU. Такая коммутация называется **неблокирующей**.

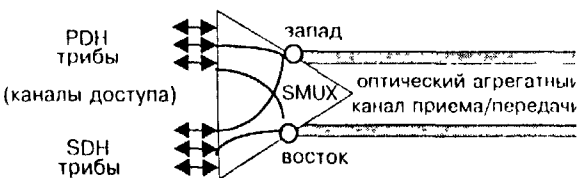


Рис.2-22. Мультиплексор ввода/вывода в режиме внутреннего коммутатора

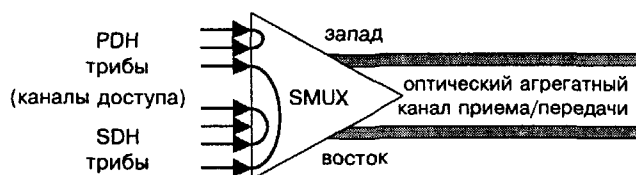


Рис.2-23. Мультиплексор ввода/вывода в режиме локального коммутатора

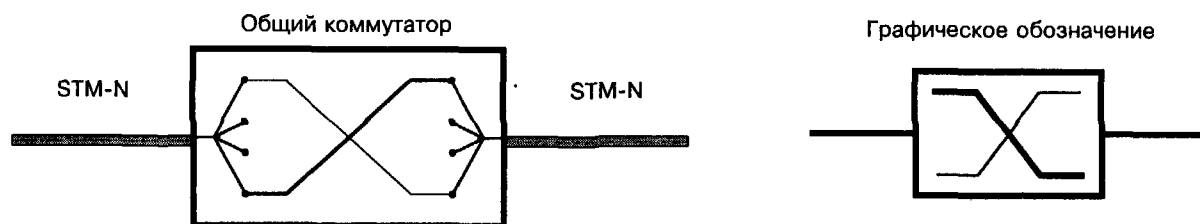


Рис.2-24. Общий или проходной коммутатор высокоскоростных каналов

Существуют несколько типов коммутаторов SDXC в зависимости от того, какие виртуальные контейнеры они могут коммутировать. Их обозначение в общем случае имеет вид SDXC n/m , где n означает номер виртуального контейнера, который коммутатор может принять на вход, а m - номер максимально возможного уровня виртуального контейнера, который он способен коммутировать. Иногда вместо номера виртуального контейнера m указывают набор коммутируемых виртуальных контейнеров, например, $m/p/q$. Так например, для уровня STM-1 могут быть указаны следующие типы коммутаторов:

- SDXC 4/4 - коммутатор, позволяющий принимать и обрабатывать VC-4, или потоки 140 и 155 Мбит/с;
- SDXC 4/3/2/1 - коммутатор, позволяющий принимать VC-4, или потоки 140 и 155 Мбит/с, и обрабатывать VC-3, VC-2 и VC-1, или потоки 34 или 45, 6 и 1.5 или 2 Мбит/с;
- SDXC 4/3/1 - коммутатор, позволяющий принимать VC-4, или потоки 140 и 155 Мбит/с, и обрабатывать VC-3 и VC-1, или потоки 34 или 45 и 1.5 или 2 Мбит/с;
- SDXC 4/1 - коммутатор, позволяющий принимать VC-4, или потоки 140 и 155 Мбит/с, и обрабатывать VC-1, или потоки 1.5 или 2 Мбит/с.

Коммутатор выполняет ряд специфических функций в зависимости от режима работы и состава оборудования, с которым он работает.

2.3.6. Функции, выполняемые коммутатором

Можно выделить шесть различных функций, выполняемых коммутатором. Они иллюстрируются рис.2-25:

- **маршрутизация** (routing) виртуальных контейнеров VC, проводимая на основе использования информации в маршрутном заголовке POH соответствующего контейнера;
- **консолидация или объединение** (consolidation/hubbing) виртуальных контейнеров VC, проводимая в режиме работы концентратора/хаба;
- **трансляция** (translation) потока от точки к нескольким точкам, или к **мультиточке**, (point-to-multipoint), осуществляемая при использовании режима связи "точка-мультиточка";
- **сортировка или перегруппировка** (grooming) виртуальных контейнеров VC, осуществляемая с целью создания нескольких упорядоченных, например, по типу контейнеров, потоков VC из общего потока VC, поступающего на коммутатор;
- **доступ** к виртуальному контейнеру VC (test access), осуществляемый при тестировании оборудования;
- **ввод/вывод** (drop/insert) виртуальных контейнеров, осуществляемый при работе мультиплексора ввода/вывода.

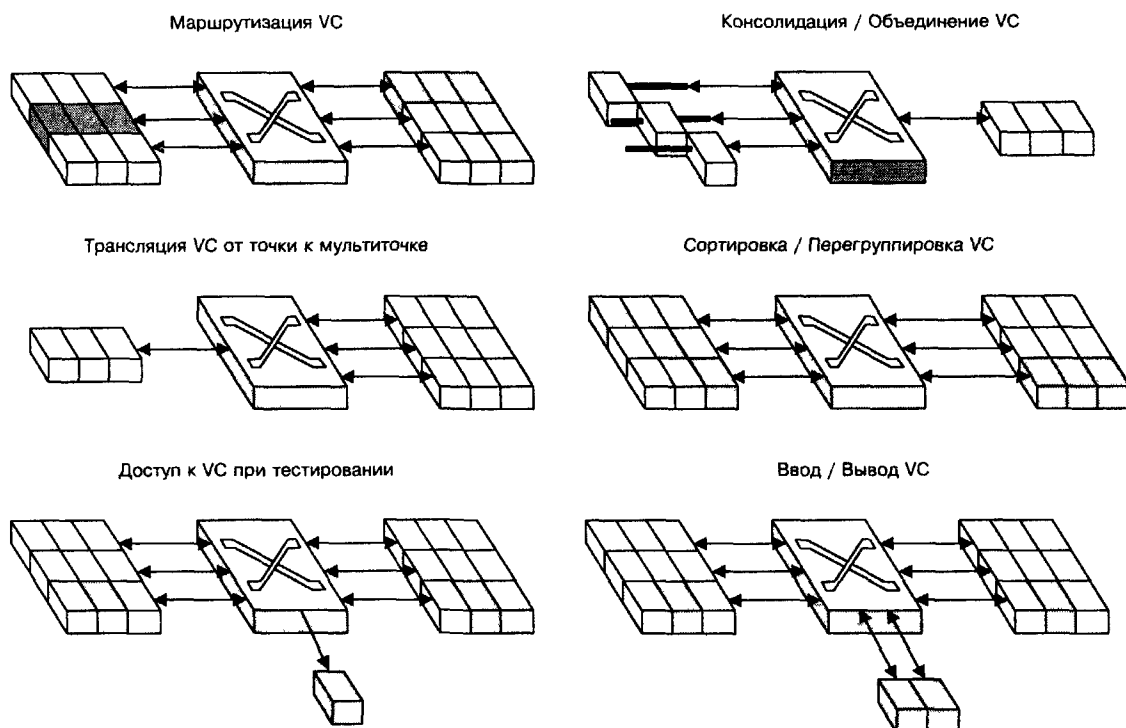


Рис.2-25. Схемы реализации функций, выполняемых коммутатором

Штриховкой указаны блоки, участвующие в данной схеме реализации конкретной функции.

2.3.7. Методы кросс-коммутации и взаимодействие сетей SDH

Как было указано выше кросс-коммутатор может осуществлять три типа коммутации: **внутреннюю, локальную и проходную**. Рассмотрим кратко как это осуществляется.

Коммутатор может рассматриваться как некоторая внутренняя многопортовая сеть, связывающая три типа портов: **линейные порты ввода/вывода (in)**, **линейные порты вывода/ввода (out)** и **трибные порты ввода/вывода (trib)**. Ядром такого коммутатора является неблокируемая, полностью доступная (в общем случае с трех сторон - **in**, **out**, **trib**) **матрица** размера $n \times n$ (рис.2-26). Матрица управляется микроконтроллером и обеспечивает в общем случае коммутацию сигналов следующих уровней: TU-1 (1.5 или 2 Мбит/с), TU-2 (6 Мбит/с), TU-3 (34 или 45 Мбит/с) и AU-4 (140 Мбит/с). При этом возможна организация как **однаправленных**, так и **двухнаправленных** соединений типа: **in-out**, **out-in**, **in-trib**, **trib-in**, **trib-out**, **out-trib**, **trib-trib**.

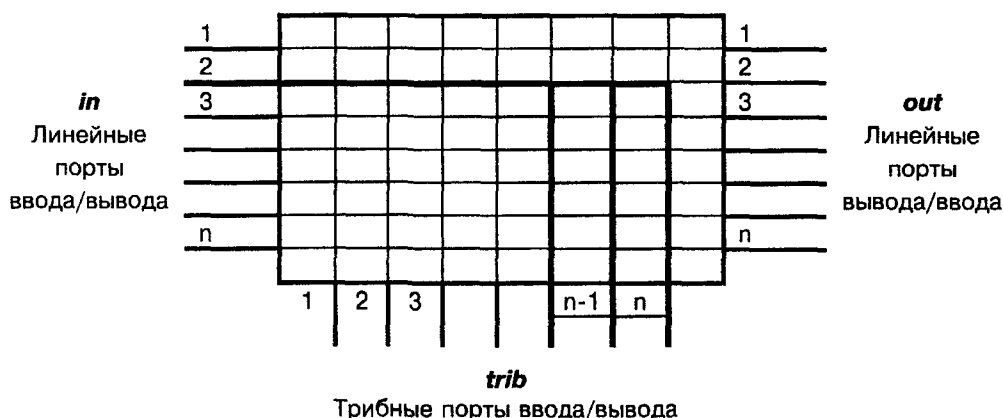


Рис.2-26. Схема матричного кросс-коммутатора

Первые два типа (in-out, out-in) относятся к классу проходных соединений, следующие четыре (in-trib, trib-in, trib-out, out-trib) - к классу внутренних и последнее (trib-trib) - к классу локальных. Как правило, допускаются соединения типа "точка-точка" - отображение одного входа/выхода на один выход/вход; "точка-мультиточка" - отображение одного входа на несколько выходов (называемое ино-

гда **мультикастинг**), например, входа 2 на трибные выходы n-2, n-1, n; “точка - все точки” (отображение, называемое иногда **бродкастинг** или **вещание**).

Емкость кросс-коммутаторов может быть достаточно большой до 4096 x 4096 (или 4032 x 4032) соединений. Например, коммутатор компании Siemens, входящий в состав мультиплексоров SM-1/4, имеет емкость 1008x1008 неблокируемых соединений [53].

Мультиплексоры, имеющие такие мощные коммутаторы, дают возможность осуществлять два типа взаимодействия в сети SDH. Во-первых, осуществить связь двух колец SDH с перегрузкой трафика с одного кольца на другое. Причем, два кольца могут быть связаны как с помощью одного, так и двух мультиплексоров. Во-вторых, мультиплексор, рассматриваемый как автономный узел сети, может осуществлять функции концентратора с перегрузкой потоков на три (трехлучевая звезда) или на четыре (четырёхлучевая звезда) направления. Это позволяет использовать их в сетях с ячеистой структурой, характерной для телефонных сетей общего пользования, где кольцевые схемы иногда менее эффективны ввиду большого различия потоков в сегментах замкнутого маршрута, называемого “технологическим кольцом”, чтобы отличать его от топологического кольца SDH, где число потоков во всех сегментах одинаково. Для осуществления таких типов соединений можно использовать блоки коммутаторов, вставляемые в стойку центрального узла (в топологии “звезда”). Для мультиплексоров уровня STM-4 это могут быть, например, 2 дополнительных коммутатора уровня STM-1, способных коммутировать порядка 126-252 первичных цифровых каналов по 2 Мбит/с каждый, как показано на рис.2-20б [54].

Другим важным примером применения кросс-коммутаторов является организация связи не только различных сегментов сети SDH, но и связи в единую сеть сегментов сетей, различных по технологии, например сетей PDH, SONET и SDH. Характерным примером таких коммутаторов (класса SDXC 4/3/1), выпускаемых, как правило, в виде отдельных устройств, являются T::DAX компании ECI и 1641SX компании Alcatel [55,56].

Коммутатор T::DAX поддерживает европейские стандарты PDH и SDH и американские стандарты Async и SONET и позволяет осуществлять форматные преобразования PDH, SDH и SONET фреймов, обрабатывая следующий набор трибов PDH, SDH и SONET: 1.5 или 2 Мбит/с, 34 или 45 Мбит/с; STM-1; STS-1,3; OC-3. Его эквивалентная коммутирующая емкость: основная - 1792x2 Мбит/с, расширенная - 3584x2 Мбит/с [55]. Вариант его использования приведен ниже на рис.2-39.

Коммутатор 1641SX также поддерживает стандарты трех основных технологий PDH, SDH и SONET и позволяет локально или дистанционно обрабатывать потоки с суммарным эквивалентом STM-1 портов: 48, 112 или 192 с квадратной матрицей коммутации или с эквивалентом STM-1 портов: 224 или 560 со специальной матрицей. В конфигурации с эквивалентом 48 STM-1 портов он позволяет, например, коммутировать: 448 каналов 2 Мбит/с, 24 канала 34 Мбит/с и по 16 каналов 140 Мбит/с и STM-1 [56]. Коммутатор может широко использоваться в различных топологиях типа “звезда” (рис.2-27), либо как шлюз между сетями PDH и SDH (рис.2-27а) или между сетями SDH и SONET (рис.2-27б), либо вместо мультиплексоров более высокого уровня (рис.2-27в), либо как многопортовый концентратор для связи с узловыми мультиплексорами ячеистой сети (рис.2-27г).

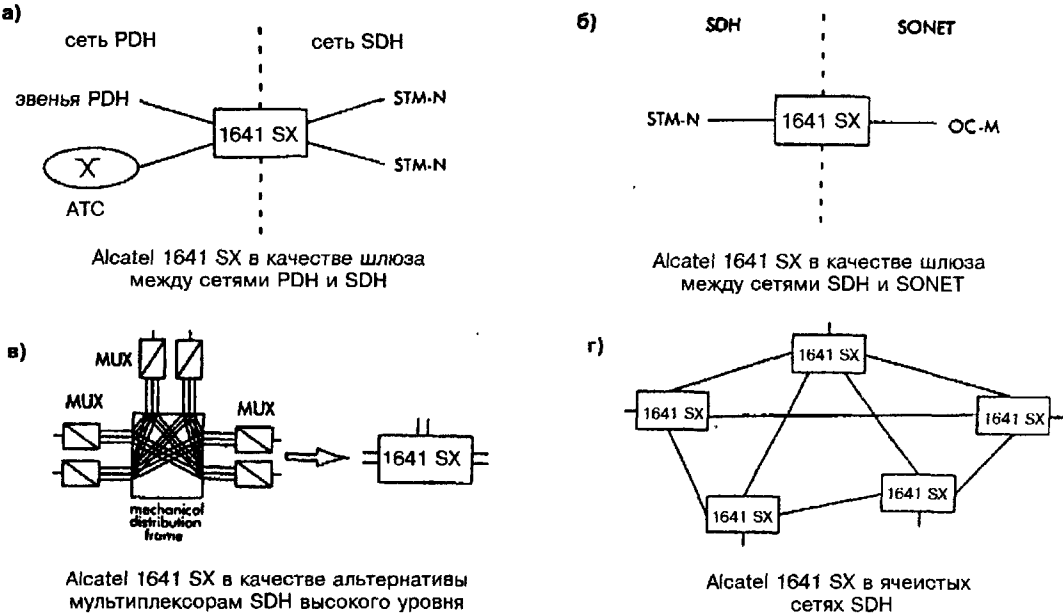


Рис.2-27. Схемы использования коммутатора Alcatel 1641SX

Используя описанные выше функциональные элементы SDH, можно построить различные сети SDH, отличающиеся топологией, выбираемой в соответствии с целями и задачами, которые требуется решить.

2.4. ТОПОЛОГИЯ СЕТЕЙ SDH

Рассмотрим топологию сетей SDH и особенности ее выбора. Для того, чтобы спроектировать сеть в целом нужно пройти несколько этапов, на каждом из которых решается та или иная функциональная задача, поставленная в ТЗ на стадии проектирования. Это могут быть задачи выбора топологии сети, выбора оборудования узлов сети в соответствии с указанной топологией, формирование сетей управления и синхронизации. Первой из них является задача выбора топологии сети. Эта задача может быть решена достаточно легко, если знать возможный набор **базовых стандартных топологий**, из которых может быть составлена топология сети в целом. Ниже рассмотрены такие базовые топологии и их особенности.

2.4.1. Топология “точка-точка”

Сегмент сети, связывающий два узла А и В, или топология “точка-точка”, является наиболее простым примером базовой топологии SDH сети (рис.2-28). Она может быть реализована с помощью терминальных мультиплексоров ТМ, как по схеме без резервирования канала приема/передачи, так и по схеме со стопроцентным резервированием типа 1+1, использующей основной и резервный электрические или оптические **агрегатные выходы** (каналы приема/передачи). При выходе из строя основного канала сеть в считанные десятки миллисекунд автоматически переходит на резервный.

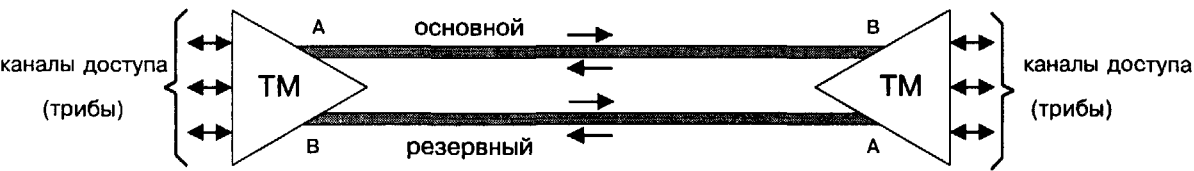


Рис.2-28. Топология “точка - точка”, реализованная с использованием ТМ

Несмотря на свою простоту, именно эта базовая топология наиболее широко используется при передаче больших потоков данных по высокоскоростным магистральным каналам, например, по транс-океанским подводным кабелям, обслуживающим цифровой телефонный трафик. Эту же топологию используют для отладки сети при переходе к новой более высокой скорости в иерархии SDH, например, с 622 Мбит/с (STM-4) на 2.5 Гбит/с (STM-16) или с 2.5 (STM-16) на 10 Гбит/с (STM-64). Она же используется как составная часть радиально-кольцевой топологии (используется в качестве радиусов) и является основой для топологии “последовательная линейная цепь”. С другой стороны, топологию “точка-точка” с резервированием можно рассматривать как вырожденный вариант топологии “кольцо” (см. ниже).

2.4.2. Топология “последовательная линейная цепь”

Эта базовая топология используется тогда, когда интенсивность трафика в сети не так велика и существует необходимость ответвлений в ряде точек на линии, где могут вводиться и выводиться каналы доступа. Она реализуется с использованием как терминальных мультиплексоров на обоих концах цепи, так и мультиплексоров ввода/вывода в точках ответвлений. Эта топология напоминает последовательную линейную цепь, где каждый мультиплексор ввода/вывода является отдельным ее звеном. Она может быть представлена либо в виде простой последовательной линейной цепи без резервирования, как на рис.2-29, либо более сложной цепью с резервированием типа 1 + 1, как на рис. 2-30. Последний вариант топологии часто называют **уплотненным кольцом** [48].

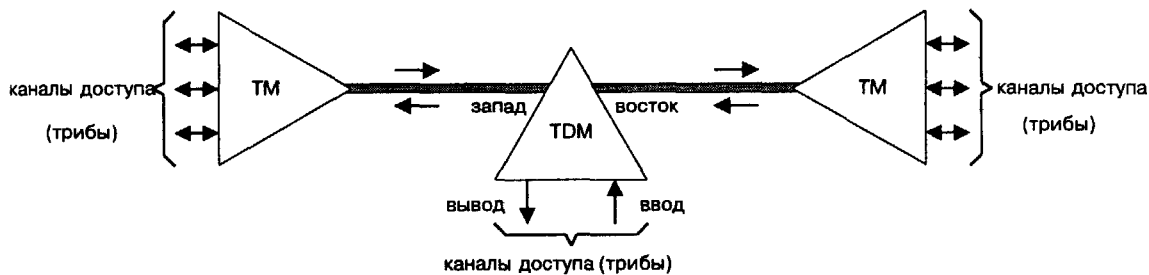


Рис.2-29. Топология “последовательная линейная цепь”, реализованная на TM и TDM

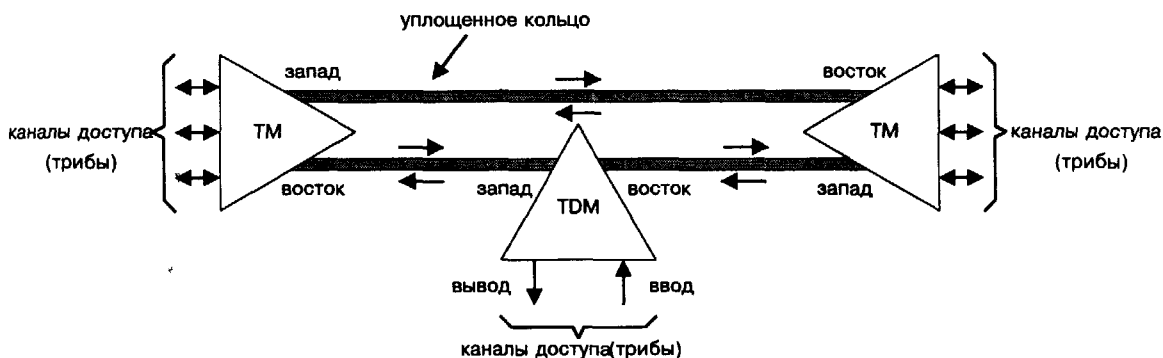


Рис.2-30. Топология “последовательная линейная цепь” типа “уплощенное кольцо” с защитой 1+1

2.4.3. Топология “звезда”, реализующая функцию концентратора

В этой топологии один из удаленных узлов сети, связанный с центром коммутации (например, цифровой АТС) или узлом сети SDH на центральном кольце, играет роль концентратора, или хаба, где часть трафика может быть выведена на терминалы пользователей, тогда как оставшаяся его часть может быть распределена по другим удаленным узлам (рис.2-31). Ясно, что этот концентратор должен быть активным и интеллектуальным (в терминологии локальных сетей), т.е. быть мультиплексором ввода/вывода с развитыми возможностями кросс-коммутации (как описано выше). Иногда такую схему называют оптическим концентратором (хабом), если на его входы подаются частично заполненные потоки уровня STM-N (или потоки уровня на ступень ниже), а его выход соответствует STM-N. Фактически эта топология напоминает топологию “звезда”, где в качестве центрального узла используется мультиплексор SDH.

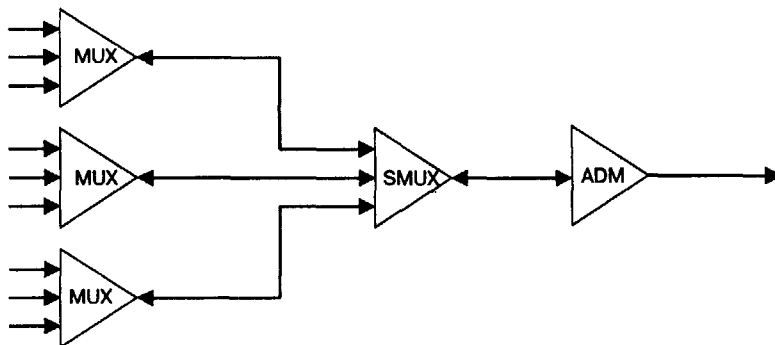


Рис.2-31. Топология “звезда” с мультиплексором в качестве концентратора

2.4.4. Топология “кольцо”

Эта топология, см. рис.2-32, широко используется для построения SDH сетей первых двух уровней SDH иерархии (155 и 622 Мбит/с). Основное преимущество этой топологии - легкость организации защиты типа 1+1, благодаря наличию в синхронных мультиплексорах SMUX двух пар (основной и резервной) оптических агрегатных выходов (каналов приема/передачи): **восток - запад**, дающих возможность формирования **двойного кольца** со встречными потоками (показаны стрелками на рис.2-32).

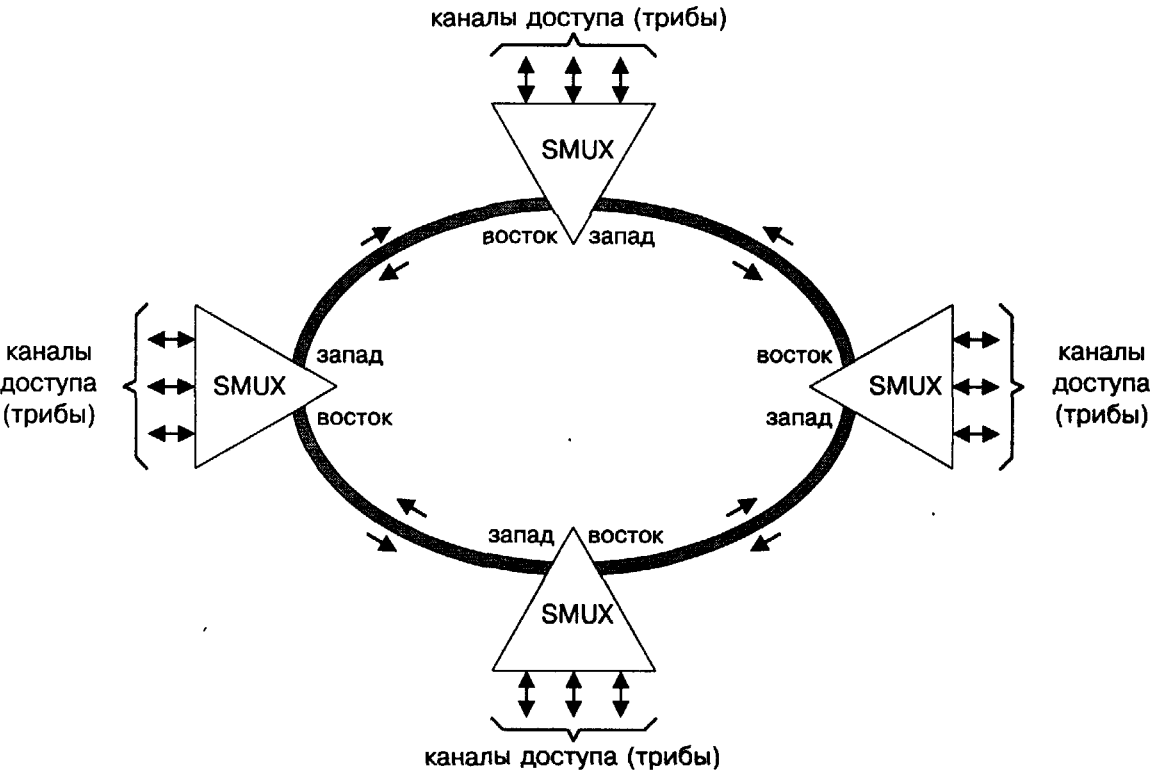


Рис.2-32. Топология “кольцо” с защитой 1+1 на уровне трибных блоков TU-n

Кольцевая топология обладает рядом интересных свойств, позволяющих сети самовосстанавливаться, т.е. быть защищенной от некоторых достаточно характерных типов отказов. Поэтому есть смысл остановиться на них подробно в следующем разделе.

2.5. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ СИНХРОННЫХ ПОТОКОВ

Одним из основных преимуществ технологии SDH является возможность такой организации сети, при которой достигается не только высокая надежность ее функционирования, обусловленная использованием ВОК, но и возможность сохранения или восстановления (за очень короткое время в десятки миллисекунд) работоспособности сети даже в случае отказа одного из ее элементов или среды передачи - кабеля. Такие сети и системы логично назвать существующим в нашей литературе по системному анализу термином **самовосстанавливающиеся**. Заметим, что применительно к сетям SDH иногда используется термин “самозалечивающиеся” [11].

В принципе существуют различные методы обеспечения быстрого восстановления работоспособности синхронных сетей [51,52], которые могут быть сведены к следующим схемам:

- 1 - резервирование участков сети по схемам 1+1 и 1:1 (см. объяснение ниже) по разнесенным трассам;
- 2 - организация самовосстанавливающихся кольцевых сетей, резервированных по схемам 1+1 и 1:1;
- 3 - резервирование терминального оборудования по схемам 1:1 и N:1;

- 4 - восстановление работоспособности сети путем обхода неработоспособного узла;
- 5 - использование систем оперативного переключения.

Указанные методы могут использоваться как отдельно, так и в комбинации.

В первом случае участки между двумя узлами сети соединяются по двум разнесенным трассам (сто процентное резервирование), сигналы по которым распространяются одновременно. В узле приема они могут обрабатываться по двум схемам:

- **резервирование по схеме 1+1** - сигналы анализируются и выбирается тот, который имеет наилучшее соотношение параметров;
- **резервирование по схеме 1:1** - альтернативным маршрутам назначаются приоритеты - низкий и высокий, ветвь с низким приоритетом находится в режиме горячего резерва, переключение на нее происходит по аварийному сигналу от системы управления.

Это общие методы восстановления работоспособности, применимые для любых сетей (см. ниже, 2.7.3, пример с ячеистой сетью).

Во втором случае, наиболее распространенном в сетях SDH, используется топология типа "кольцо", которое может быть организовано с помощью двух волокон (топология "сдвоенное кольцо") или четырех волокон (два сдвоенных кольца). Несмотря на более высокую стоимость четырехволоконного варианта он стал использоваться в последнее время, так как обеспечивает более высокую надежность. Например, такую схему защиты позволяет реализовать мультиплексор 1664 SM/C компании Alcatel и мультиплексоры других фирм.

Защита маршрута в сдвоенном кольце, которая соответствует типу 1+1, может быть организована двумя путями [51].

Первый путь - защита используется обычно на уровне трибных блоков TU-n, передаваемых одновременно **в одном направлении** (например, по часовой стрелке) но по разным кольцам. Если в момент приема мультиплексором блока, посланного другими мультиплексорами, происходит сбой в одном из колец, система управления, осуществляющая постоянный мониторинг колец, автоматически выбирает такой же блок из другого кольца. Эта защита носит **распределенный** по кольцу характер, а сам метод носит название **метода организации однонаправленного сдвоенного кольца**.

Второй путь - защита маршрута может быть организована так, что сигнал передается в двух противоположных направлениях (восточном и западном), причем одно направление используется как **основное**, второе - как **резервное**. Такой метод в случае сбоя использует переключение с основного кольца на резервное и называется **методом организации двунаправленного сдвоенного кольца**. В этом случае блоки TU-n исходно имеют доступ только к основному кольцу. В случае сбоя происходит замыкание основного и резервного колец на границах дефектного участка (рис.2-33а), образующее новое кольцо. Это замыкание происходит обычно за счет включения петли обратной связи, замыкающей приемник и передатчик агрегатного блока на соответствующей стороне мультиплексора (восточной или западной). Современные схемы управления мультиплексорами обычно поддерживают оба эти метода защиты. Треугольники на рис.2-33-2-36 и последующих обозначают мультиплексоры.

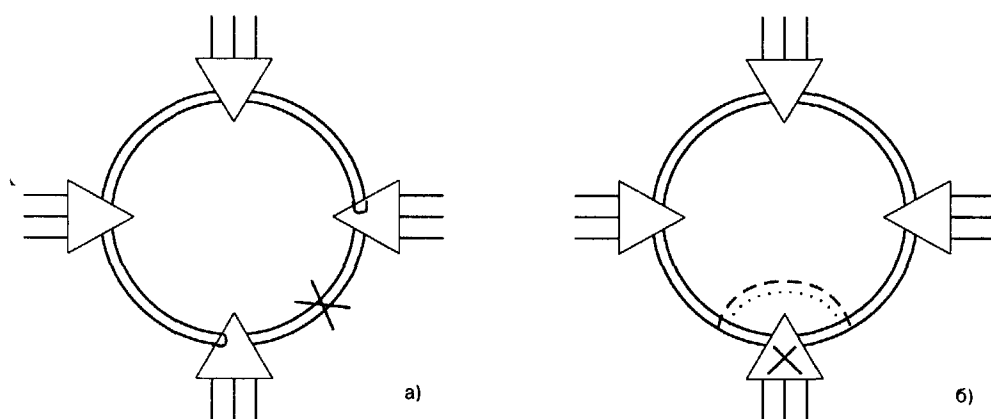


Рис.2-33. Методы защиты двойного кольца:
а) путем исключения поврежденного участка;
б) путем организации обходного пути

В третьем случае восстановление работоспособности осуществляется за счет резервирования на уровне трибных интерфейсов. Схема резервирования в общем случае N:1, что допускает различ-

ную степень резервирования: от 1:1 (100%) до меньшей степени, например, 4:1 (25%), когда на 4 основных трибных интерфейсных карты используется одна резервная, которая автоматически выбирается системой кросс-коммутации при отказе одной из основных. Этот метод широко (если не повсеместно) распространен в аппаратуре SDH для резервирования трибных карт 2 Мбит/с (4:1 или 3:1 для STM-1 или 16:1, 12:1, 8:1 для STM-4), а также резервирования наиболее важных сменных блоков, например, блоков кросс-коммутации и систем управления и резервного питания, время переключения которых на запасные не превышает обычно 10 мсек.

В четвертом случае резервирование как таковое не используется, а работоспособность системы в целом (на уровне агрегатных блоков) восстанавливается за счет исключения поврежденного узла из схемы функционирования. Так, системы управления SDH мультиплексоров обычно дают возможность организовывать **обходной путь**, позволяющий пропускать поток агрегатных блоков мимо мультиплексора в случае его отказа (рис.2-33б).

В пятом случае, характерном для сетей общего вида или ячеистых сетей, в узлах сети устанавливаются кросс-коммутаторы **систем оперативного переключения**, которые осуществляют, в случае отказа, вызванного либо разрывом соединительного кабеля, либо отказом узла последовательной линейной цепи, реконфигурацию прилегающих (входящих или исходящих) участков сети и соответствующую кросс-коммутацию потоков. Процедура такой реконфигурации может быть централизованной или распределенной [11]. В первом случае она осуществляется **сетевым центром управления**, что может быть реализовано достаточно просто, во втором - совместное решение о реконфигурации должно вырабатываться группой прилегающих систем оперативного переключения. Могут применяться и комбинированные методы.

Использование систем оперативного переключения по принципу организации защиты напоминает схему резервирования 1:1 метода резервирования по разнесенным трассам. Разница, однако, состоит в том, что в последнем случае физический или виртуальный канал уже существует, тогда как в первом он формируется в момент оперативного переключения (действие более характерное для коммутатора/маршрутизатора в сетях пакетной коммутации).

2.6. АРХИТЕКТУРА СЕТЕЙ SDH

Архитектурные решения при проектировании сети SDH могут быть сформированы на базе использования рассмотренных выше элементарных топологий сети в качестве ее отдельных сегментов. Учитывая возможность самостоятельного использования отдельных элементарных топологий, мы рассмотрим здесь только сети, комбинирующие рассмотренные элементарные топологии. Наиболее часто используется сочетание **кольцевой** и **радиальной** (типа "точка-точка") топологий или топологии **последовательной линейной цепи**.

2.6.1 Радиально-кольцевая архитектура

Пример радиально-кольцевой архитектуры SDH сети приведен на рис.2-34. Эта сеть фактически построена на базе использования двух базовых топологий: "кольцо" и "последовательная линейная цепь". Вместо последней может быть использована более простая топология "точка-точка". Число радиальных ветвей ограничивается из соображений допустимой нагрузки (общего числа каналов доступа) на кольцо.

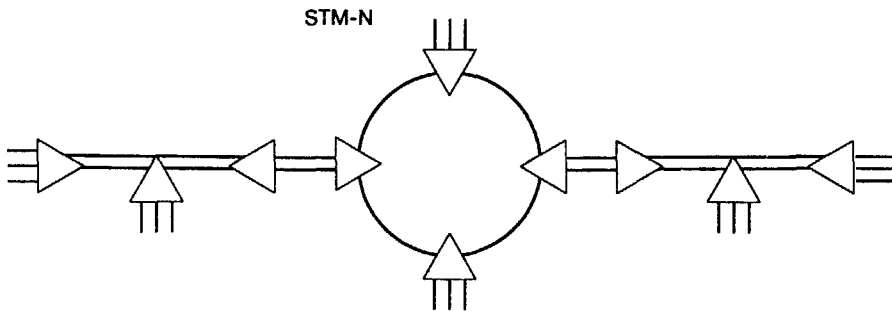


Рис.2-34. Радиально-кольцевая сеть SDH

2.6.2 Архитектура типа “кольцо-кольцо”

Другое часто используемое в архитектуре сетей SDH решение - соединение типа “кольцо-кольцо”. Кольца в этом соединении могут быть либо одинакового, либо разного уровней иерархии SDH. На рис.2-35 показана схема соединения двух колец одного уровня - STM-4 с помощью интерфейсных карт STM-1, а на рис.2-36 - каскадная схема соединения трех колец различного (по нарастающей) уровня - STM-1, STM-4, STM-16. При таком соединении можно использовать необходимые оптические трибы предыдущего иерархического уровня при переходе от кольца одного уровня к другому (например, триб STM-1 при переходе на кольцо STM-4 и триб STM-4 при переходе на кольцо STM-16).

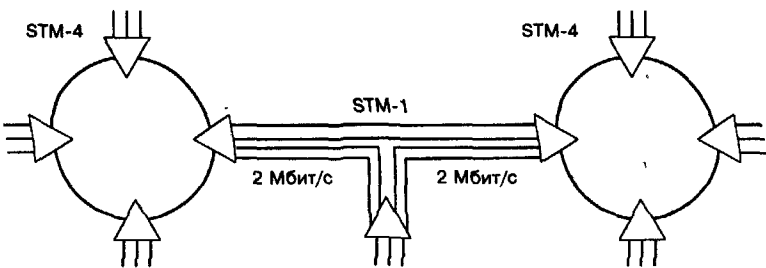


Рис.2-35. Схема связи двух колец одного уровня (STM-4) с помощью интерфейсных карт

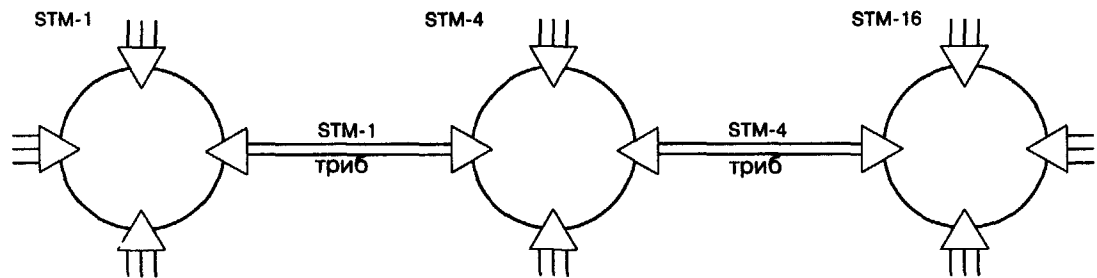


Рис.2-36. Каскадное соединение колец разного уровня (STM-1 — STM-4 — STM-16) с помощью оптических трибов

2.6.3. Линейная архитектура для сети большой протяженности

Для линейных сетей большой протяженности расстояние между терминальными мультиплексорами ТМ больше или много больше того расстояния, которое может быть рекомендовано с точки зрения максимально допустимого затухания волоконно-оптического кабеля. В этом случае на маршруте (в линейном тракте) между ТМ (рис.2-37) должны быть установлены кроме общего проходного коммутатора еще и **регенераторы** для восстановления (регенерации) затухающего оптического сигнала. Эту линейную архитектуру можно представить в виде последовательного соединения ряда секций, специфицированных в рекомендациях ITU-T Rec. G.957 и Rec. G.958 [24, 25].

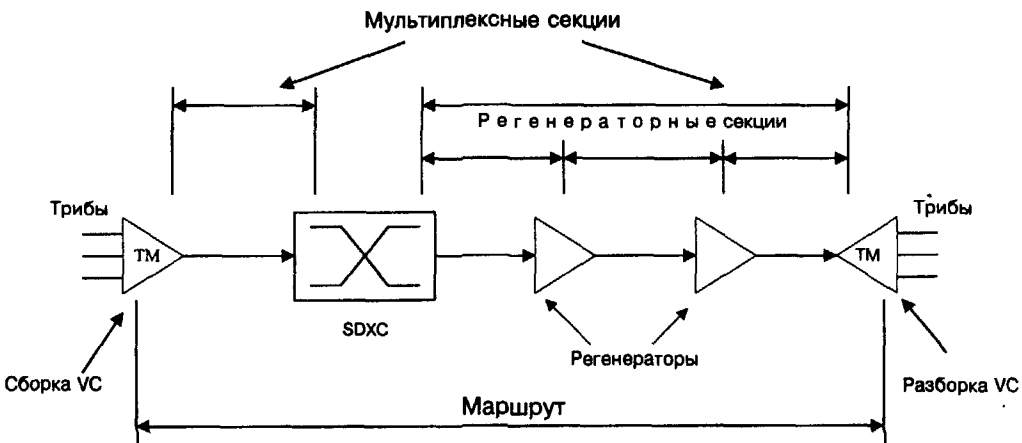


Рис.2-37. Сеть SDH большой протяженности со связью типа “точка-точка” и ее сегментация

Принято различать три типа стандартизованных участков - секций: **оптическая секция** (участок от точки электронно-оптического до точки опто-электронного преобразований сигнала), которая по сути является участком волоконно-оптического кабеля между элементами сети SDH (на рис.2-37 не показано), **регенераторная секция** и **мультиплексная секция** (рис.2-37).

Оптические секции нормируются, согласно [24] по длине, при этом выделяют три категории: **I - внутристанционная секция**, длиной до 2-х км, **S - короткая межстанционная секция**, порядка 15 км, и **L - длинная межстанционная секция**, порядка 40 км (при длине волны 1310 нм) и 80 км (при длине волны 1550 нм). Указанные длины секций используются только для классификации (см. ниже) и не могут рассматриваться как рекомендуемые значения используемых технических параметров. Общая длина маршрута может составлять при этом сотни или же тысячи километров. **Маршрут** в [47] рассматривается как участок тракта между терминальными мультиплексорами, допускающий **автоматическое поддержание функционирования сети** с номинальной производительностью.

Мультиплексная секция рассматривается как участок тракта между транспортными узлами (мультиплексорами и коммутаторами), допускающий аналогичное **автоматическое поддержание функционирования**.

Регенераторная секция рассматривается как участок тракта между двумя регенераторами или между регенератором и другим элементом сети SDH. В [24] для аналогичных определений используются **опорные точки** А (вход/выход волокна) и С (вход/выход **начала/окончания регенераторной секции RST**) в схеме представления регенераторной секции, определенные в стандарте ITU-T Rec. G.783 [22]. Более подробно это изложено в рекомендациях ITU-T [24, 25] или в работах [6, 47].

Описанный выше секционный заголовок SOH фрейма STM-N, содержащий управляющую информацию, делится, как указывалось, на две части: RSOH - **заголовок регенераторной секции** - 27 байтов (строки 1-3, столбцы 1-9) и MSOH - **заголовок мультиплексной секции** - 47 байтов (строки 5-9, столбцы 1-9) [17]. Регенераторная секция обрабатывает RSOH, который содержит синхросигнал, а также управляющую и контрольную информацию, позволяющую локализовать поврежденную секцию. Этот заголовок, будучи сформированным и введенным в фрейм на входе RST, считывается каждым регенератором и выводится из фрейма на выходе RST, что более подробно описано в [17].

Классификация секций приведена в таб.2-1. Она дает стандартное обозначение секций в зависимости от уровня STM (1, 4, 16) и приведена для указанных трех типов применения: **внутри станции** (код использования I), между станциями - **короткая секция** (код использования S), между станциями - **длинная секция** (код использования L). В общем случае кодировка типов использования линейных регенераторных секций как оборудования SDH включает три элемента и имеет формат:

<код использования> - <уровень STM> . <индекс источника>

Здесь код использования и уровни STM приведены выше, а индекс источника имеет следующие значения и смысл:

- 1 или без индекса - указывает на источник с длиной волны 1310 нм;
- 2 - указывает на источник с длиной волны 1550 нм для волокна, соответствующего рекомендациям G.652 (секции S) и G.652, G.654 (секции L);
- 3 - указывает на источник с длиной волны 1550 нм для волокна, соответствующего рекомендации G.653.

Например, обозначение L-4.3 расшифровывается как **длинная межстанционная регенераторная секция** линейного оборудования STM-4, использующая источник света с длиной волны 1550 нм.

Таблица 2-1.
Классификация стандартных оптических интерфейсов

Использование		Внутри станции	Между станциями				
			Короткая секция		Длинная секция		
Номинальная длина волны источника (нм)		1310	1310	1550	1310	1550	
Тип волокна		Rec. G.652	Rec. G.652	Rec. G.652	Rec. G.652	Rec. G.652 Rec. G.654	Rec. G.653
Расстояние (км) ^{а)}		≤ 2	- 15		- 40	- 80	
Уровни STM	STM-1	I-1	S-1.1	S-1.2	L-1.1	L-1.2	L-1.3
	STM-4	I-4	S-4.1	S-4.2	L-4.1	L-4.2	L-4.3
	STM-16	I-16	S-16.1	S-16.2	L-16.1	L-16.2	L-16.3
а) Указанные расстояния условны и используются для классификации, а не для расчетов в технических заданиях							

2.6.4. Архитектура разветвленной сети общего вида

В процессе развития сети SDH разработчики могут использовать ряд решений, характерных для глобальных сетей, таких как формирование своего "остова" (backbone) или **магистральной сети** в виде ячеистой (mesh) структуры, позволяющей организовать альтернативные (резервные) маршруты, используемые в случае возникновения проблем при маршрутизации виртуальных контейнеров по основному пути. Это, наряду с присущим сетям SDH внутренним резервированием, позволяет повысить надежность всей сети в целом. Причем при таком резервировании на альтернативных маршрутах могут быть использованы альтернативные среды распространения сигнала. Например, если на основном маршруте используется волоконно-оптический кабель (ВОК), то на резервном - радиорелейная линия (РРЛ), или наоборот.

На рис.2-38 представлена архитектура такой разветвленной (глобальной) сети, **остов** (или опорная/магистральная сеть) которой сформирован для простоты в виде одной **сетевой ячейки**, узлами которой являются коммутаторы типа SDXC, связанные по типу "каждый с каждым". К этому остову присоединены периферийные сети SDH различной топологии, которые могут быть "образами" либо корпоративных сетей (с выходом на LAN), либо общегородских сетей SDH или MAN (ОГС), либо сегментов других глобальных сетей WAN (ГСС). Эта структура может рассматриваться как некий образ глобальной сети SDH.

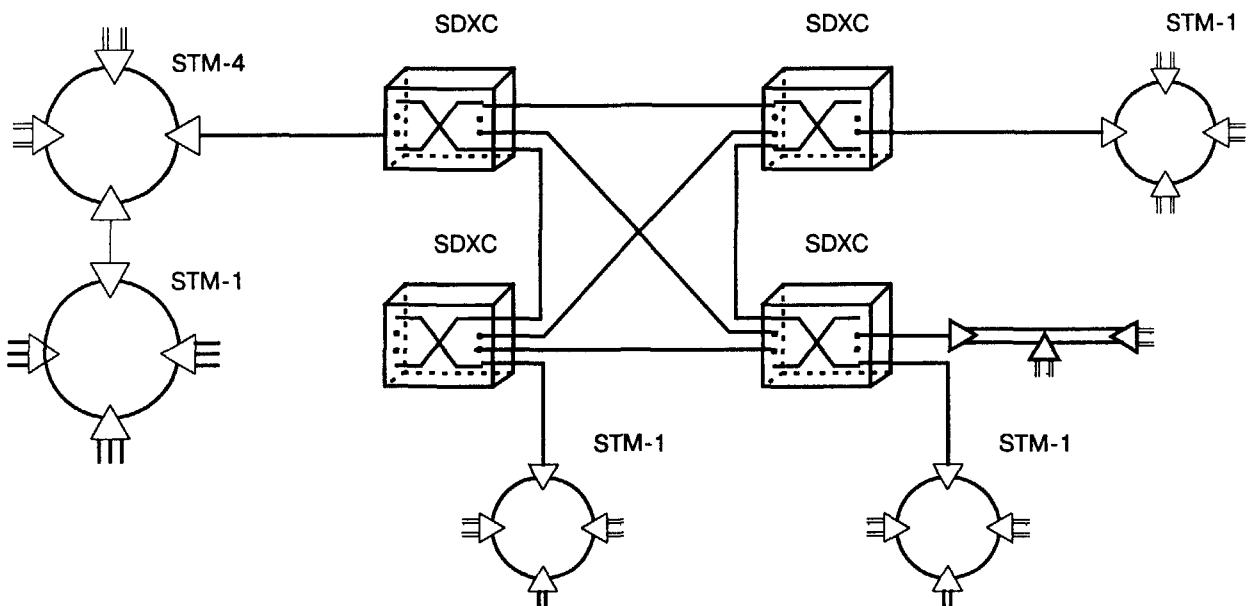


Рис.2-38. Разветвленная сеть SDH с каскадно-кольцевой и ячеистой структурой

Еще один пример сети SDH общего вида приведен на рис.2-39. Эта сеть рассматривается в [55] как пример законченного решения сети, связывающей сегменты, использующие как топологии SDH, так и PDH.

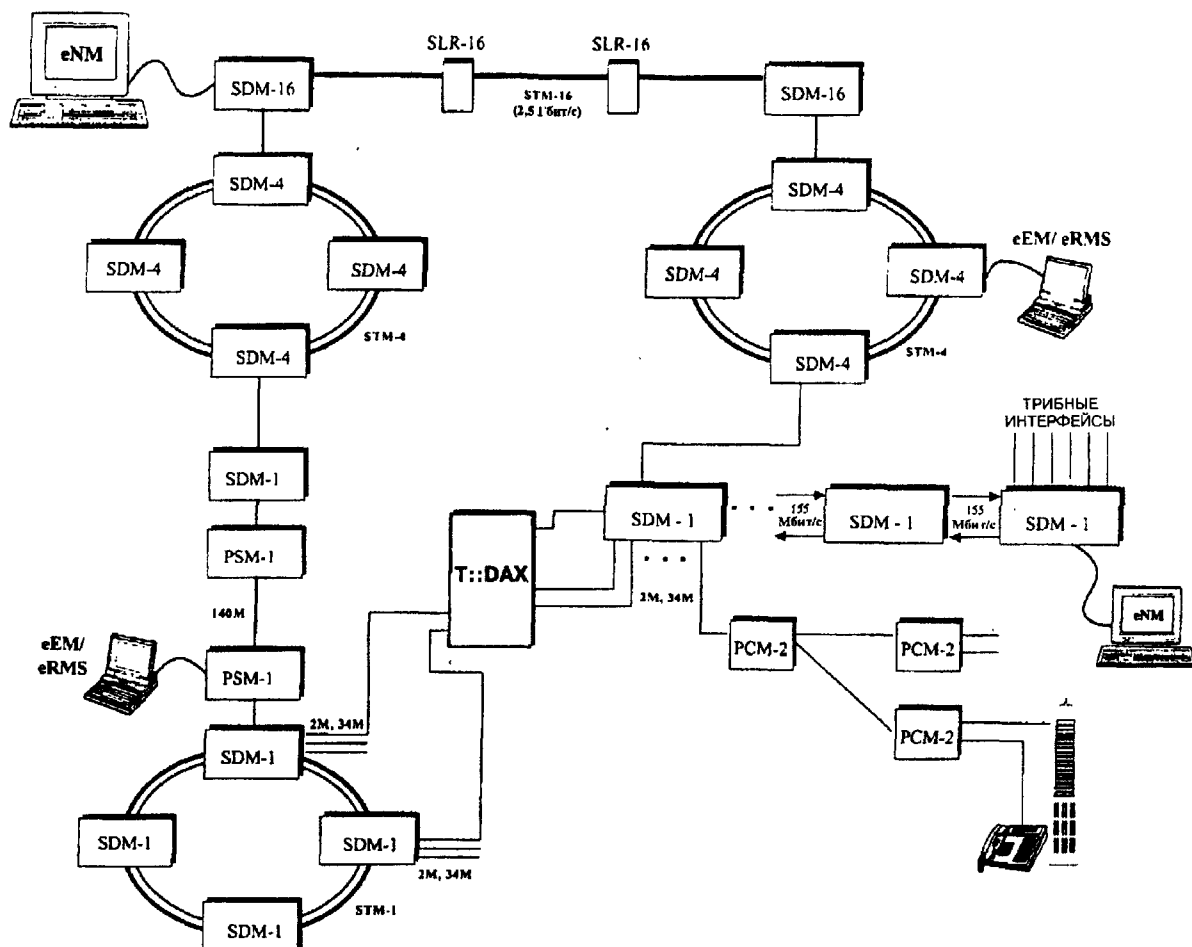


Рис.2-39. Сеть общего вида с сегментами PDH и SDH

Схема сети (рис.2-39) состоит из трех колец SDH, связанных между собой тремя сегментами. Два верхних кольца STM-4 связаны последовательной линейной SDH цепью уровня STM-16. Левые верхнее (STM-4) и нижнее (STM-1) кольца связаны линией E4 PDH (140 Мбит/с), терминальные мультиплексоры PDH которой PSM-1 на уровне триба E4 непосредственно связаны с SDH мультиплексорами SDM-1. Замыкающее звено между правым верхним и нижним кольцами SDH использует кросс-коммутатор T::DAX, связанный на уровне PDH трибов с двумя мультиплексорами SDM-1 нижнего кольца STM-1 с одной стороны и мультиплексором SDM-1 с другой. Последний выполняет несколько функций:

- терминального мультиплексора последовательной линейной цепи SDM-1;
- мультиплексора ввода/вывода для сети доступа, организуемой через PCM-2, и потоков от кросс-коммутатора T::DAX;
- концентратора-коммутатора потоков между T::DAX, верхним кольцом STM-4, линейной цепью SDM-1 и PDH мультиплексором PCM-2 в сети доступа.

Наконец, сети SDH общего вида можно рассматривать как транспортную сеть для ATM трафика, учитывая, что виртуальные контейнеры VC-n могут нести в упакованном виде поток ATM ячеек в качестве полезной нагрузки. Можно отметить, что в настоящее время стандартизованы процедуры такой упаковки (инкапсуляции) ATM ячеек в виртуальные контейнеры VC-4 и VC-4-Xc, используемые в схемах мультиплексирования SDH (более подробно см. рекомендации ITU-T G.709 [18] или работу [162]).

Для сопряжения SDH и ATM сетей (рассматриваемых как сети доступа) уже сейчас существуют коммутаторы доступа ATM, осуществляющие упаковку ячеек ATM в виртуальные контейнеры SDH. Одним из них является, например, коммутатор AToM компании ECI. Схема общей сети SDH и ATM сети доступа приведена на рис.2-40.

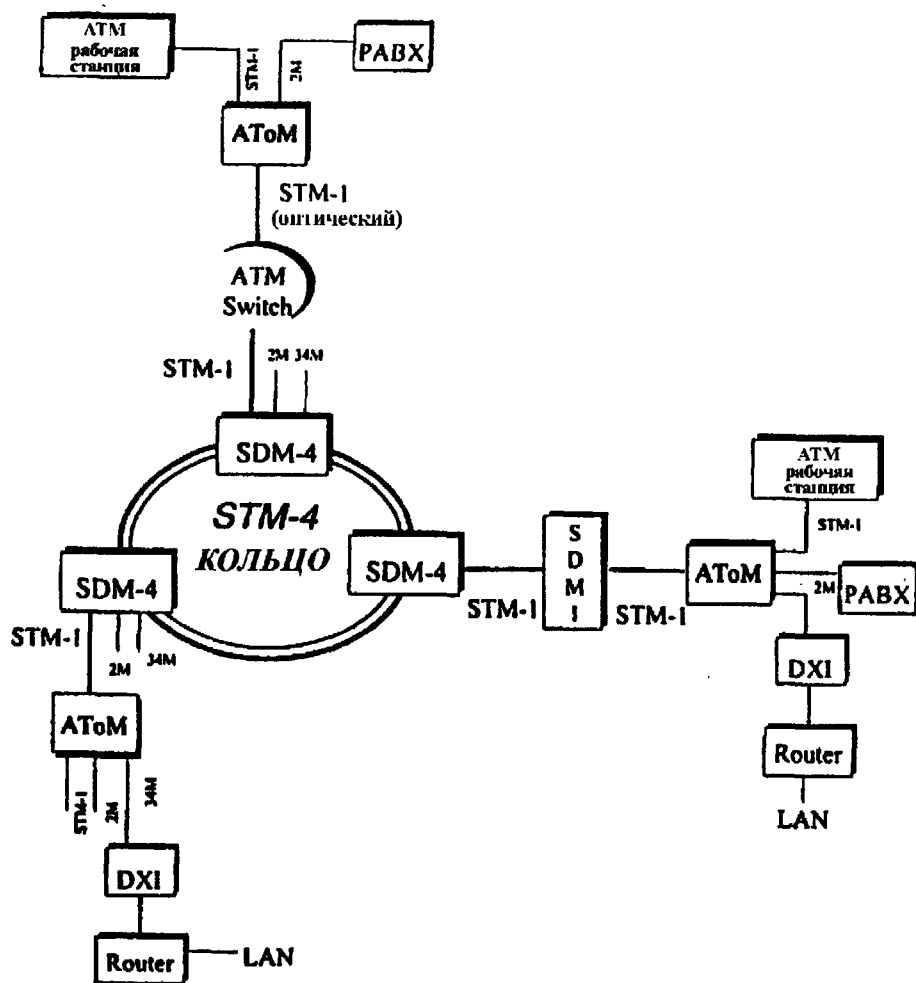


Рис.2-40. Сеть SDH - ATM, использующая технологию ATM в сетях доступа

Сокращения, приведенные на указанных рисунках расшифрованы в списке сокращений в конце книги.

2.7. АППАРАТУРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БЛОКОВ СЕТЕЙ SDH

2.7.1. Схемная реализация и характеристики синхронных мультиплексоров

Синхронные мультиплексоры разрабатываются различными зарубежными компаниями и имеют определенные различия характеристик и возможностей, однако в силу высокого уровня стандартизации технологии SDH они в значительной степени унифицированы по основным параметрам. Чтобы понять их внутреннюю структуру, ниже для примера рассмотрены блок-схемы трех мультиплексоров различных уровней: STM-1 (компании Nortel), STM-4 (компании GPT) и уровней STM-4/16 (компании Alcatel). Приведенные спецификации соответствуют, как правило, спецификациям, указанным в фирменной документации.

2.7.1.1 Реализация мультиплексоров STM-1

Структурная схема мультиплексора STM-1 типа TN-1X компании Nortel (Northern Telecom) приведена на рис.2-41. Мультиплексор смонтирован на стойке и состоит из следующих основных блоков [48]:

- четырех трибных интерфейсных блоков TIU с 16 электрическими портами 2 Мбит/с для ввода/вывода до 63 входных потоков;
- двух (основного и резервного) **менеджеров полезной нагрузки** - устройств для формирования и управления полезной нагрузкой (различные типы полезной нагрузки в виде VC-n, TU-n, TUG-2, TUG-3 см. выше). Он, например, управляет операциями ввода/вывода каналов доступа (трибов), мультиплексированием и внутренней коммутацией потоков, производит сортировку (grooming) на уровне трибных блоков TU-n, формирует полезную нагрузку до уровня агрегатных блоков AU-n и передает ее на интерфейсы агрегатных блоков;
- двух оптических или электрических агрегатных блоков AU A и B с выходными портами 155 Мбит/с (STM-1) “восток” и “запад” для формирования выходных потоков;
- двух (основного и резервного) блоков питания (на схеме не показаны);
- одного контроллера и локальной панели оператора (на схеме не показаны).

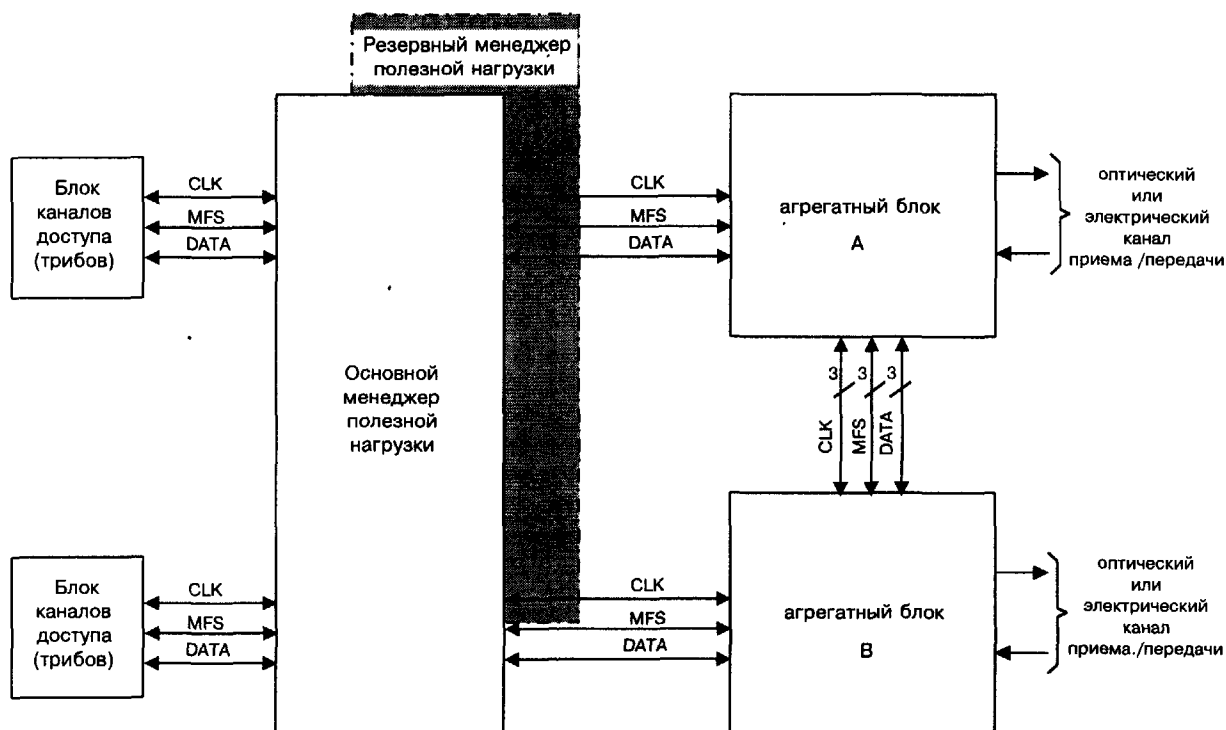


Рис.2-41. Структурная схема мультиплексора TN-1X компании Nortel (уровень STM-1)

Он также обеспечивает мультиплексирование до шестидесяти трех входных потоков 2 Мбит/с, подаваемых на входные порты трибных интерфейсных блоков, в один или два потока по 155 Мбит/с, формируемых на выходе электрических или оптических агрегатных блоков.

TN-1X может быть использован (skonфигурирован) для работы в качестве:

- терминального мультиплексора ТМ с двумя агрегатными блоками, используемыми в режиме “основной/резервный” для создания защиты типа 1+1 агрегатных портов;
- мультиплексора ввода/вывода с двумя агрегатными блоками (портами “восток” - “запад”) для работы в сетях с топологией “кольца” и защитой типа 1+1, создаваемой при организации двойного кольца со встречными потоками (рис. 2-33), или “последовательной линейной цепи” (рис. 2-29);
- мультиплексора ввода/вывода с одним агрегатным блоком для работы в качестве ТМ без защиты в сетях с топологией “точка - точка” или в сетях с топологией “последовательная линейная цепь”.

Мультиплексор и его блоки имеют следующие характеристики:

Интерфейсные входы и выходы трибов:

- скорость передачи данных на входе - 2048 кбит/с;
- линейный код - HDB3;
- входной импеданс - 75 Ом (коаксиальный вход), 120 Ом (симметричный вход);

- амплитуда импульса на выходе - ± 2.37 В (75 Ом) и ± 3.0 В (120 Ом);
- номинальная длительность импульса - 244 нс;
- максимально допустимые потери в кабеле - 6 дБ;
- максимально допустимые потери на отражение на входе/выходе - 18/8 дБ;
- соответствие стандартам - ITU-T Rec. G.703.

Оптические входы и выходы агрегатных блоков:

- выходная мощность - 1 мВт;
- чувствительность приемника - -34 дБ (при коэффициенте ошибок 10^{-10});
- максимально допустимые потери на секцию - 28 дБ;
- длина волны - 1310 нм;
- тип волокна оптического кабеля - одномодовый;
- соответствие стандартам - ITU-T Rec. G.957 (для STM-1).

Электрические входы и выходы агрегатных блоков:

- линейный код - CMI;
- входной импеданс - 75 Ом;
- максимально допустимые потери на отражение на входе/выходе - 15 дБ;
- максимально допустимые потери в кабеле на входе - 12.7 дБ;
- амплитуда выходного импульса - 1.0 В;
- соответствие стандартам - ITU-T Rec. G.703.

2.7.1.2 Реализация мультиплексоров STM-4

Структурная схема мультиплексора STM-4 типа SMA-4 компании GPT приведена на рис.2-42. Мультиплексор смонтирован на двойной стандартной стойке (980x450x280 мм) и состоит из следующих основных блоков:

- трибных блоков с набором электрических портов для приема входных потоков различной скорости (от 1.5 и 2 до 140 и 155 Мбит/с);
- двух пар (основной и резервной) мультиплексоров и коммутаторов для мультиплексирования, локальной коммутации и управления потоками;
- двух оптических агрегатных блоков с выходными портами 622 Мбит/с (STM-4) “восток” и “запад” для формирования выходных потоков;
- двух (основного и резервного) блоков питания (на схеме не показаны);
- интерфейсами контроля и управления, служебным каналом.

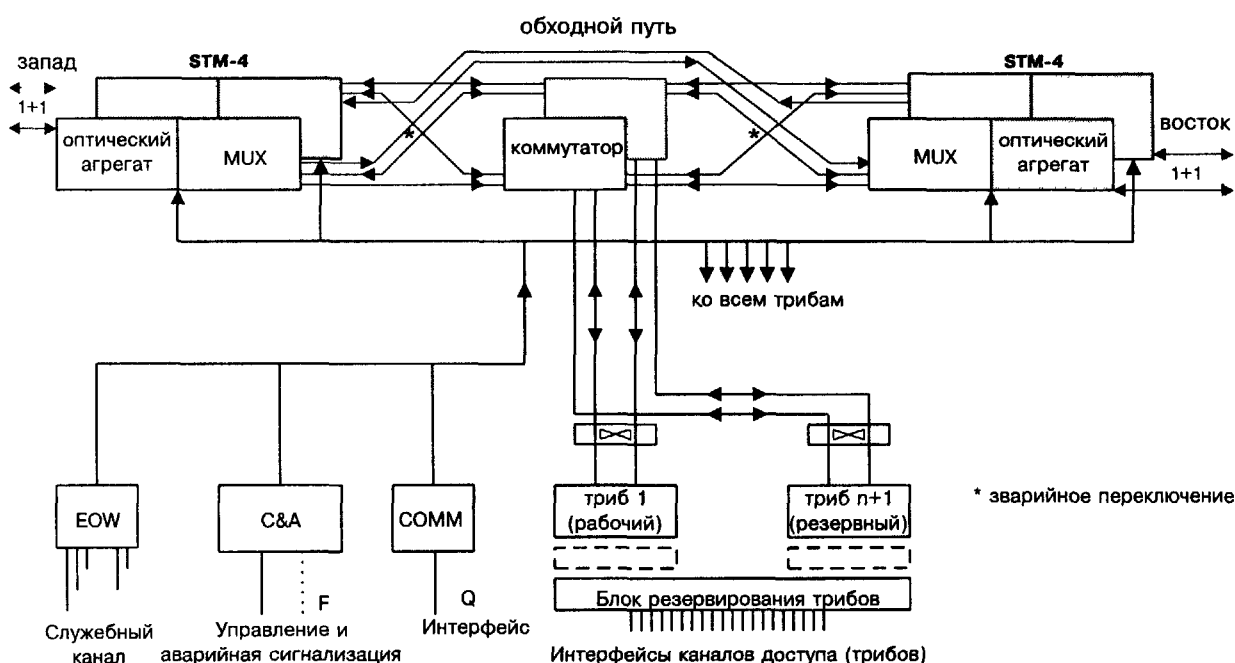


Рис.2-42. Структурная схема мультиплексора SMA-4 компании GPT (уровень STM-4)

Он обеспечивает мультиплексирование различных входных потоков, подаваемых на входные электрические порты трибных интерфейсов: до 252 или 504 потоков 1.5 Мбит/с или 2 Мбит/с, или до 12 или 24 потоков 34 Мбит/с или 45 Мбит/с, или до 4 или 8 потоков 140 Мбит/с, или до 6 или 12 частично заполненных потоков 155 Мбит/с (при суммарном потоке не выше 252 или 504 потоков 2 Мбит/с) в один или два потока 622 Мбит/с, формируемых на выходе оптических агрегатных блоков.

SMA-4 может быть использован (сконфигурирован) для работы в качестве:

- терминального мультиплексора (ТМ) с двумя агрегатными блоками, используемыми в режиме: “основной/резервный” - для создания защиты типа 1+1 агрегатных портов для схемы “точка-точка” или защиты типа 1:n для потоков 1.5 или 2 Мбит/с, осуществляемой блоком резервирования трибов (рис. 2-42) при наличии соответствующего резерва входных портов;
- мультиплексора ввода/вывода с двумя агрегатными блоками (портами “восток” - “запад”) для работы в сетях с топологией “кольцо” и защитой типа 1+1, создаваемой при организации двойного кольца со встречными потоками (рис. 2-33), или с топологией “последовательная линейная цепь” по схеме на рис. 2-29;
- мультиплексора ввода/вывода с одним агрегатным блоком для работы в качестве ТМ без защиты в сетях с топологией “точка - точка” или в сетях с топологией “последовательная линейная цепь”;
- оптического концентратора (хаба) для осуществления функций консолидации и сортировки в качестве центрального узла в топологии “звезда”, на вход которого подаются потоки STM-1 (до 12 частично заполненных STM-1 потоков могут консолидироваться на уровне VC-12 в один или два STM-1 или STM-4 потока);
- небольшого коммутатора, функционирующего самостоятельно или способного объединить до четырех колец 622 Мбит/с.

Мультиплексор и его блоки имеют следующие характеристики:

Интерфейсные входы и выходы трибов:

- скорость передачи данных на входе - 1.5, 2, 34, 45 и 140 Мбит/с, по стандарту - ITU-T Rec. G.703 или 155 и 622 Мбит/с по стандарту ITU-T Rec. G.709 [18];
- входной импеданс - 75 Ом (коаксиальный вход) - для 1.5 - 140 Мбит/с, 120 Ом (симметричный вход) - для 1.5 и 2 Мбит/с.

Оптические входы и выходы трибов и агрегатных блоков:

- длина волны - 1310 нм - для коротких и средних оптических секций, 1550 нм - для длинных секций;
- максимально допустимые потери на секцию:
 - STM-4 - 12/12/24 дБ - для коротких, средних и длинных секций при 1310 нм и 24 дБ - для длинных секций при 1550 нм;
 - STM-1 - 18/18/28 дБ - для коротких, средних и длинных секций при 1310 нм и 28 дБ - для длинных секций при 1550 нм;
- тип волокна оптического кабеля - одномодовый;
- оптические соединители - FC, PC или DIN;
- соответствие стандартам - ITU-T Rec. G.709 [18] и ITU-T Rec. G.957 [24].

Электрические входы и выходы блоков с STM-1:

- линейный код - CMI;
- входной импеданс - 75 Ом;
- соответствие стандартам - ITU-T Rec. G.703 [14].

Одной из особенностей мультиплексоров SMA-4 является развитая система защиты, реализуемая путем резервирования различного типа:

- типа 1:1 - для любой пары портов и агрегатных блоков;
- типа 1:n, где $n \leq 8$, для 2 Мбит/с трибов;
- дублирование блоков коммутатора, контроллера мультиплексора, связи и питания;
- использование обеих ветвей “восток” - “запад” с выбором лучшего по качеству сигнала, получаемого приемным блоком, для автоматической защиты трибных блоков;
- автоматическое переключение на обходной путь основного потока (4xVC-4) в случае неисправности мультиплексора.

Другой особенностью является преемственность: SMA-4, являясь членом семейства мультиплексоров для уровней STM-1, STM-4 и STM-16, путем простой замены блоков может быть модифицирован в SMA-16 для работы на скорости 2.5 Гбит/с.

2.7.1.3 Реализация мультиплексоров STM-4/16

Рассмотрим еще один пример мультиплексора уровня STM-4, позволяющего производить его модификацию до уровня STM-16. Это мультиплексор ввода-вывода 1651 SM компании Alcatel. На рис.2-43 приведена его структурная-схема, которая выглядит компактной и модульной [57].

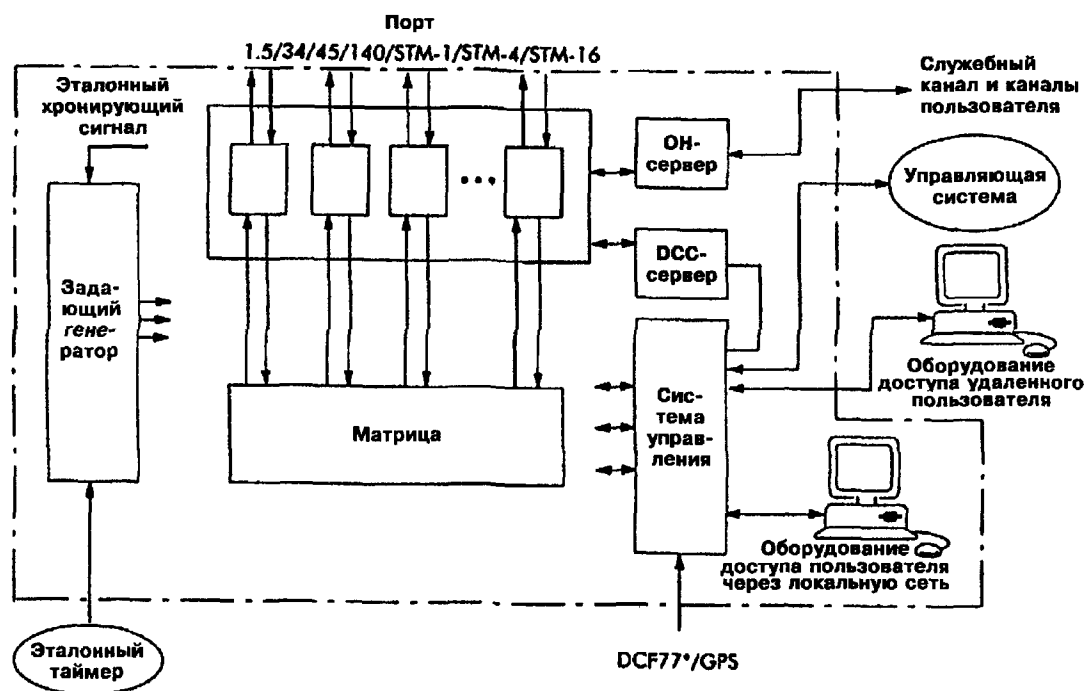


Рис.2-43. Блок-схема мультиплексора 1651 SM компании Alcatel (уровень STM-4/16)

Мультиплексор 1651 SM может быть использован для работы в качестве:

- линейного терминального (одинарного или двойного) мультиплексора с двумя агрегатными блоками, используемыми в режиме "основной/резервный" для создания защиты типа 1+1 агрегатных портов;
- мультиплексора ввода/вывода с двумя или четырьмя агрегатными блоками (портами "восток" - "запад") для работы в сетях с топологией обычного или вдвоенного кольца и в линейной цепи с защитой типа 1 + 1 или без защиты;
- линейного регенератора, работающего по схемам с защитой 1+1 или без нее;
- концентратора (хаба) для осуществления функций центрального узла в топологии "звезда";
- коммутатора, функционирующего в рамках мультиплексора и самостоятельно с максимальной емкостью до 16 STM-1 портов.

Мультиплексор и его блоки имеют следующие характеристики:

Трибные интерфейсы:

- скорость передачи данных на входе - 2, 34, 45 и 140 или 155 Мбит/с (электрические) или 155 Мбит/с (оптический);
- входной импеданс - 75 Ом (коаксиальный вход) - для всех трибов, 120 Ом (симметричный вход) - для 2 Мбит/с.

Оптические входы агрегатных блоков:

- 622 Мбит/с (STM-4) и 2488 Мбит/с (STM-16);

Оптические интерфейсы (табл.2-1):

- для STM-1: S-1.1, L-1.1, L-1.2;
- для STM-4: S-4.1, L-4.1, L-4.2, L-4.1 JE, L-4.2 JE;
- для STM-16: S-16.1, L-16.1, L-16.2, L-16.2 JE;
- оптические соединители - FC, PC;
- соответствие стандартам - ITU-T Rec. G.709 [18], Rec. G.957 [24], Rec. G.958 [25].

Особенности режимов ввода/вывода и возможности кросс-коммутации:

максимальное число трибов, коммутируемых без блокировки:

- 8 - для трибов 140 Мбит/с и 155 Мбит/с;

- 24 - для трибов 34 Мбит/с или 45 Мбит/с;
- 63 - для трибов 2 Мбит/с.

дополнительное число коммутируемых 2 Мбит/с трибных портов ввода/вывода:

- 189 на каждую полку (кассету) типа 1641SM-D, установленную на стойке.

типы кросс-коммутации:

- на уровне виртуальных контейнеров VC-4:
 - линия-линия (агрегатный блок-агрегатный блок) - **сквозная кросс-коммутация**;
 - линия-триб - **внутренняя кросс-коммутация**;
 - триб-триб - **локальная кросс-коммутация**.
- на уровне виртуальных контейнеров VC-3 и VC-12:
 - 8 VC-4 эквивалентов в режиме обхода узла - **байпасная кросс-коммутация**;
 - 8 VC-4 эквивалентов в режимах сквозной, внутренней и локальной кросс-коммутации.

Особенности режимов защиты:

защита сети:

- типа 1+1, 1:1 - для мультиплексных секций любого вида линейной сети (на уровне агрегатных блоков и SDH трибов);
- защита маршрута (тракта) линейной сети в целом;
- типа самовосстанавливающегося двунаправленного двухволоконного кольца с выбором лучшего по качеству сигнала, получаемого приемным блоком;
- типа самовосстанавливающихся взаимодействующих колец со сдвоенными узлами.

защита оборудования:

- типа 1+1 - для любого общего блока (коммутатора, контроллера мультиплексора, связи и блоков питания и др.);
- типа 1+N, где N = 3 - для трибов 2 Мбит/с;
- типа 1+1, 1+N - для других типов трибов.

Особенности системы управления:

интерфейсы систем управления:

- Q_x, Q_{вз}, Q_{ЕСС} - Q-интерфейсы - для доступа по сети Ethernet типа 10BASE2 на уровне менеджера сети NM в соответствии с стандартами ITU-T Rec. G.773 [89], Rec. G.784 [23];
- RS-232 (разъем DB-9) - для модемного доступа (9600 бит/с) к NM через **крафт-терминал** СТ;
- E1/E2 - для доступа по служебным цифровым каналам EOW (DTMF с внутрисполосной сигнализацией);
- G.703 (сонаправленный интерфейс) - для организации служебных (DS0) каналов данных 3x64 или 6x64 кбит/с;
- G.703 (G.704, G.736) - для организации служебных (E1) каналов данных 4x2 Мбит/с;
- V.11 - разнонаправленный интерфейс - для организации служебных каналов передачи данных (3x9600 бит/с).

управление передачей данных:

- SOH (байты D1-D3 и D-4-D-12) - для управления регенераторами на уровне NM;
- 8 входов/7 выходов - для осуществления операций тестирования и сбора данных.

оперативное управление:

- дистанционный сбор учетных (инвентарных) данных на уровне интерфейсных карт;
- загрузка программного обеспечения без прерывания трафика;
- контроль ошибок и параметров настройки в соответствии со стандартами ITU-T Rec. G.784 [23], G.826 [75].

Синхронизация:

внутренняя:

- +/- 4.6*10⁻⁶ с дрейфом не хуже 0.37x10⁻⁶ в день;

внешняя:

- 2048 кГц в соответствии с G.703.10 (импеданс: 120 Ом - симметричное подключение и 75 Ом - коаксиальный кабель);
- трибы 2 Мбит/с;
- линейный сигнал STM-N.

выходы:

- 2048 кГц (импеданс: 120 Ом - симметричное подключение и 75 Ом - коаксиальный кабель) в соответствии с ITU-T Rec. G.703.10.

Выбор типа синхронизации осуществляется в соответствии с установленными приоритетами или по алгоритму, использующему **сообщения о статусе синхронизации** SSM.

Особенностью мультиплексора является его преемственность: SMA-4, являясь членом семейства мультиплексоров для STM-1, STM-4 и STM-16, может использовать интерфейсные карты STM-1, а

также путем простой замены блоков может быть модифицирован в компактный вариант мультиплексора SMA-16 для работы на скорости 2.5 Гбит/с путем установки 2 агрегатных карт STM-16. Такой вариант мультиплексора с возможностью ввода-вывода потоков 2 Мбит/с соответствует модели 1661 SM-C. Другой особенностью является наличие специального входа системы синхронизации, на который подается радиосигнал с **глобальной системы определения местоположения** GPS, позволяющий подстраивать источник синхронизации по **мировому скоординированному времени** UCT (см. п.3.4.3).

Схема размещения интерфейсных карт и модулей в корпусе **полки**, устанавливаемой на **стойке** S9 (Alcatel), соответствующей **стандартной стойке** ETS300119, приведена на рис.2-44. Таких полок в стойке может быть две. Блоки используют печатную плату европейского стандарта (233x220 мм). Верхняя часть полки используется для панели межсоединений (**интерфейсы кабельной связи**). Средняя часть полки (**верхняя кассета**) имеет 16 слотов (разъемов): 3 (SW1-4, SW1-10, SW6-9) - для коммутации интерфейсных карт, 10 - для трибных интерфейсных карт, два матричных коммутатора (сто процентное резервирование), один блок питания. Нижняя часть полки (**нижняя кассета**) имеет 10 слотов: 4 (WA, EB, EA, WB) линейных агрегатных блока и два таймера (для всех сто процентное резервирование), два блока питания (резервирование 50% с учетом блока на верхней кассете), один контроллер и один блок для внешних подключений (AUX).

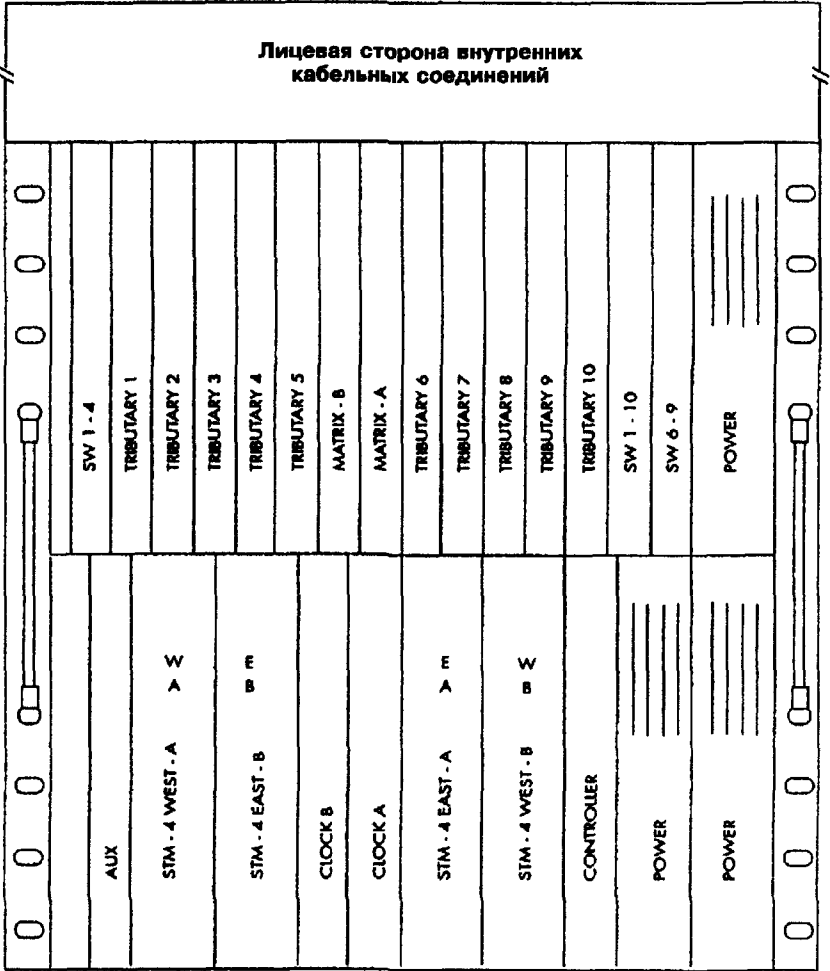


Рис.2-44. Схема размещения интерфейсных карт и модулей на стандартной стойке

2.7.2. Обзор аппаратной реализации оборудования сетей SDH

В предыдущих параграфах 2.7.1 - 2.7.2 были приведены функциональные блоки и описана архитектура сетей SDH. Указанные в них примеры реализации мультиплексоров уровня STM-1,4 дают, в целом, представление о структуре и характере используемых в мультиплексорах блоках. Вместе с тем инте-

ресно провести обзор аппаратурной реализации функциональных блоков SDH сетей, производимых не только компаниями Nortel, GPT и Alcatel, но и другими компаниями, оперирующими на российском рынке. Этот материал как нам кажется, будет интересен не только проектировщикам сетей, но и всем, вовлеченным в процесс принятия решений о закупке SDH оборудования. Это естественно, т.к. всегда хочется иметь информацию об оборудовании всех возможных его поставщиков, чтобы оценить все его многообразие, а также возможные различия его характеристик. Для помощи в этом в обзоре приводятся данные, собранные у различных фирм-поставщиков.

На рынке SDH можно выделить группу из 12 наиболее крупных поставщиков оборудования SDH, а именно: Siemens, GPT, Alcatel (Alcatel N.V.), AT&T (новое имя части компании, занимающейся производством оборудования SDH - Lucent Technologies), LME (Ericson), PKI (Philips Kommunikations Industrie - компания продала свой SDH бизнес), NEC, Nortel (новое название компании Northern Telecom), ECI, Nokia, Marconi и Fujitsu. Практически все они, за исключением, быть может, двух последних, представлены на Российском рынке. Этот рынок в последнее время становится все более насыщенным оборудованием SDH различного класса. Это связано с разнообразием и масштабностью осуществляемых совместно с этими компаниями проектов, в которых оперируют уже сотнями комплектов оборудования SDH. Достаточно привести пример радиорелейной линии Москва-Хабаровск, использующей технологию SDH (режим многоканальной (6+2) передачи потоков STM-1), торжественно открытой 14 марта 1996г., на которой установлено несколько сот мультиплексоров компании Siemens, связанных радиорелейными станциями Siemens и NEC.

Все разнообразие этого оборудования можно представить в виде пяти групп:

- синхронные мультиплексоры - SMUX или SM;
- оборудование линейных трактов - SL;
- синхронные кросс-коммутаторы - SXC;
- синхронные радиорелейные линии (РРЛ) - SR;
- системы управления оборудованием SDH.

Подробное рассмотрение всех типов оборудования задача большая и трудоемкая, учитывая, что не все указанные выше компании публикуют или готовы предоставить нужную информацию. В нашем обзоре представлены компании, материалами которых располагает автор: Siemens, GPT, Alcatel, AT&T, Philips, NEC, Nokia, Nortel и ECI.

Из указанного оборудования наиболее широко используются синхронные мультиплексоры, которые, как было указано выше, применяются и в линейных трактах, и как кросс-коммутаторы, поэтому мы и ограничимся, в основном, их рассмотрением. Другое оборудование, выпускаемое указанными компаниями, будет кратко перечислено в номенклатурных списках оборудования. Все характеристики и параметры оборудования приведены в большинстве случаев так, как они представлены в проспектах компаний.

2.7.2.1. Технические характеристики оборудования

Основные характеристики мультиплексного оборудования сведены в таблицу 2-2 отдельно для синхронных мультиплексоров различных уровней SDH - STM-1, STM-4 и STM-16. В верхней части таблицы указан ряд параметров мультиплексного оборудования, тогда как в нижней части таблицы указаны другие общие для всех мультиплексоров характеристики, относящиеся к системам управления элементами сети и сетью в целом.

Некоторые из этих характеристик требуют комментариев.

Каналы доступа трибных интерфейсных карт. Для трибов PDH стандартный набор каналов 2, 34, 140 Мбит/с соответствует европейской иерархии (EC), но не включает 8 Мбит/с (см. 2.2.4). Ряд мультиплексоров имеют трибы 1.5 и 45 Мбит/с (или 6 Мбит/с - оговариваемая опция) для совместимости с американской иерархией (AC). Для мультиплексоров уровня STM-1 SDH триб может быть электрическим или оптическим, для уровней STM-4,16 используются только оптические SDH трибы. Наличие таких трибов позволяет использовать мультиплексоры в качестве регенераторов в линейных трактах SDH, а также в схемах соединения колец разного уровня (рис.2-36).

Число портов на трибной интерфейсной карте. До недавнего времени для трибов 2 Мбит/с на карте имелось обычно 16 портов, что требовало, например, 4 карты (16х4=64 потенциально возможных каналов) для максимального использования возможностей мультиплексоров уровня STM-1 по обработке каналов 2 Мбит/с (63 канала). Современное оборудование позволяет иметь 21 порт на карте, что дает возможность использовать только 3 карты для обработки того же потока (63 канала), экономя 1 слот для других трибов или для увеличения числа максимально обрабатываемых каналов 2 Мбит/с (STM-4,16). Обычное число портов для других трибов: 3 - для 34 или 45 Мбит/с и 1 - для 140 или 155 Мбит/с.

Число трибных интерфейсных карт и тип защищенного режима по входу. В первой позиции, в скобках даны числа основных и резервных карт, причем число резервных карт должно соответствовать схеме защиты трибов, приведенной во второй, из указанных, позиций. Например, если в **типе защищенного режима по входу** указано "1:4", то для защиты 4-х карт используется только одна резервная карта (резервирование 25%), если указано "1:3", то на три основных используется одна резервная карта (резервирование 33%), если "1:1", то резервирование 100% на уровне трибов.

Максимальная нагрузка на мультиплексор (в защищенном режиме). Данная характеристика указывает максимальное число обслуживаемых каналов по каждому типу триба в отдельности. Эта характеристика, как правило, связана с возможностями кросс-коммутации и системы управления.

Тип локальной коммутации каналов доступа. Здесь указаны три возможных варианта: триб-линия (т-л), триб-триб (т-т) и линия-линия (л-л) (рис.2-22, 2-23).

Возможности неблокируемой кросс-коммутации. Эта возможность обычно характеризуется эквивалентным числом коммутируемых потоков STM-N, или потоков 2 Мбит/с, или же дается в виде уровня коммутируемых виртуальных контейнеров. Обычно она согласуется с максимальной нагрузкой на мультиплексор и характеризует возможности кросс-коммутации самого мультиплексора. Однако при блочном построении мультиплексора, характерного для современных систем, она может характеризовать возможности матрицы кросс-коммутатора как блока. Как правило возможности кросс-коммутации в два (а для мультиплексоров, допускающих переход на следующий уровень иерархии и в четыре) раза выше максимально-возможного числа коммутируемых каналов 2 Мбит/с: для мультиплексоров STM-1 - 126 (2x63) каналов, для STM-4/16 - 504 (2x4x63) или 1008 (4x4x63) каналов.

Варианты использования оборудования. Приведенные мультиплексоры могут быть, как известно, сконфигурированы для использования в различных вариантах. Они могут быть терминальными мультиплексорами (ТМ), концентраторами (Н), регенераторами (R), мультиплексорами ввода/вывода (ADM), используемыми, в свою очередь, в линейных трактах (л) или в топологии "кольцо" (к). Некоторые разработки мультиплексоров уровня STM-16, могут использоваться только в вариантах ТМ и R или не могут быть использованы в топологии типа "кольцо".

Размеры компактных блоков в стойке. Это обычно размеры полок с однорядными или же двухрядными "кассетами", устанавливаемых на полку в стойку для компактных модификаций (индекс "С") мультиплексоров, или же блоков, вставляемых в слоты кассеты (см. например, рис.2-44, а также ниже пункт "Тип стойки и номенклатура блоков").

РС интерфейс F. Интерфейс F (см. гл. 4) используется для подключения локального терминала доступа оператора, в качестве которого обычно используется обычный или портативный (блочного типа) РС. С его помощью можно осуществлять функции контроля текущего состояния и анализа потока аварийной сигнализации или контроля/управления конфигурацией синхронного мультиплексора. Для подключения к мультиплексору обычно используется модемный канал, использующий последовательный порт с интерфейсом V.24/RS-232C и скоростью передачи 9.6 кбит/с или 19.2 кбит/с.

LAN интерфейсы. Эти интерфейсы используются в центре управления для связи мультиплексоров с **элементом менеджером EM (ЭМ) системы управления сетью NMS**. Эта связь осуществляется по локальной сети Ethernet (10 Мбит/с) или сети с коммутацией пакетов X.25, через так называемый Q-интерфейс (общее обозначение Q_x (Q_{B2} , Q_{B3} , Q_3 - версии интерфейса, поддерживающие различные стеки протоколов, см. 3.3.4) - для центральных (непосредственно связанных с LAN) мультиплексоров и Q_{ECC} - для удаленных мультиплексоров, использующих встроенный канал управления ECC, реализуемый при использовании байтов D4-D12 секционного заголовка SOH (см. гл. 4). Если нет более конкретных данных, то указываются соответствующие рекомендации ITU-T, которым по данным разработчика удовлетворяет указанный интерфейс.

Служебные каналы. Служебные каналы (см. гл. 4) организуются путем использования соответствующих байтов секционного заголовка SOH. Формально могут быть использованы байты D1-D12, E1-E2, Z1-Z2 и другие резервные байты. Каждый байт, используемый для этой цели, эквивалентен, как известно, формированию канала 64 кбит/с (учитывая частоту повторения фрейма 8000 Гц). Обычно для этой цели используются либо байты D4-D12, позволяющие сформировать до 4-х каналов общей пропускной способностью не выше 576 кбит/с с интерфейсом V.11, конфигурируемых по требуемой пропускной способности на 64, 192, 256, 512 или 576 кбит/с, либо байты E1-E2, позволяющие сформировать два служебных аналоговых канала с двухпроводным интерфейсом и возможностью подключения обычных телефонных аппаратов. Кроме того возможно формирование до 4-х каналов с интерфейсом G.703, конфигурируемых на 64 кбит/с или 2 Мбит/с. Весь этот набор возможных каналов помечен в таблице как **блок доступа к заголовку OHA** с указанием на компанию - производителя оборудования (например, блок OHA-AT&T - блок доступа к заголовку компании AT&T), учитывая различия в конкретной реализации этих блоков.

Максимальное число мультиплексоров, управляемых EM. Обычно это число не публикуется в проспектах, но является важной эксплуатационной характеристикой. Оно зависит от многих факторов, в том числе от емкости оперативной памяти РС системы управления и допустимого объема базы данных оборудования, создаваемой EM.

Тип используемой синхронизации. Учитывая важность синхронизации для синхронных сетей SDH мультиплексоры имеют различные дублирующие источники синхронизации. Обычно используются четыре типа источников сигнала синхронизации:

- внутренний таймер (в.т.), в качестве которого используется внутренний генератор синхросигнала 2048 кГц;
- сетевой таймер (с.т.), в качестве которого используется внешний генератор синхросигнала 2048 кГц;
- сигнал трибного интерфейсного блока (т.с.), в качестве которого обычно используется сигнал с триба 2048 кбит/с;
- линейный сигнал (л.с.), в качестве которого может использоваться сигнал с любого SIU (любой STM-N).

Тип стойки и блоков. Стойка, как отмечалось выше, обычно имеет одну или две полки для размещения компактных блоков или кассет с оборудованием типа сменных блоков, вставляемых в слоты. Размеры стоек, как правило, стандартизованы, хотя число используемых типоразмеров все же достаточно велико, так как только для ETSI, как отмечается ниже, существует три возможных типоразмера по ширине и как минимум два по высоте. У американских производителей их даже больше.

Если SDH оборудование выпускается со стойками европейского стандарта ETSI (например, стойка ETS300119 - 19 дюймов), то размеры стойки: 2200х600х300мм (Высота х Ширина х Глубина), если северо-американского - то ширина как правило 17 или 19 дюймов (эквивалент IEC-297). Блоки делятся на две части. Верхняя часть (иногда, но реже, это нижняя часть) представляет собой специальную область интерфейсов связи, где размещены внешние интерфейсные карты. Нижняя часть (иногда, но реже, верхняя) с одной или двумя полками (однорядная или двухрядная) служит для размещения сменных блоков. В таблице приведены, как правило, данные для однорядной конструкции стандарта ETSI. Конструкция мультиплексоров блочная, причем все сменные блоки осуществляют взаимодействие через внутреннюю шину. Сменные блоки делятся обычно на 5 категорий (здесь за основу взято деление блоков в аппаратуре компаний Philips, Nortel, Lucent Technologies):

- синхронные интерфейсные блоки (или блоки линейных или агрегатных выходов) SIU;
 - трибные интерфейсные блоки TIU;
 - центральные блоки CCU, BSU, MCU;
 - коммутирующие и согласующие блоки BBU, CMU, PPU;
 - специализированные блоки, например, блок доступа к секционному заголовку OAU.
- Обычно в комплекте со сменными блоками используются 5 типов интерфейсных карт:
- карта SCI для связи каналов данных с блоками SIU и проведения тестирования;
 - карты TCI, используемые как внешний интерфейс между каналами доступа (трибами) и блоками TIU;
 - карты MCI для связи портов синхронизации с блоком центрального генератора синхросигнала CCU, а также PC и LAN портов для связи с блоком управления и связи MCU;
 - карты OAI для связи между каналами данных и блоком OAU;
 - карты OWI для связи служебных каналов с блоком OAU.

Все расшифровки указанных сокращений помещены в списке сокращений.

Общее число сменных блоков в стойке. Учитывая стандартные размеры стоек ETSI, число размещаемых сменных блоков зависит от конструкции стоек, конструктивных особенностей самих блоков, а также номенклатуры блоков у разных производителей. Например, увеличение числа портов на карте 2 Мбит/с трибных блоков с 16 до 21 или использование автономных блоков питания непосредственно на картах, вместо централизованного блока питания, уменьшает требуемое число гнезд для установки основных блоков. Для стоек стандарта ETSI обычно используют два варианта - 19 или 17 дюймов (последний обычно имеет меньшую ширину, но больше места для размещения кабелей), и они могут вмещать не более 17 гнезд для сменных блоков, хотя есть и вариант для размещения 18 сменных блоков. Размеры некоторых блоков таковы, что могут занимать два гнезда, например, оптические линейные агрегатные блоки, или блоки питания, что приводит к различному общему числу размещаемых блоков. В качестве примера, на рис.2-44 показан вариант размещения блоков в стойке ETSI (19 дюймов) для мультиплексора 1651 SM компании Alcatel - 16 блоков на верхней кассете, 10 блоков на нижней кассете.

2.7.2.2. Новые технологические решения

Наряду с улучшением оптоэлектронной элементной базы, позволяющей совершенствовать отдельные модули оборудования, увеличивая, например, число портов 2 Мбит/с на интерфейсной карте, или позволяя устанавливать автономные блоки питания на интерфейсные карты, компании - производители SDH оборудования ищут новые технологические решения, позволяющие принципиально или существенно улучшить характеристики оборудования SDH. К таким решениям относится **использова-**

ние оптических усилителей, позволяющих существенно улучшить характеристики, **и методов мультиплексирования с разделением по длине волны**, позволяющих провести оптическое (спектральное) уплотнение каналов в несколько раз, максимально (на данный момент) - до шестнадцати.

Использование оптических усилителей. Большинство компаний стали использовать оптические усилители для увеличения возможностей мультиплексоров уровней STM-4, STM-16 и STM-64, включая их в список основных блоков. Эти усилители позволяют увеличить длину оптической регенераторной секции линейных сетей SDH до 110-160 км при длине волны лазерного источника 1550 нм практически вдвое уменьшая число требуемых регенераторов. Достоинством таких усилителей является отсутствие необходимости оптоэлектронных и электроннооптических преобразований сигнала при усилении. При использовании в других топологиях оптический усилитель позволяет повысить надежность приема/передачи при повышенных потерях в волоконно-оптическом кабеле (ВОК). Существующие оптические усилители позволяют обеспечить усиление (в зависимости от типа накачки) на уровне 9, 12 или 16 dBm и работают как со стандартным ВОК, так и с ВОК со сдвигом дисперсии. Конструктивно оптические усилители могут быть оформлены как блоки, устанавливаемые на отдельной стойке (AT&T), так и как стандартные блоки, устанавливаемые на той же стойке (Philips).

Использование мультиплексирования с разделением по длине волны. Обычно мультиплексоры в сетях SDH используют технологию временного разделения каналов и ориентированы на применение стандартного одномодового ВОК. В этом случае по одному волокну можно передавать один канал (полудуплексный или полнодуплексный, если используются оптические ответвители). Современный уровень технологии и применение оптических усилителей позволяет использовать **мультиплексирование с разделением по длинам волн WDM или спектральное уплотнение** каналов.

Учитывая, что спектральная характеристика ВОК имеет определенную ширину непрерывной полосы пропускания, в ней можно разместить несколько оптических несущих (каналов), отличающихся длиной волны настолько, чтобы уверенно разделяться приемной аппаратурой. Минимальный вариант такого мультиплексирования позволяет передавать два достаточно широко разнесенных канала по одному ВОК (1550 нм) со сдвигом дисперсии. При использовании же оптимизированного по дисперсии одномодового волокна (1550 нм), например, TrueWave компании AT&T, можно реализовать так называемое **высокоплотное мультиплексирование с разделением по длинам волн DWDM**, позволяющее передавать по одному волокну 4, 8 и даже 16 каналов [50]. Использование такой технологии особенно перспективно для увеличения пропускной способности линейных оптических SDH систем.

2.7.2.3. Номенклатура аппаратуры SDH компаний-производителей

Ниже приведен список оборудования SDH различных производителей, как мультиплексоров различных уровней, помещенных в таблице 2-2, так и оборудования другого типа, указанного в начале раздела 2.7.2. Список этот не претендует на полноту, так как автор ориентировался только на информацию из доступных ему каталогов. Аппаратура в списке размещена по группам, а внутри групп в порядке номеров моделей. Последними в перечне указаны системы управления.

Alcatel

Аппаратура SDH представлена серией Alcatel 16xx (мультиплексоры/кросс-коммутаторы), 96xx (радиорелейные системы) и 13xx (системы управления).

- | | |
|-----------|--|
| 1631 FX | - волоконно-оптический расширитель; имеет 3 входных модуля 4x2 Мбит/с и линейный оптический выход 51.84 Мбит/с (уровень SONET OC-1) для стыковки с дополнительным входом OC-1 у мультиплексоров 1641 SM и 1651 SM; |
| 1641 SM | - мультиплексор ввода/вывода уровня STM-1 SDH, дополнительно к указанным имеет вход OC-1; |
| 1641 SM/C | - компактный вариант мультиплексора 1641 SM для узлов с малым числом каналов 2 Мбит/с (карты 8x2Мбит/с); |
| 1651 SM | - мультиплексор ввода/вывода уровня STM-4 SDH; |
| 1651 SM/C | - мультиплексор ввода/вывода уровня STM-4 SDH, который может быть оборудован 2 интерфейсными платами уровня STM-16 с возможностью обработки половины потока с пропуском без обработки другой половины потока; |
| 1661 SM | - мультиплексор ввода/вывода уровня STM-16 SDH; |
| 1661 SM/C | - мультиплексор ввода/вывода уровня STM-16 SDH (с трибами PDH нижнего уровня - VC-12), имеет мощные встроенные средства кросс-коммутации; |
| 1664 SM/C | - мультиплексор ввода/вывода уровня STM-16 SDH, аналогичен 1661 SM, но оптимизирован для работы на 4-волоконных кольцевых магистралях; |
| 1674 SM/C | - мультиплексор ввода/вывода уровня STM-64 SDH; |
| 1654 SL | - линейная система передачи, рассчитанная на работу с потоком STM-4 SDH (4 триба PDH 140 Мбит/с, или 4 триба SDH STM-1, или их комбинация); |

- 1664 SL - линейная система передачи, рассчитанная на работу с потоком STM-16 SDH (16 трибов PDH 140 Мбит/с или 4 триба SDH STM-1 или их комбинация);
- 1641 SX - синхронный кросс-коммутатор класса DXC-4/3/1 потоков 1.5/2, 34/45, 140, 155 и 622 Мбит/с с максимальной производительностью эквивалентной коммутации 192 потоков STM-1;
- 1644 SX - электронный кросс-коммутатор потоков уровня 140 Мбит/с PDH или 155 Мбит/с SDH - позволяет осуществить неблокируемую кросс-коммутацию до 512 потоков 140/155 Мбит/с;
- 96xx - радиорелейная (микроволновая) система SDH, включающая следующие модификации: LH - система уровня STM-1 с длинными межстанционными секциями; UH - система уровня STM-1 для работы в городских условиях; LM - система уровня OC-1 для работы с сетями доступа; UM - система уровня OC-1 для работы в городских условиях;
- 9667 TH - транспортная радиорелейная система уровня STM-1;
- 1353 RM - региональный менеджер систем SDH на уровне управления сетью (управляет 1353 SH);
- 1353 SH - менеджер элементов для систем SDH, рассчитан на работу со скоростями STM-1, 4, 16;
- 1353 WX - менеджер элементов для кросс-коммутаторов, рассчитанных на работу как с PDH, так и SDH трибами.
- 1354 NN - менеджер национальной сети для систем передачи PDH и SDH (управляет 1354 RM);

AT&T (Lucent Technologies)

Аппаратура SDH представлена серией 2000 мультиплексоров и линейных систем.

- ISM-2000 - базовый мультиплексор, который может быть сконфигурирован как терминальный и линейный мультиплексор, регенератор и мультиплексор ввода/вывода SDH каналов уровня STM-1, как терминальный и линейный мультиплексор и мультиплексор ввода/вывода уровня STM-4 и как терминальный мультиплексор уровня STM-16;
- SLM-2000-4 - синхронный линейный мультиплексор уровня STM-4, который может быть сконфигурирован как терминальный и линейный мультиплексор, регенератор и мультиплексор ввода/вывода с четырьмя трибами уровня VC-4/STM-1; он может использоваться в качестве мультиплексора ввода/вывода и в топологии "кольцо";
- SLM-2000-16 - синхронный линейный мультиплексор уровня STM-16, который может быть сконфигурирован как терминальный и линейный мультиплексор, регенератор и мультиплексор ввода/вывода с 16 трибами уровня VC-4/STM-1; он может использоваться в качестве мультиплексора ввода/вывода и в топологии "кольцо";
- DACS-VI-2000 - неблокирующий кросс-коммутатор общего вида класса DXC-4/1, допускающий максимум 32 интерфейса, эквивалентных STM-1;
- ITM-SC - элемент-менеджер для управления оборудованием SDH сетей;
- ITM-XM/NM - сетевой менеджер для управления сетями SDH.

Возможно расширение номенклатуры изделий в связи с тем, что AT&T приобрела бизнес, связанный с производством оборудования SDH у компании Philips.

ECI

Аппаратура SDH представлена сериями SYNCOM SDM-xx и SLX-xx., SLR-xx.

- SDM-1 - базовый мультиплексор уровня STM-1, может быть сконфигурирован как терминальный или линейный мультиплексор, или мультиплексор ввода/вывода;
- SDM-1m - малогабаритный базовый мультиплексор уровня STM-1;
- SDM-4 - базовый мультиплексор уровня STM-4, может быть сконфигурирован как терминальный мультиплексор или как мультиплексор ввода/вывода;
- SDM-4/16 - базовый мультиплексор уровня STM-16 (совмещенный на уровне съемных блоков с уровнем STM-4), может быть сконфигурирован как терминальный или линейный мультиплексор, или как мультиплексор ввода/вывода;
- SDM-16 - базовый мультиплексор уровня STM-16, может быть сконфигурирован как терминальный или линейный мультиплексор, или как мультиплексор ввода/вывода;
- SDM-16F - базовый мультиплексор уровня STM-16 с трибами нижнего уровня, начиная с 2 Мбит/с, может быть сконфигурирован как терминальный или линейный мультиплексор, или как мультиплексор ввода/вывода;
- SLR-4 - синхронный линейный регенератор уровня STM-4;
- SLR-16 - синхронный линейный регенератор уровня STM-16;
- SLX-4 - синхронный линейный мультиплексор ввода/вывода уровня STM-4 с трибами E4/T4 и STM-1;
- SLX-16 - синхронный линейный мультиплексор ввода/вывода уровня STM-16 с трибами нижнего и верхнего уровней (E4/T4 и STM-1);

T::DAX	- широкополосный кросс-коммутатор общего назначения класса DXC-4/3/1, поддерживающий стандарты Async, PDH, SDH, SONET, допускающий максимально 64 интерфейса, эквивалентных STM-1;
PSM-1	- система связи (шлюз) между сетями SDH и PDH с полноформатным преобразованием сигнала и возможностью организации связи двух сетей SDH через сегмент сети PDH;
SDH-Radio	- радиорелейные системы SDH уровня STM-1 и STM-4;
eEM	- элемент-менеджер для управления оборудованием сетей SDH;
eNM	- сетевой менеджер для управления сетями SDH;
eRMS	- система контроля и дистанционного мониторинга для подключения к центральным управляющим рабочим станциям сети SDH.

GPT

Аппаратура SDH представлена сериями SL-xx и SMA-xx.

SMA-1	- базовый синхронный мультиплексор уровня STM-1, который может быть сконфигурирован как терминальный или линейный мультиплексор, оптический концентратор или мультиплексор ввода/вывода;
SMA-1c	- компактный вариант базового терминального мультиплексора SMA-1;
SMA-4	- базовый синхронный мультиплексор уровня STM-4, который может быть сконфигурирован как терминальный или линейный мультиплексор, оптический концентратор или мультиплексор ввода/вывода;
SMA-4c	- компактный вариант базового терминального мультиплексора SMA-4;
SMA-16	- базовый синхронный мультиплексор уровня STM-16, который может быть сконфигурирован как терминальный или линейный мультиплексор, или мультиплексор ввода/вывода;
SMA-16c	- компактный вариант базового терминального мультиплексора SMA-16;
SL-4	- синхронный линейный мультиплексор уровня STM-4, который может быть сконфигурирован как регенератор (SLR-4), терминальный мультиплексор (SLT-4) или линейный мультиплексор ввода/вывода (SLA-4);
SL-16	- синхронный линейный мультиплексор уровня STM-16, который может быть сконфигурирован как регенератор (SLR-16), терминальный мультиплексор (SLT-16) или линейный мультиплексор (SL-16);
EM-OS	- элемент-менеджер регионального уровня для управления элементами оборудования SDH сетей;
SMN-OS	- сетевой менеджер национального уровня для управления сетями SDH.

GPT и Siemens используют ряд общих разработок оборудования SDH и систем управления (см. Аппаратуру фирмы Siemens).

NEC

Аппаратура SDH представлена серией SMS-xxx.

SMS-150	- базовый мультиплексор уровня STM-1, выпускаемый в четырех модификациях: A, L, R, T;
SMS-150A	- мультиплексор ввода/вывода с защитой 1+1 уровня STM-1;
SMS-150L	- линейный мультиплексор уровня STM-1;
SMS-150R	- регенератор уровня STM-1;
SMS-150T	- терминальный мультиплексор с защитой 1+1 уровня STM-1;
SMS-600	- базовый мультиплексор уровня STM-4, выпускаемый в трех модификациях R, T, W;
SMS-600R	- регенератор (оптический ретранслятор) уровня STM-4;
SMS-600T	- терминальный мультиплексор с защитой 1+1 уровня STM-4;
SMS-600W	- широкополосный мультиплексор ввода/вывода с защитой 1+1 уровня STM-4;
SMS-2500	- базовый мультиплексор уровня STM-16, выпускаемый в двух модификациях R, T;
SMS-2500R	- регенератор (оптический ретранслятор) уровня STM-16;
SMS-2500T	- терминальный мультиплексор с защитой 1+1 уровня STM-16;
SDH MRS	- радиорелейная система передачи сигналов SDH уровня STM-1 или сигналов PDH 140 Мбит/с;
ACT NET-X	- система управления элементами оборудования сетей SDH.

Nokia

Аппаратура SDH представлена серией SYNFO NET STM-N мультиплексорами и системой управления TMS. Особенностью является блочная структура построения мультиплексоров с отдельными коммутаторными блоками двух типов и расширителем трибных интерфейсов.

STM-1	- базовый синхронный мультиплексор уровня STM-1, который может быть сконфигурирован как терминальный (TM) или мультиплексор ввода/вывода (ADM);
STM-1E	- расширитель трибных интерфейсов до 126 каналов 2 Мбит/с;

- STM-4 - базовый синхронный мультиплексор уровня STM-4, который может быть сконфигурирован как терминальный (ТМ) или мультиплексор ввода/вывода (ADM);
- STM-16 - базовый синхронный мультиплексор уровня STM-16, который может быть сконфигурирован как терминальный или линейный мультиплексор, или регенератор;
- DXC - неблокируемый цифровой кросс-коммутатор с коммутирующим эквивалентом 16xSTM-1;
- TMS-OS - система управления элементами оборудования сетей SDH и PDH.

Nortel

Аппаратура SDH представлена серией TN-xx.

- TN-1C - компактный синхронный мультиплексор уровня STM-1, имеющий 16 портов 2 Мбит/с или один порт 34 Мбит/с;
- TN-1X - базовый синхронный мультиплексор уровня STM-1, который может быть сконфигурирован как терминальный или линейный мультиплексор, регенератор, оптический концентратор или мультиплексор ввода/вывода;
- TN-4X - базовый синхронный мультиплексор уровня STM-4, который может быть сконфигурирован как терминальный или линейный мультиплексор, регенератор, оптический концентратор или мультиплексор ввода/вывода;
- TN-16X - базовый синхронный мультиплексор уровня STM-16, который может быть сконфигурирован как терминальный или линейный мультиплексор, или регенератор.
- TN-MS - система управления элементами оборудования сетей SDH.

Philips

Аппаратура SDH представлена серией PHASE-FNS, включающей четыре возможных типа сетевых элемента: ADM, LR, LXC, ТМ для трех уровней SDH - STM-1, STM-4, STM-16.

- ADM-1/1 - мультиплексор ввода/вывода с защитой 1+1 уровня STM-1 и связью на уровне VC-12;
- ADM-4/1 - мультиплексор ввода/вывода с защитой 1+1 уровня STM-4 и связью на уровне VC-12;
- ADM-4/4 - мультиплексор ввода/вывода с защитой 1+1 уровня STM-4 и связью на уровне VC-4;
- ADM-16/4 - мультиплексор ввода/вывода с защитой 1+1 уровня STM-16 и связью на уровне VC-4;
- LR-1 - линейный регенератор уровня STM-1;
- LR-4 - линейный регенератор уровня STM-4;
- LR-16 - линейный регенератор уровня STM-16;
- LXC-1/1 - локальный кросс-коммутатор уровня STM-1 и связью на уровне VC-12;
- LXC-4/1 - локальный кросс-коммутатор уровня STM-4 и связью на уровне VC-12;
- LXC-4/4 - локальный кросс-коммутатор уровня STM-4 и связью на уровне VC-4;
- LXC-16/4 - локальный кросс-коммутатор уровня STM-16 и связью на уровне VC-4;
- TM-1/1 - терминальный мультиплексор с защитой 1+1 уровня STM-1 и связью на уровне VC-12;
- TM-4/1 - терминальный мультиплексор с защитой 1+1 уровня STM-4 и связью на уровне VC-12;
- TM-4/4 - терминальный мультиплексор с защитой 1+1 уровня STM-4 и связью на уровне VC-4;
- TM-16/4 - терминальный мультиплексор с защитой 1+1 уровня STM-16 и связью на уровне VC-4;
- PHAMOS-SDH - усовершенствованная система управления и администрирования элементов SDH сетей компании Philips; используется как региональный элемент-менеджер, так и национальный сетевой менеджер.

Siemens

Аппаратура SDH представлена сериями: SMA-xx, SXC-xx, SL-xx.

- SMA-1 - базовый блочный синхронный мультиплексор уровня STM-1, который может быть сконфигурирован как терминальный мультиплексор, локальный кросс-коммутатор или мультиплексор ввода/вывода;
- SMA-1-R2 - базовый блочный синхронный мультиплексор 2-го поколения уровня STM-1, который может быть сконфигурирован как терминальный мультиплексор, локальный кросс-коммутатор или мультиплексор ввода/вывода;
- SMA-4 - базовый блочный синхронный мультиплексор уровня STM-4, который может быть сконфигурирован как терминальный мультиплексор, локальный кросс-коммутатор или мультиплексор ввода/вывода;
- SMA-4-R2 - базовый блочный синхронный мультиплексор 2-го поколения уровня STM-4, который может быть сконфигурирован как терминальный мультиплексор, локальный кросс-коммутатор или мультиплексор ввода/вывода;
- SMA-16 - базовый блочный синхронный мультиплексор уровня STM-16, который может быть сконфигурирован как терминальный мультиплексор, локальный кросс-коммутатор или мультиплексор ввода/вывода;
- SMA-16-R2 - базовый блочный синхронный мультиплексор 2-го поколения уровня STM-16, который может быть сконфигурирован как терминальный мультиплексор, локальный кросс-коммутатор или мультиплексор ввода/вывода;

SMT-1D	- двухтерминальный синхронный мультиплексор 2-го поколения уровня STM-1, который может быть сконфигурирован как терминальный мультиплексор, концентратор или мультиплексор ввода/вывода;
SL-1	- линейная SDH система уровня STM-1 (линейные мультиплексоры ввода/вывода, регенераторы - SLR-1) или терминальные мультиплексоры SLT-1;
SL-4	- синхронный линейный мультиплексор уровня STM-4, который может быть сконфигурирован как регенератор (SLR-4), терминальный мультиплексор (SLT-4), линейный мультиплексор ввода/вывода (SLA-4);
SL-16	- синхронный линейный мультиплексор уровня STM-16, который может быть сконфигурирован как регенератор (SLR-16), терминальный мультиплексор (SLT-16) или линейный мультиплексор (SL-16);
SL-64	- синхронный линейный мультиплексор уровня STM-64 (10 Гбит/с), который может быть сконфигурирован как регенератор (SLR-64), терминальный мультиплексор (SLT-64) или линейный мультиплексор (SL-64);
SRT1x155	- синхронный радиотранк для передачи каналов STM-1 общей емкостью от 4 до 24 каналов;
SRT2x155	- сдвоенный синхронный радиотранк для передачи каналов STM-1 общей емкостью от 2x4 до 2x12 каналов;
SXC-4/1	- синхронный модульный кросс-коммутатор, который может быть использован для коммутации без блокировки PDH (E1, E3, E4) и SDH (STM-1) сигналов с эквивалентной максимальной нагрузкой до 16384 портов (2 Мбит/с), старое обозначение - CCM2;
SXC-4/4	- синхронный модульный кросс-коммутатор, который может быть использован для коммутации без блокировки PDH (E4) и SDH (STM-1) сигналов с эквивалентной максимальной нагрузкой до 1024 портов (140/155 Мбит/с), старое обозначение - CC155;
EM-OS	- элемент-менеджер регионального уровня для управления элементами оборудования SDH сетей;
SMN-OS	- сетевой менеджер национального уровня для управления сетями SDH.

Кроме указанных на европейский рынок поставляется мультиплексор SMA-64-R2, аналогичный SMA-16-R2, но рассчитанный на уровень STM-64 SDH.

2.7.3. Практический пример расчета сети SDH

Широкое распространение сетей SDH в последнее время связано не только со строительством новых, преимущественно линейных или кольцевых, сетей, но и с модернизацией старых телефонных сетей, в том числе и тех, которые используют достаточно современные, особенно для России, PDH сети на основе BOK. В ряде случаев такие станции для обеспечения связи друг с другом в пределах одного района связывались в так называемое **технологическое кольцо**. Если потоки на различных участках такого технологического кольца значительно отличаются, то использование характерных кольцевых SDH топологий бывает не всегда оправдано, так как приводит к завышению необходимого числа каналов, циркулирующих по кольцу, и, как следствие, к необходимости использовать SDH мультиплексоры ввода/вывода более высокого уровня. В этих случаях может оказаться, что дешевле использовать сети с ячеистой структурой, основанные на топологиях "точка-точка" и "звезда", тем более, что современные мультиплексоры позволяют использовать последнюю топологию с достаточно большим числом лучей за счет использования более гибких схем кросс-коммутации в центральном узле.

Рассмотрим достаточно типичное **Техническое Задание на проектирование сети SDH**:

- в районе построено 6 цифровых АТС;
 - предполагается использовать технологию SDH, связав все станции в единую сеть;
 - цифровая коммутация АТС позволяет использовать как основные цифровые каналы (ОЦК) со скоростью 64 кбит/с, так и каналы с первичной скоростью иерархии PDH - 2 Мбит/с;
 - каналы имеют интерфейсы G.703 и могут быть состыкованы с РПЛ или BOK линиями магистральной связи;
 - сеть предполагается построить в два этапа: первый - осуществляется, например, в 1997г., а второй - в 1998г.;
 - существующий и предполагаемый в 1998г. сетевой трафик, пересчитанный на число каналов 2 Мбит/с, представлен в таблице 2-3 числами слева от главной диагонали ABCDEF (за основу для примера принята схема трафика, приведенная в [58]);
 - часть каналов должны иметь 100% резервирование, т.е. защиту типа 1+1 (в терминологии SDH сетей), они представлены числами в той же таблице, справа от диагонали ABCDEF.
- Требуется выбрать топологию и необходимое оборудование.

Таблица 2-3.
Сетевой межстанционный трафик

	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998
A			30/10	70/14	30/5	50/10	30/3	60/12	10/1	15/3	10/0	17/4
B	30/10	70/14			7/2	17/4	4/0	10/4	5/0	7/2	4/1	8/2
C	30/5	50/10	7/2	17/4			2/2	7/7	---	3/1	---	---
D	30/3	60/12	4/0	10/4	2/2	7/7			---	---	---	4/1
E	10/1	15/3	5/0	7/2	---	3/1	---	---			---	2/0
F	10/0	17/4	4/1	8/2	---	---	---	4/1	---	2/0		
Сумма	110/19	212/43	50/13	112/26	39/9	77/22	36/5	81/24	15/1	27/6	14/1	31/7

Схема решения включает следующие этапы:

- выбор топологии,
- выбор требуемого уровня и числа мультиплексоров,
- выбор поставщика оборудования и изучение номенклатуры сменных блоков,
- конфигурация мультиплексорных узлов и составление спецификации оборудования.

Выбор топологии

Не вдаваясь подробно в анализ ситуации, можно предложить три возможные топологии: кольцевую, радиально-кольцевую и ячеистую.

Кольцевая топология, объединяя все шесть станций в кольцо, требует использования мультиплексоров уровня STM-4 с суммарным потоком до 252 (4х63=252) каналов 2 Мбит/с, так как общий поток по кольцу, определяемый максимальным потоком на одном из его участков, равен 212 каналов 2 Мбит/с (см. таб.2-3 - поток через узел А в 1998г.). Преимуществом такого решения может быть только стопроцентное резервирование всех, а не только требуемых, каналов.

Радиально-кольцевая топология. Так как только два узла: Е и F имеют потоки меньше 63 каналов - 27 и 31 соответственно (см. таб.2-3), то кольцо должно состоять из 4 мультиплексоров уровня STM-4 и одной радиальной ветви (если Е и F связаны между собой непосредственно) или двух радиальных ветвей (если они подключаются к кольцу порознь: Е к С, а F к D и не связаны между собой непосредственно). Радиальные ветви требуют топологии “точка-точка” типа уплощенного кольца (рис.2-28), если нужна защита, где “точка”, контактирующая с кольцом (рис.2-34) или **мультиплексор связи** должен быть типа ADM, а не TM, для организации перегрузки потока с кольцевого узла на радиальный. В первом варианте решения поэтому потребуется 4 мультиплексора уровня STM-4 и три - уровня STM-1, во втором - на один мультиплексор уровня STM-1 больше. В ряде случаев (наличие свободных слотов для кросс-коммутатора) роль мультиплексора связи может играть мультиплексор кольцевого узла, что уменьшает надежность сети, но приводит к экономии одного (первый вариант) или двух (второй вариант) мультиплексоров связи.

Ячеистая топология может иметь вид, приведенный на рис.2-45. Ячеистая сеть состоит из двух квадратных ячеек и содержит шесть узлов. Каждый из них на практике соответствует мультиплексору уровня STM-N, установленному на цифровой АТС. В нашем случае в узлах А, В, С, D - мультиплексоры уровня STM-4, а в узлах Е и F - уровня STM-1 (потоки между С и Е, Е и F, D и F несут меньше 63 каналов).

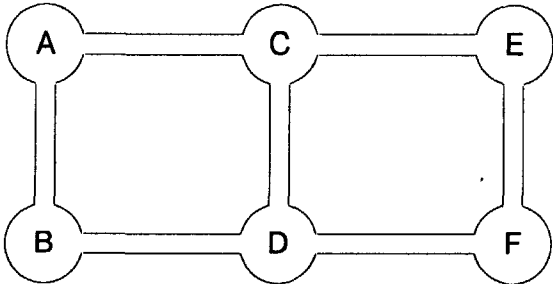


Рис.2-45. Схема простой ячеистой сети SDH

Эта схема приводит к минимальному числу требуемых мультиплексоров различных уровней и с этой точки зрения она оптимальна, однако сложности возникают при необходимости организации защиты выделенных каналов. Вопросы защиты решаются здесь как и в обычных сетях путем направления выделенного канала по двум маршрутам с совпадающими конечными точками, например, по маршрутам $A \rightarrow B$ и $A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow B$. Такая схема защиты "по разнесенным маршрутам" (1:1) иногда более предпочтительна, чем схема защиты 1:1 в кольце SDH. Однако она требует более тщательного расчета числа потоков, проходящих по отдельным ветвям сети, для того, чтобы убедиться, что оно не превышает возможности кросс-коммутатора узлового мультиплексора, прежде чем ответить на вопрос о том, какого уровня мультиплексор может быть использован в данном узле.

Рассмотрим эту проверку более подробно, основываясь на информации из таб.2-3. В результате получим следующую таблицу 2-4, дающую сводную информацию о потоках, проходящих по ВОК между узловыми мультиплексорами на станциях (защищаемые каналы, проходящие по резервным маршрутам, помечены буквой "р"). Число каналов дано по годам 1997/1998. В последней строке помещены итоговые суммы на последнем этапе.

Таблица 2-4.
Основные и резервные потоки по сегментам ячеистой сети

Потоки в сегментах ячеистой сети													
A → B		A → C		B → D		C → D		C → E		D → F		E → F	
A-B	30/70	A-B(р)	10/14	A-B(р)	10/14	A-B(р)	10/14	A-E	10/15	A-E(р)	1/3	A-E(р)	1/3
A-C(р)	5/10	A-C	30/50	A-C(р)	5/10	A-C(р)	5/10	A-F	10/17	A-F(р)	0/4	A-F	10/17
A-D	30/60	A-D(р)	3/12	A-D	30/60	A-D(р)	3/12	B-E(р)	0/2	B-E	5/7	B-E	5/7
A-E(р)	1/3	A-E	10/15	A-E(р)	1/3	B-C	7/17	B-F(р)	1/2	B-F	4/8	B-F(р)	1/2
A-F(р)	0/4	A-F	10/17	A-F(р)	0/4	B-D(р)	0/4	C-E	0/3	C-E(р)	0/1	C-E(р)	0/1
B-C(р)	2/4	B-C(р)	2/4	B-C	7/17	C-D	2/7	D-F(р)	0/1	D-F	0/4	D-F(р)	0/1
B-D(р)	0/4	B-D(р)	0/4	B-D	4/10	C-E(р)	0/1					E-F	0/2
B-E(р)	0/2	B-E(р)	0/2	B-E	5/7	D-F(р)	0/1						
B-F(р)	1/2	B-F(р)	1/2	B-F	4/8								
C-D(р)	2/7	C-D(р)	2/7	C-D(р)	2/7								
Сумма	166	Сумма	127	Сумма	140	Сумма	66	Сумма	40	Сумма	27	Сумма	33

В качестве резервных были выбраны следующие маршруты:

- основной $A \rightarrow B$, резервный $A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow B$;
- основной $A \rightarrow C$, резервный $A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow C$;
- основной $B \rightarrow D$, резервный $B \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow D$;
- основной $C \rightarrow D$, резервный $C \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow D$;
- основной $C \rightarrow E$, резервный $C \rightarrow D \rightarrow F \rightarrow E$;
- основной $D \rightarrow F$, резервный $D \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow F$;
- основной $E \rightarrow F$, резервный $E \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow F$.

Заметим, что резервные маршруты в этой топологической структуре выбираются в пределах одной ячейки.

Выбор требуемого уровня и числа мультиплексоров. Полученная таблица подтверждает правильность выбора уровней мультиплексоров в узлах A-F и может служить показателем эффективности использования коммутационной способности узлов. В результате данного краткого обзора возможных топологий можно рекомендовать для использования ячеистую сеть с топологией на рис.2-45 как оптимальную, так как она при минимальном числе мультиплексоров (4 - уровня STM-4 и 2 - уровня STM-1) удовлетворяет поставленным условиям по резервированию определенных указанных каналов.

Выбор поставщика оборудования. Для конфигурации узлов, составления спецификации сменных модулей и прорисовки блок-схемы соединений сменных блоков всех узлов, кроме топологии сети (рис.2-45) и той информации, которая содержится в таблицах 2-3, 2-4, нужно иметь номенклату-

ру функциональных сменных блоков (неплохо также иметь ясное понимание их назначения и функциональных возможностей). Для этого необходима привязка к оборудованию конкретного производителя. Для нашего примера выбрано оборудование компании Nokia. Учитывая два этапа развития сети, следует указать какие блоки будут установлены на первом и какие на втором этапах.

Номенклатура сменных блоков SDH компании Nokia, используемых в примере:

- 2M - трибный интерфейсный блок 2 Мбит/с - интерфейсная карта на 16 портов 2 Мбит/с без терминального адаптера (ТА), функционирует только при наличии сменного блока 2MTA (до трех карт 2M на одну карту 2MTA);
- 2MTA - трибный интерфейсный блок 2 Мбит/с - интерфейсная карта на 16 портов 2 Мбит/с с терминальным адаптером (ТА);
- STM-1 - линейный оптический агрегатный блок 155 Мбит/с;
- STM-1E - линейный электрический агрегатный блок 155 Мбит/с;
- STM-4 - линейный оптический агрегатный блок 622 Мбит/с;
- SSW - блок системного кросс-коммутатора - центральный блок кросс-коммутатора типа DXC-4/4/1 с эквивалентной емкостью коммутации 16xAU-4 для коммутации VC-4, VC-12;
- TSW1 - терминальный блок системного кросс-коммутатора - блок синхронизации AU-12 и AU-4 на входе для осуществления кросс-коммутации;
- CU - блок управления и синхронизации;
- SPIU - блок питания полки (кассеты);
- SU - блок обслуживания интерфейсов.

Конфигурация мультиплексорных узлов и составление спецификации оборудования

Конфигурация узлов с мультиплексорами STM-1. Для работы любого SDH мультиплексора уровня STM-1 при минимальной конфигурации (1 трибная интерфейсная карта - 16 каналов 2 Мбит/с) требуется следующий набор блоков: 2xSTM-1, SSW, 2MTA, CU, SPIU, SU. Следовательно, для узлов E и F (обслуживающих на первом этапе 15 и 14 каналов, а на втором этапе 27 и 31 канал соответственно) достаточно иметь минимальную конфигурацию на первом этапе с добавлением по одному блоку типа 2M на втором этапе. Так как узлы E и F соединяются с узлами C и D оптическим каналом уровня STM-1, то никаких других блоков преобразования не требуется (рис.2-46, узлы E и F).

Конфигурация узлов с мультиплексорами STM-4. Для работы SDH мультиплексора уровня STM-4 при минимальной конфигурации (1 трибная интерфейсная карта - 16 каналов 2 Мбит/с) требуется следующий набор блоков: 2xSTM-4, SSW, 2xTSW1, 2MTA, CU, SPIU, SU, если данный мультиплексор связан с другим таким же мультиплексором по оптическому каналу уровня STM-4 (как например мультиплексор узла B).

Для мультиплексора узла B, обслуживающего на первом этапе 50, а на втором - 112 каналов соответственно, следовательно, достаточно иметь на первом этапе минимальную конфигурацию с добавлением 1 блока 2MTA и 2 блоков типа 2M, а на втором этапе добавить еще 4 блока 2M.

Для мультиплексоров узлов C и D, работающих фактически в режиме концентраторов и дающих доступ потокам ячейки уровня STM-1 к ячейке уровня STM-4 (являющейся по сути "технологическим" кольцом STM-4), нужно предусмотреть по одному блоку STM-1 для связи с мультиплексорами E и F соответственно на уровне оптического триба STM-1. Дополнительно они должны быть укомплектованы необходимым числом трибных интерфейсных блоков 2 Мбит/с, учитывая, что на первом этапе C и F должны обрабатывать 39 и 36 каналов, а на втором - 77 и 81 канал соответственно, необходимо максимально 5 карт для узла C и 6 - для D, 2 из которых должны быть типа 2MTA, (рис.2-46, узлы C и D).

Для мультиплексорного узла A, работающего в режиме мультиплексора ввода/вывода в технологическом кольце A→B→D→C, требуется обслуживать 110 каналов на первом и 212 каналов на втором этапах. Это требует 9 (7 типа 2M + 2 типа 2MTA) трибных интерфейсных блоков на первом и 14 (10 типа 2M + 4 типа 2MTA) на втором этапах. Учитывая, что возможность кросс-коммутации узла STM-4 минимально составляет 252 (4x63) канала 2 Мбит/с, а возможность размещения большого числа трибных интерфейсных блоков на одной полке ограничена, предлагается использовать дополнительные полки (помечаемые как узлы A1, A2, A3), связанные с основной полкой на уровне электрических трибов STM-1 (на рис.2-46 приведено одно из возможных решений узла A).

Учитывая вышесказанное и рис.2-46, на котором для простоты не показаны блоки SPIU и SU, можно составить спецификацию на оборудование, необходимое для формирования указанной сети.

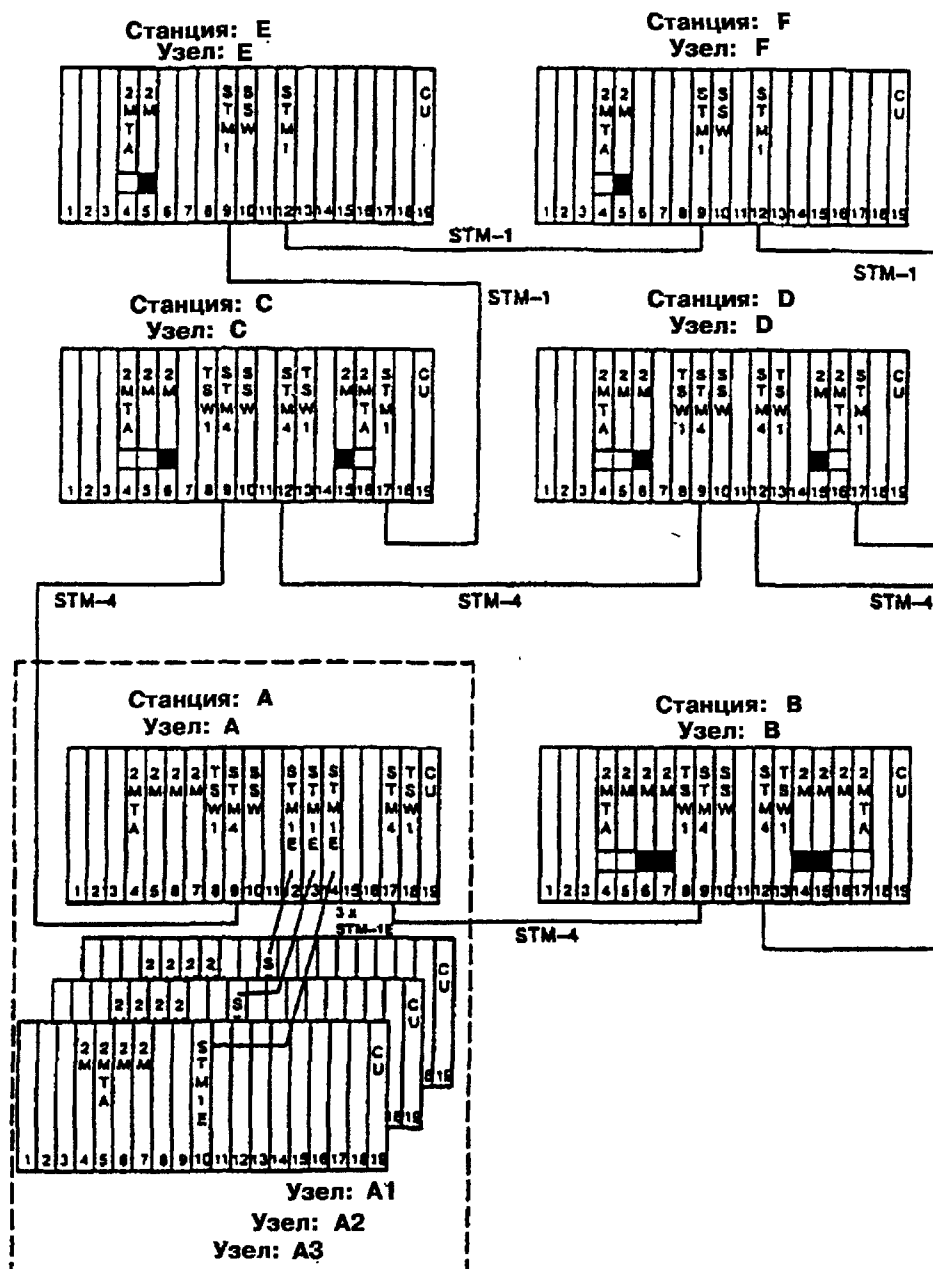


Рис.2-46. Схема конфигурации и функциональной связи узлов SDH сети

2.8. ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНЕЙНЫХ SDH СИСТЕМ

Технология SDH не ограничивает использование в качестве среды передачи только ВОК. В последнее время широкое распространение получило и использование радиоканалов для организации радиорелейных линейных сетей SDH. Мы уже упоминали выше об одной такой сети (SDH РРЛ Москва-Хабаровск), использующей уровень STM-1 SDH. Радиорелейные каналы имеют большие перспективы для применения в следующих целях:

- для замены радиорелейных PDH систем для возможности более эффективного взаимодействия с существующими SDH системами;
- организации альтернативных путей передачи SDH сигналов в ячеистых сетях;
- резервирования существующих волоконно-оптических SDH линий;

- связи SDH колец;
- решения оперативных задач при замыкании колец SDH или на сложных для прокладки ВОК участках.

Магистральные SDH ППЛ до последнего времени использовали уровень STM-1 или скорость передачи 155 Мбит/с. При необходимости обеспечить большую емкость использовались N каналов STM-1. В последнее время в связи с принятием новых версий рекомендаций ITU-T G.7xx (Белая книга) появилась возможность использовать нулевой уровень SDH - STM-0 (соответствующий уровню SONET OC-1). Он больше известен не как новый уровень SDH, а как особый формат STM-RR синхронного транспортного модуля STM со скоростью передачи 51.840 Мбит/с, который не может использоваться на интерфейсах кабельных сетевых узлов SDH [12].

Рекомендованная структура фрейма STM-RR, описанная в [17, Annex A], приведена на рис.2-47.

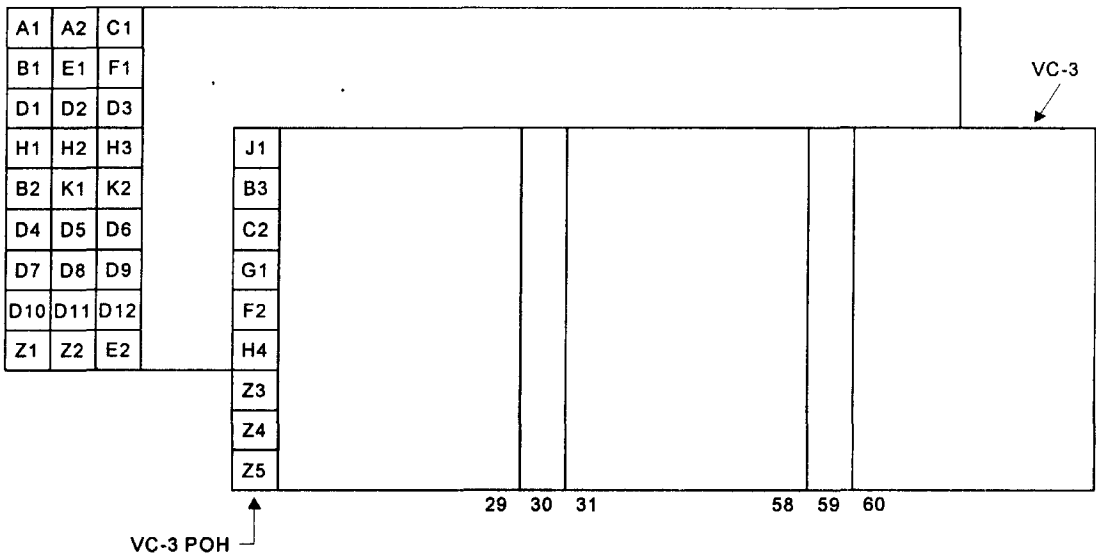


Рис.2-47. Структура фрейма STM-RR и его полезная нагрузка VC-3

На этом рисунке показана структура используемого для этой цели виртуального контейнера VC-3 (столбцы 30 и 59 - фиксированный наполнитель). Этот контейнер используется в качестве нагрузки административного блока AU-3, который и формирует структуру модуля STM-RR, как это показано на обобщенной схеме, представленной на рис.2-48. В публикации [12] этот модуль называется "субпервичным", а схема его формирования, приведенная в соответствии со стандартом ETSI, не содержит ветви VC-11 -- TU-11, вместо которой используется ветвь VC-11 -- TU-12.

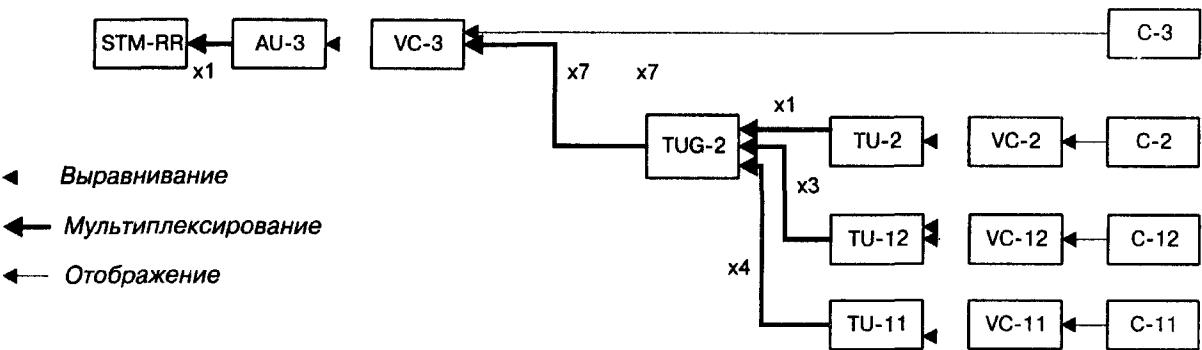


Рис.2-48. Схема мультиплексирования в SDH при формировании STM-RR

В той же публикации [12] указана схема перехода от модуля STM-RR к модулю STM-1, приведенная ниже на рис.2-49. Эта схема перехода рекомендуется для использования на интерфейсах сетевых узлов российских сетей. Она осуществляет демультиплексирование STM-RR до уровня TUG-2 или C3 и последующее мультиплексирование по схеме TUG-2→TUG-3 или по схеме C3 → VC-3 → TU-3 → TUG-3, а далее в обоих случаях по стандартной схеме: TUG-3 → VC-4 → AU-4 → AUG → STM-1.

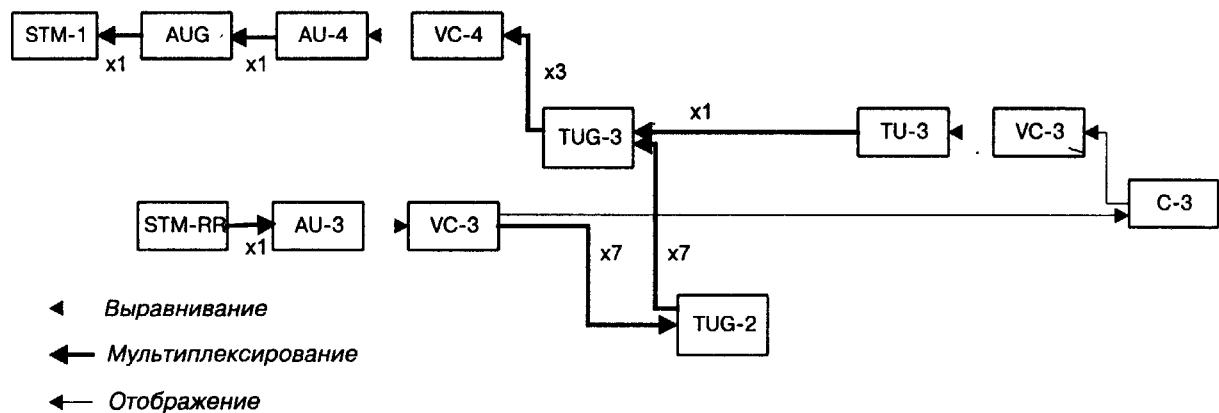


Рис.2-49. Схема перехода от модуля STM-RR к модулю STM-1

Следует заметить, что модуль STM-0 уже используется в качестве триба SDH нулевого уровня в аппаратных реализациях мультиплексоров SDH новой генерации [57], давая возможность реализовать простую и гибкую связь между ППЛ SDH, использующими скорость 51.840 Мбит/с, и стандартными сетями SDH.

Как видно из обзора, приведенного выше в п.2.7.2., многие компании, производящие SDH оборудование, такие как: Alcatel, ECI, NEC, Siemens, имеют и SDH ППЛ системы. Две из них, - NEC и Siemens, использовали его в России на линиях SDH Москва-Хабаровск и Москва-Новороссийск. Соответствующее оборудование указанных фирм перечислено в номенклатурных списках, приведенных в 2.7.2.3.

2.9. ИНТЕРФЕЙС G.703

Использование современных систем телекоммуникаций возможно только при наличии соответствующих стандартных интерфейсов в терминальных устройствах (устройствах приема и передачи сигналов). Ряд таких интерфейсов хорошо известны ввиду их универсальности, например, RS-232 (или V.24), другие - менее известны в силу своей ориентации на определенные технологии телекоммуникаций, например, V.35, G.703. Если назначение и схема разводки сигналов одних интерфейсов, например, V.24, V.35, приводится практически во всех специализированных справочниках и приложениях к каталогам телекоммуникационного оборудования, то информацию о других, например, об интерфейсе G.703, приходится черпать из описания регламентирующих их стандартов.

В связи с широким распространением технологий цифровой передачи данных, например таких как PDH и SDH, пользователи каналов 64 кбит/с и 2 Мбит/с столкнулись с необходимостью обеспечить стыковку уже имеющейся терминальной аппаратуры с новым для них интерфейсом G.703, применяемым в этих технологиях. Информацию об этом интерфейсе можно почерпнуть, в основном, из довольно объемного описания рекомендации ITU-T Rec. G.703 [14]. Большинству пользователей для понимания того, что это за интерфейс и в каких случаях его нужно использовать, такого исчерпывающего описания, необходимого, как правило, разработчикам аппаратной реализации самого интерфейса, не нужно. Поэтому ниже дано краткое описание особенностей самого интерфейса и его использование.

Интерфейс G.703 не новичок в мире телекоммуникаций. Он был впервые описан в упомянутой рекомендации G.703 ("Физические и электрические характеристики иерархических цифровых интерфейсов") еще в 1972 году, однако окончательно сформировался в редакциях этого стандарта 1984 и 1988 годов и был дополнен в 1991 году. Переиздан в "Белой книге" стандартов ITU-T 1993 года как рекомендация 1991 года.

Формально стандарт G.703 в редакции 1991 года основан на трех стандартах ITU-T:

- G.702 - "Скорости передачи цифровой иерархии" ([13], редакции 1984, 88, 90 гг.);

- G.704 - "Структура синхронных фреймов, основанных на первичном и вторичном иерархических уровнях" ([15], редакции 1984, 88, 90 гг.);
- I.430 - "Пользовательский интерфейс сети ISDN, использующий основную скорость - 1-ый уровень спецификации (Протокол сигнализации D-канала)" (1988 год, рекомендация переиздана в 1993 году).

Однако фактически интерфейс обслуживает сети с иерархией как PDH, так и SDH (заметим, что скорость передачи 155.520 Мбит/с была внесена только в редакцию стандарта 1991 года), хотя исходно разрабатывался как основной интерфейс, используемый системами с импульсно-кодовой модуляцией.

2.9.1. Физические и электрические характеристики интерфейса G.703

Физические и электрические характеристики данного интерфейса регламентированы стандартом ITU-T G.703 **для обеспечения возможности соединения различных элементов цифровых сетей с целью формирования международных линий связи или соединений.**

В соответствии с этим описаны характеристики интерфейсов для скоростей передачи данных, соответствующих скорости основного цифрового канала (ОЦК) передачи данных 64 кбит/с, а также скоростям, порождаемым цифровыми PDH иерархиями: американской - 1544, 6312, 32064, 44736 кбит/с, европейской - 2048, 8448, 34368, 139264 кбит/с, а также частично японской, первые два уровня скоростей передачи которой совпадают с американской (таб. 1-2), третий не используется, а четвертый - соответствует скорости 97728 кбит/с.

Дополнительно описаны характеристики интерфейса для скорости, соответствующей первому уровню SDH иерархии, 155.52 Мбит/с.

Для сигналов со скоростями $n \times 64$ кбит/с ($n = 2,3, \dots, 31$), проходящими через оборудование, специфицированное для первичного уровня 2048 кбит/с, характеристики интерфейса те же, что и для 2048 кбит/с. Если же оборудование специфицировано для 1544 кбит/с, то характеристики интерфейса для таких сигналов (но с $n = 2,3, \dots, 23$) те же, что и для 1544 кбит/с.

Стандарт не регламентирует характеристики интерфейсов для сигналов не относящихся к указанным категориям.

Основными характеристиками интерфейса являются:

- тип организации взаимодействия аппаратуры интерфейса- три типа, см. ниже;
- скорость передачи данных и частота синхронизирующего сигнала- указана выше;
- тип кода или алгоритм его формирования.....- зависит от скорости, см. ниже;
- форма (маска) импульса и соответствующее поле допуска- зависит от скорости, см. G.703;
- тип используемой пары для каждого направления передачи- коаксиальная/симметричная;
- нагрузочный импеданс:
 - для коаксиального кабеля.....- 75 ом (активный);
 - для симметричной пары- 100-120 ом (активный);
- номинальное пиковое напряжение импульса- 1.0 В (нормируемое),
1 - 3 В (фактическое);
- пиковое напряжение при отсутствии импульса.....- 0 ± 0.1 В (нормируемое),
0.1 - 1 В (фактическое);
- номинальная ширина импульса.....- зависит от скорости, см. ниже
- отношение амплитуд положительного и отрицательного импульсов.....- 0.95 - 1.05;
- отношение ширины положительного и отрицательного импульсов- 0.95 - 1.05;
- максимальное дрожание фазы на выходном порту.....- соответствует ITU-T G.823.

Как видно из этого перечня, ряд характеристик зависят от скорости передачи, а тип кода, как указано в стандарте, зависит еще и от типа организации взаимодействия аппаратуры интерфейса. Рассмотрим более подробно некоторые из этих характеристик.

Тип организации взаимодействия аппаратуры интерфейса

Эта характеристика регламентирована для скорости 64 кбит/с, при которой через интерфейс передаются три типа сигналов: **информационный** сигнал 64 кбит/с, и два **синхронизирующих**, или тактовых сигнала, 64 кГц и 8 кГц.

Стандартом предусмотрено три типа организации взаимодействия терминальной (управляющей-управляемой или приемной-передающей) аппаратуры между двумя терминальными устройствами: **сонаправленный (СНИ), разнонаправленный (РНИ), с центральным тактовым генератором (ЦГИ).**

Сонаправленный тип интерфейса (codirectional interface) - тип, при котором как информационный, так и тактовый (синхронизирующий) сигналы направлены в одну сторону: терминалы равноправны и симметричны: оба указанных сигнала передаются от каждого терминала к каждому (рис. 2-50).

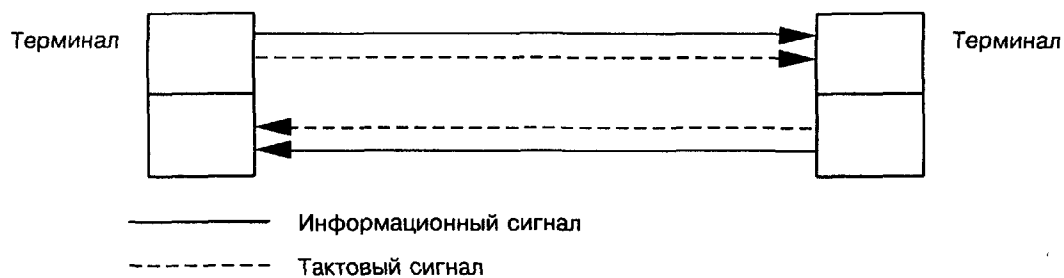


Рис.2-50. Сонаправленный интерфейс для скорости 64 кбит/с

Разнонаправленный тип интерфейса (contradirectional interface) - тип, при котором терминалы неравноправны и делятся на управляющий и управляемый; здесь тактовые сигналы направлены только от управляющего терминала к управляемому, а информационный сигнал как и раньше симметричен и может передаваться от каждого терминала к каждому (рис.2-51).

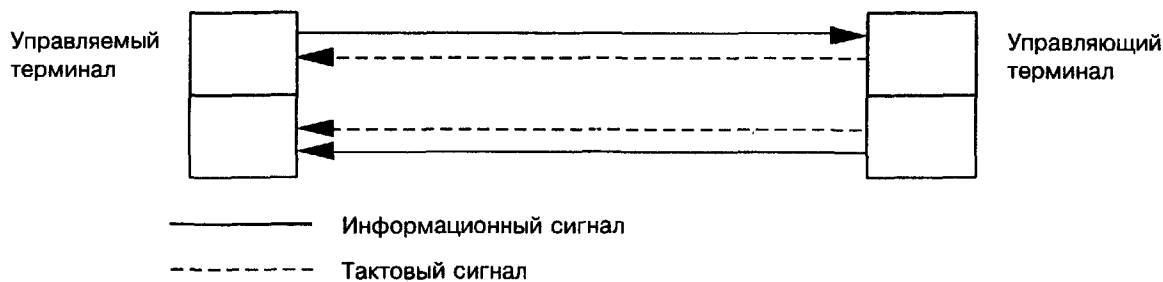


Рис.2-51. Разнонаправленный интерфейс для скорости 64 кбит/с

Интерфейс с центральным тактовым генератором (centralized clock interface) - тип, при котором тактовые сигналы направлены от центрального тактового генератора к обоим терминалам, а информационный сигнал как и раньше симметричен и может передаваться от каждого терминала к каждому (рис.2-52).

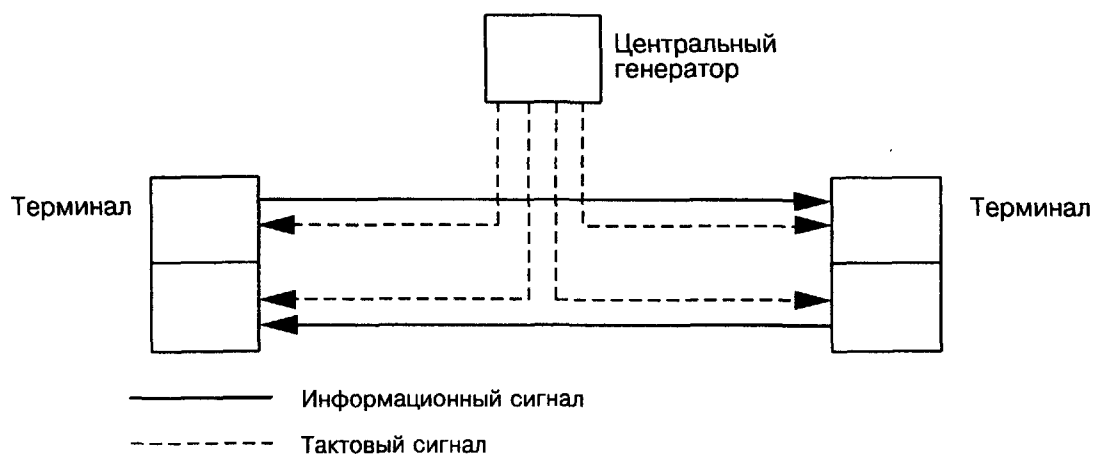


Рис.2-52. Интерфейс с центральным тактовым генератором для скорости 64 кбит/с

Скорость передачи данных и частота синхронизирующего сигнала

Скорости передачи данных, указанные в стандарте, в основном соответствуют иерархии PDH. Тактовый (синхронизирующий) сигнал, используемый для синхронизации, может передаваться от отдельного источника, либо формироваться из передаваемого информационного сигнала. Частота тактового сигнала может в таких случаях совпадать или не совпадать с приведенной выше скоростью передачи данных и, в последнем случае, она может быть в 2, 4, 8 раз меньше в зависимости от применяемого метода кодирования данных. Например, для скорости 64 кбит/с номинальной является тактовая частота 64 кГц, но может использоваться и частота 8 кГц (октетная синхронизация).

Тип кода или алгоритм его формирования

Тип кода зависит не только от скорости передачи данных, но и от типа организации аппаратуры интерфейса, например, для скорости 64 кбит/с. Если код не стандартизован, то описание алгоритма его формирования дается в самом стандарте, как например, для скорости 64 кбит/с при использовании сонаправленного интерфейса. Если же код стандартизован, как например, AMI, то указывается его название или дается краткое описание его особенностей.

Форма импульса и соответствующее поле допуска (маска импульса)

Форма импульса и соответствующее поле допуска (маска импульса) приведены в стандарте отдельно для каждой скорости передачи и типа организации взаимодействия аппаратуры интерфейса для скорости 64 кбит/с. Маска одиночного импульса для скорости 64 кбит/с и сонаправленного интерфейса, приведена на рис.2-53 [14] лишь для иллюстрации, так как маски представляют интерес только для разработчиков подобных интерфейсов.

Тип используемой пары и нагрузочный импеданс

Как указано, могут использоваться либо коаксиальный кабель, либо симметричная пара, либо то и другое (таб.2-5, позиция "импеданс"). Тестируемый нагрузочный импеданс при использовании симметричной пары зависит от используемой скорости передачи и варьируется в пределах 100 - 120 ом.

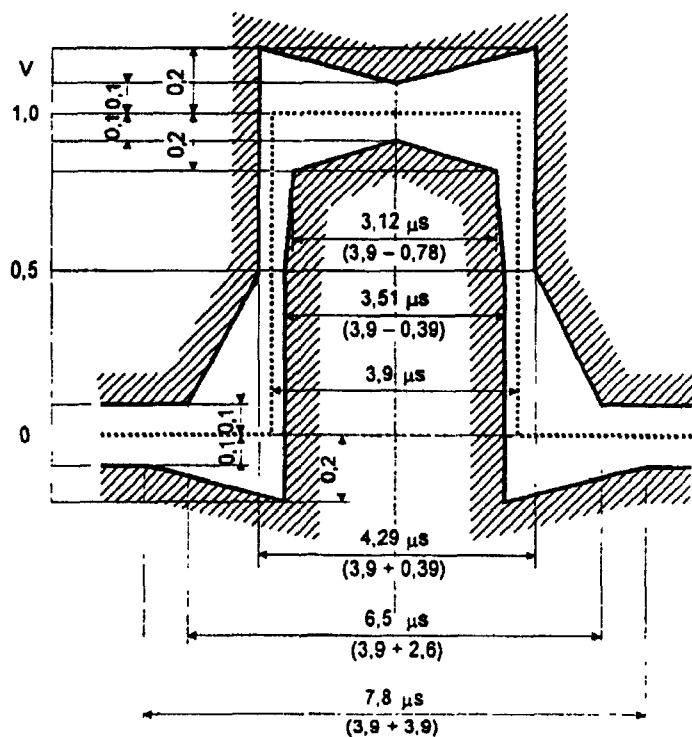
Максимальные напряжения импульса и уровень сигнала в паузе

Эти параметры зависят от ряда факторов, в том числе от скорости передачи и относительного уровня шума, которые могут быть указаны специально. Порядок значений возможных при этом уровней сигналов и шума можно оценить по рис.2-53.

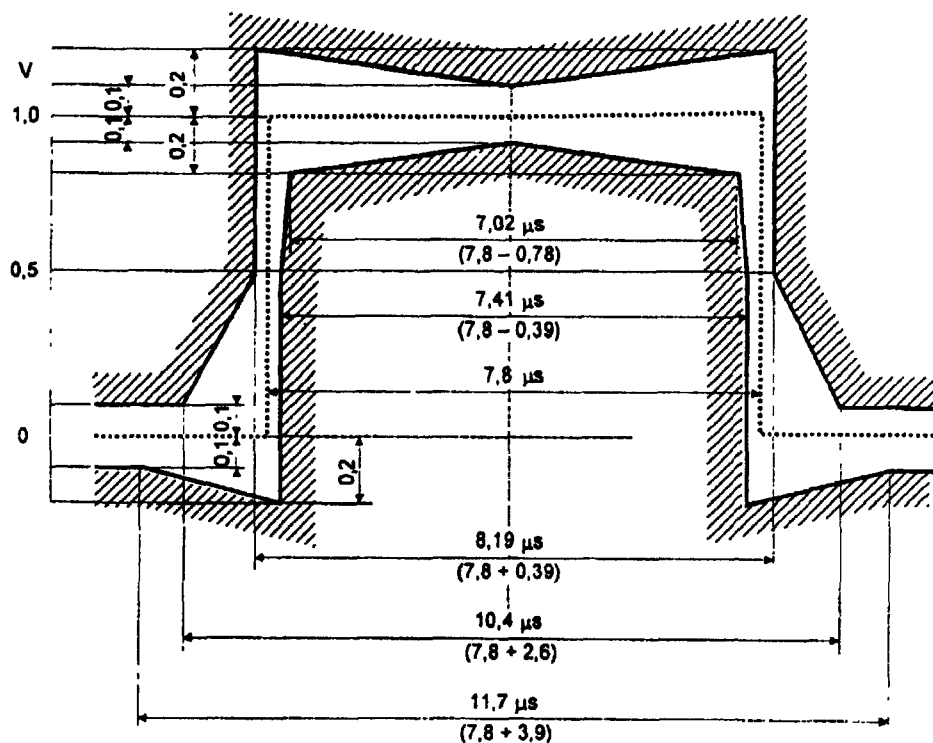
Ширина импульса

В стандарте указаны либо две ширины, соответствующие ширине импульса данных и ширине тактового импульса, либо указана ширина кодированных импульсов, либо только номинальная ширина импульса данных (см. пояснения к таб. 2-5).

Остальные характеристики ясны из комментариев, указанных выше.



а) Маска для одиночного импульса



б) Маска для двойного импульса

Рис.2-53. Маска одиночного импульса для скорости 64 Кбит/с и сонаправленного интерфейса

2.9.2. Реализация интерфейса G.703

Скорости передачи данных и соответствующие им типы кода, тип используемой пары и нагрузочный импеданс, номинальное напряжение импульса (амплитуда сигнала), напряжение при отсутствии импульса (амплитуда паузы) и номинальная ширина импульса приведены в таб. 2-5.

Таблица 2-5.
Физические и электрические характеристики семейства интерфейсов G.703

Скорость кбит/с	64 СНИ	64 ЦГИ	64 РНИ	1544	6312	32064	44736	2048	8448	34368	139264	97728	155520
Тип кода	спец. код ¹	AMI	AMI	AMI B8ZS	B6ZS B8ZS ⁵	AMI	B3ZS	HDB3	HDB3	HDB3	CMI	AMI	CMI
Импеданс (коакс.), Ом					75	75	75	75	75	75	75	75	75
Импеданс (симм.), Ом	120	110	120	100	110			120					
Амплитуда сигнала, В	1.0	1.1 3.4 ³	1.0	3.0	1.0	1.0	1.0	2.37 3.0 ⁸	2.37	1.0	±0.55	2.3	±0.55
Амплитуда паузы, В	0.1	0.1 0.5 ³	0.1	0.3	0.1 0.17 ⁶	0.2 ⁷	0.2 ⁷	0.237 0.3 ⁸	0.237	0.1	±0.05 ⁹	0.23	±0.05 ⁹
Ширина импульса мкс, нс	3.9 7.8 ²	15.6 7.8 ⁴	15.6 7.8 ⁴	323.5	79	15.6	11.2	244	59.0	14.55	3.59	5.12	3.216 6.43 ²

Из этой таблицы ясно, что полная реализация интерфейса G.703 для всех возможных скоростей и типов организации взаимодействия аппаратуры - дело весьма трудоемкое, поэтому производители ограничиваются реализацией указанного стандарта для конкретно используемой скорости передачи, например, для скорости 2048 кбит/с в случае SDH канала 2 Мбит/с. Для скорости 64 кбит/с производители в большинстве случаев указывают и тип организации взаимодействия аппаратуры интерфейса, например, **сонаправленный**. Для сигналов со скоростями передачи **пх64** кбит/с, характерных для систем ISDN и передаваемых через мультиплексирующее оборудование иерархий, порожденных первичными скоростями 1544 и 2048 кбит/с, интерфейс, как отмечалось выше, должен иметь те же физические и электрические характеристики, что и соответствующий интерфейс 1544 кбит/с (для n=2, ... ,23) или интерфейс 2048 кбит/с (для n=2, ... ,31).

В заключение дадим некоторые пояснения к таблице 2-5 (в соответствии со ссылочными номерами, указанными для определенных параметров):

- 1 - цифровой двухчастотный двоичный код, преобразуемый в двухполярный трехуровневый код путем последовательного изменения полярности каждого двоичного блока с отменой изменения на каждом восьмом блоке (октетное кодирование - пятишаговая процедура кодирования описана в стандарте G.703 [14]);
- 2 - большее значение соответствует ширине двойного импульса (логическая "1"), меньшее - ширине одинарного импульса (логический "0");
- 3 - большее значение рекомендуется использовать в случае повышенного уровня шума;
- 4 - большее значение соответствует ширине импульса данных, меньшее - ширине тактового импульса;
- 5 - код B8ZS рекомендуется применять при использовании коаксиального кабеля, код B6ZS - при использовании симметричной пары;
- 6 - большее значение соответствует допуску на область после среза импульса, меньшее - на область перед фронтом импульса;
- 7 - приблизительное значение, соответствующее области после среза импульса на 1Т от центра (допуск задается экспоненциальными кривыми);
- 8 - большее значение соответствует использованию симметричной пары, меньшее - коаксиальному кабелю;
- 9 - используется симметричное поле допуска.

Заметим так же, что ширина импульсов приведена в **мкс** для скорости 64 кбит/с и в **нс** для остальных скоростей.

Пользователь должен так же иметь ввиду, что указанные типы кода относятся только к интерфейсу, а не к линии в целом. Для электрических линий связи эти коды могут совпадать, для оптических - коды, как правило, не совпадают в силу невозможности непосредственного использования биполярных кодов в оптическом кабеле. Например, при использовании кода HDB3 в оптических линиях связи в качестве интерфейсного могут использоваться также коды CMI, MCM1 или код типа pBmB.

2.9.3. Подключение сети с интерфейсом G.703 к аппаратуре пользователя

Схема подключения сети, рассчитанной на использование интерфейса G.703, к аппаратуре пользователя зависит от наличия у пользователя входа с интерфейсом G.703, типа используемой среды распространения (электрический или оптический кабель) и от кабеля - его импеданса (75 или 100-120 ом) и типа (коаксиальный кабель или симметричная пара проводов).

Эта схема наиболее проста, если используется электрический кабель, а пользователь имеет вход с интерфейсом G.703. Тогда подключение осуществляется либо коаксиальным кабелем с разъемом RG-59 (импеданс 75 ом), либо симметричной парой проводов (импеданс 100-120 ом) на коммутационную панель "под винт" - без специального разъема, либо с помощью разъемов DB-15, RJ-11, RJ-48X. Как видно из таб. 2-5 симметричная пара используется только для частот не выше 6312 кбит/с. Если импеданс кабеля (пары проводов) пользователя не согласуется с импедансом линии, используется согласующий трансформатор (например, 120-симметричная пара/75-коаксиальный кабель).

Если в качестве среды распространения используется оптический кабель, то оптический сигнал преобразуется в электрический на входе аппаратуры пользователя и наоборот - на выходе аппаратуры пользователя. Преобразование осуществляется с помощью специального опто-электронного/электронно-оптического преобразователя - оптического модема (например, типа FLC - компании ADC Telecommunications). При этом на оптических входах/выходах используются специальные оптические разъемы (соединители) различного типа, например, SC, SMA, ST.

Если же аппаратура пользователя не имеет входа с интерфейсом G.703, а имеет входы с другими интерфейсами, то пользователь должен быть достаточно внимательным к указанной в документации конкретной спецификации интерфейса (если она есть), чтобы избежать проблем совместимости терминальной аппаратуры. В этом случае нужно использовать специальные **конвертеры интерфейсов**, которые позволяют состыковывать, например, локальные сети (LAN) с интерфейсами V.24, V.35, X.21 с глобальными сетями (WAN) с интерфейсами G.703.

Такие конвертеры производят ряд компаний. Наиболее известной из них на нашем рынке является компания RAD Data Communications. Ограничимся, для примера, рассмотрением ее конвертеров, чтобы показать возможности преобразования интерфейсов [59]. Из набора производимых этой компанией конвертеров интерфейсов в таб.2-6 представлены те, что имеют G.703 на одной из сторон: стороне DCE (выходы WAN - верхние входы таб.2-6) или DTE (входы LAN - левые боковые входы таб.2-6). Ясно, что при использовании таких конвертеров для соединения с аппаратурой пользователя применяются соответствующие разъемы.

Таблица 2-6.
Конвертеры интерфейсов компании RAD Data Communications

DTE \ DCE	G.703 64 кбит/с, СНИ	G.703 64 кбит/с, РНИ	G.703 1544 кбит/с, Т1	G.703 2048 кбит/с, Е1	V.35 FE1	X.21 FE1
V.24/RS232	ITA-703 SPD-703-1 UCI				MIC-24/35 RIC-24/35 UCI	MIC-24T/21C RIC-232/530 UCI
V.35	SPD-703 SPD-703-1 UCI	SPD-703/C	ASM-40 FCD-1 UCI-HS	ASM-40 FCD-2 UCI-HS		MIC-35T/21C RIC-232/530 UCI
V.36/V.11	SPD-703 SPD-703-1 UCI	SPD-703/C	ASM-40 FCD-1 UCI-HS	ASM-40 FCD-2 UCI-HS	MIC-36T/35C UCI	CBL-36T/21C UCI
X.21/V.11	SPD-703 SPD-703-1 UCI	SPD-703/C	ASM-40 FCD-1 UCI-HS	ASM-40 FCD-2 UCI-HS	MIC-21T/35C UCI	
RS-530	SPD-703 SPD-703-1 UCI	SPD-703/C	ASM-40 FCD-1 UCI-HS	ASM-40 FCD-2 UCI-HS	MIC-530T/35C UCI	CBL-530T/21C UCI
G.703					FCD-20	FCD-20

В заключение дадим некоторые пояснения к таб.2-6:

- 1 - большинство конвертеров, указанных в таблице, являются не только конвертерами интерфейсов, но и конвертерами скоростей, согласующими скорости на входе со скоростями, требуемыми на выходе. Здесь вход соответствует стороне DTE, а выход - DCE;
- 2 - для конвертера FCD-20, осуществляющего "обратное" конвертирование интерфейса G.703 в V.35 или в X.21, суммарный поток входных каналов 1×64 на стороне G.703 не должен превышать 512 кбит/с. Такое конвертирование может потребоваться для стыковки мультиплексоров, имеющих выход G.703, с аппаратурой спутниковой связи, имеющей, например, только интерфейсы V.35 или X.21.

Подводя итог сказанному о технологии SDH, можно констатировать, что в системах, использующих SDH устраняются практически все недостатки PDH. Системы SDH позволяют:

- использовать в качестве входных каналов практически все (кроме DS0) основные каналы доступа, используемые в PDH;
- определять положение любого стандартного канала доступа, инкапсулированного в соответствующий виртуальный контейнер, транспортируемый модулем STM-1, а также осуществлять его ввод/вывод в/из транспортного потока модулей STM-N без необходимости его сборки/разборки, в отличие от того, как это делалось в PDH;
- использовать эффективную систему маршрутизации, позволяющую автоматически управлять движением контейнеров между пунктами назначения;
- повысить надежность передачи не только за счет использования оптических линий передачи, но и путем создания резервного канала, с автоматическим переключением на него при выходе из строя основного канала или путем обхода поврежденного узла сети;
- организовать в структуре фрейма внутренние служебные каналы с развитой системой сигнализации.

3. УПРАВЛЕНИЕ СЕТЬЮ: ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ, АДМИНИСТРИРОВАНИЕ И ОБСЛУЖИВАНИЕ

Функционирование любой сети (и сети PDH и SDH/SONET не являются исключением) невозможно без ее обслуживания на различных уровнях. Обслуживание сети сводится в общем случае к автоматическому, полуавтоматическому или ручному управлению системой, ее тестированию и сбору статистики о прохождении сигнала и возникающих неординарных или аварийных ситуациях, а также менеджменту (или административному управлению системой). Эти функции в свою очередь невозможно осуществить без **сигнализации** различного рода о состояниях системы, например сигнализации о возникновении аварийного состояния. Сигнализация должна осуществляться по специальным встроенным или зарезервированным для этого каналам, связывающим **управляющие (оперирующие на сети) системы OS** и управляемые системы или **сетевые элементы NE**.

Для решения задач управления (на всех уровнях: физическом, логическом, информационном и административном, из которых два последних относят к особой категории управления - **менеджменту**) необходимо разработать **модель сети** и описать типы **интерфейсов** связи, необходимые для реализации функций управления на различных участках сети.

В отличие от существующих систем PDH, не имеющих стандартного описания модели и интерфейсов и специальных (стандартизованных) управляющих каналов связи, системы SDH имеют свои системы управления - SMN, опирающиеся на достаточно проработанную в настоящее время систему стандартов [60-67], описывающих модель, интерфейсы, схему взаимодействия и функции блоков и каналов управления.

3.1. ЧЕТЫРЕХУРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЬЮ

Общая схема сети управления телекоммуникациями (TMN) может быть представлена четырехуровневой **моделью управления**, где каждый уровень выполняет определенную функцию, представляя верхнему уровню последовательно обобщаемую нижними уровнями картину функционирования сети [68-69]. Это следующие уровни:

- **бизнес-менеджмент** (верхний уровень управления экономической эффективностью сети - BOS);
- **сервис-менеджмент** (уровень управления сервисом сети - SOS);
- **сетевой менеджмент** (уровень систем управления сетью - NOS);
- **элемент-менеджмент** (нижний уровень элемент-менеджеров EM или систем управления элементами сети EOS).

Функционирование каждого верхнего уровня в этой иерархии основано на информации уровня, лежащего ниже, передаваемой через интерфейс между этими уровнями.

Элемент-менеджер EM осуществляет управление отдельными **элементами сети NE**, т.е. оборудованием (мультиплексорами, коммутаторами, регенераторами и т.д.) сети. Его задачи:

- **конфигурация элементов сети** - установление параметров конфигурации, например, назначение каналов, распределение трибных интерфейсов, установка реального времени;
- **мониторинг** - определение степени работоспособности (статуса), сбор и обработка сигналов о возникновении аварийных ситуаций (алармов - A), несущих информацию типа "в элементе сети NE_i произошла ошибка A_i";
- **управление функцией передачи** - управление операционными параметрами, отвечающими за функционирование сети, а именно: проверка состояния интерфейсов, активация систем защиты для переключения на резервное оборудование;
- **управление функциями TMN** - управление потоками сигналов о возникновении аварийных состояний, адресация возникающих при этом сообщений, формирование критериев фильтрации ошибок, маршрутизация пакетов сообщений по служебным каналам, формируемым за счет SOH в фреймах SDH, генерация и мониторинг сигналов синхронизации;
- **тестирование элементов сети** - проведение тестов, характерных для данного типа оборудования;
- **локализация NE в рамках выделенного слоя** - осуществление сервиса NE и обработка информации от NE, специфических для данного слоя.

Функции EM могут интерпретироваться как независимые функции OS, осуществляемые конкретными NE с помощью данного EM через **сервисные интерфейсы**, поддерживаемые данной OS. Для осуществления этих функций все NE должны быть известны и различаемы для конкретной OS. Если несколько OS реализуют одни и те же сервисные интерфейсы, то в этом случае функции элемент-менеджмента могут быть распределены по нескольким OS_i, как это показано ниже на рис.3-1.

Сетевой менеджер NM, или система управления сетью NMS, призваны управлять сетевым уровнем, или сетью в целом. На этом уровне менеджер абстрагируется от отдельных элементов сети, рассматриваемых с точки зрения выполнения задач, управляемых элемент-менеджером. Это не значит, что NM их не видит, они рассматриваются здесь как элементы, поддерживающие сетевые связи - маршруты в терминологии SDH. NM использует следующие функции NE:

- **функцию связи**, осуществляемую всеми элементами, имеющими возможность кросс-коммутации;
- **функцию доступа к мультиплексору**, осуществляемую всеми мультиплексорами;
- **функцию секции передачи**, реализуемую между точками связи или между точкой связи и мультиплексором.

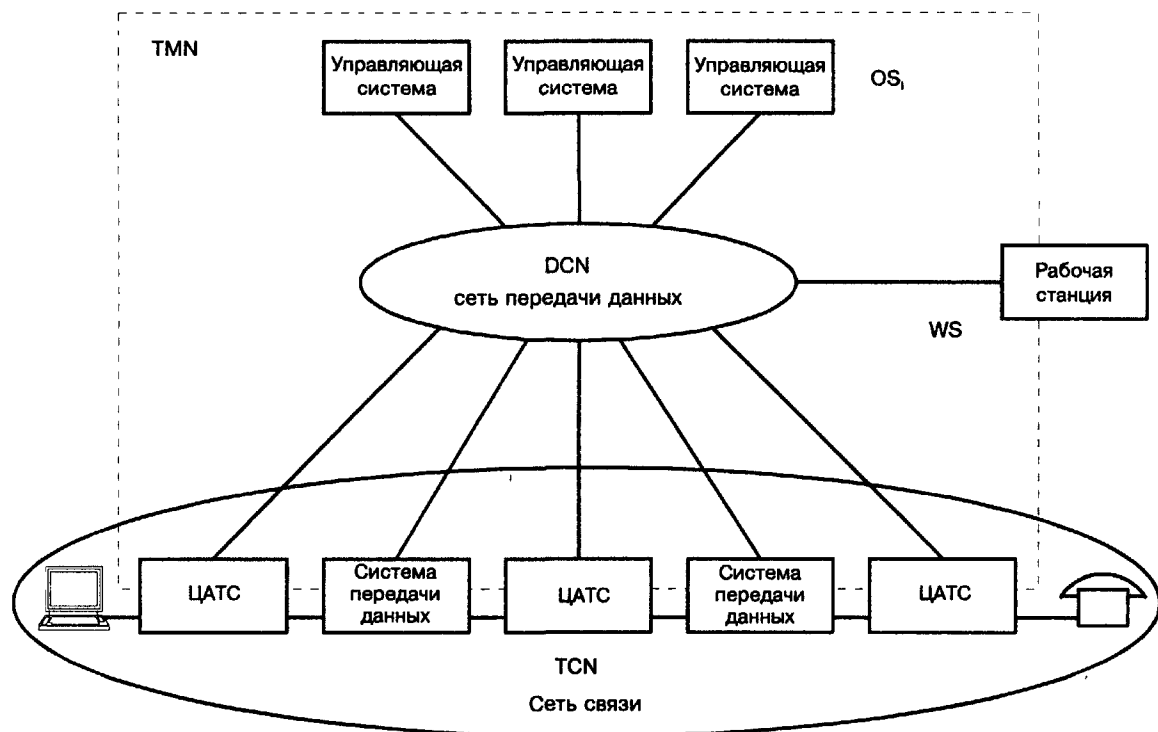


Рис.3-1. Общая схема управления телекоммуникационными сетями TCN

Сетевой менеджер осуществляет следующие функции:

- **мониторинг** - проверка маршрута передачи с использованием функции проверки окончания маршрута, проверка качества передачи и самой возможности связи, при этом NE используются либо непосредственно самой OS, либо через операционную систему EM;
- **управление сетевой топологией** - управление функцией связи для переключения маршрутов передачи (в том числе и в результате сбоев и последующего восстановления маршрута);
- **локализация в рамках выделенного слоя** - осуществление сервиса NM и обработка информации от NE, специфических для данного слоя.

Как и в любом слое NM обеспечивает маршруты для слоя SM.

Сервис-менеджер обеспечивает традиционные для сетей виды сервиса - телефонный сервис, передачу данных различного вида и др. Он выполняет следующие функции:

- **мониторинг** - проверка возможности осуществления сервиса, а также доступности маршрутов передачи, подготовленных в слое NM;
- **управление** - управление характеристиками сервиса, а также формирование запросов сетевому уровню на изменение маршрутов передачи;
- **локализация в рамках выделенного слоя** - осуществление сервиса SM и обработка информации от NM.

SM также обеспечивает информацию о новых видах сервиса для слоя BM.

Бизнес-менеджер обеспечивает **мониторинг и управление** типами сервиса, а также формирование запросов на уровень сервиса, лежащий ниже, на изменение вида сервиса.

3.2. СЕТЬ УПРАВЛЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯМИ TMN

Сетевой-, элемент- и сервис-менеджеры формируют то, что принято сейчас считать ядром **сети управления телекоммуникациями** - TMN. TMN обеспечивает функции менеджмента и управления для телекоммуникационных сетей и сервиса и предлагает связь между TMN и этими сетями и сервисом [60].

3.2.1. Концепция TMN и общая схема управления

Основная концепция TMN заключается в формировании такой архитектуры, которая позволит связать различные типы управляющих систем OS - EOS, NOS, SOS, как между собой, так и с элементами сети NE (сетевым оборудованием) для обмена управляющей информацией с помощью стандартных интерфейсов, протоколов и сообщений.

Общая схема управления телекоммуникационными сетями TCN с помощью сети управления TMN приведена на рис.3-1 [60]. Здесь OS_i могут быть связаны между собой через общую сеть передачи данных DCN (управляемую рабочей станцией WS), которая также связывает их с различным аналоговым и цифровым телекоммуникационным оборудованием, объединенным в общую телекоммуникационную сеть TCN. Предполагается [60], что TMN будет поддерживать пять типов менеджмента и управления:

- управление рабочими характеристиками систем;
- управление отказами и обеспечение надежности работы систем;
- управление конфигурацией систем;
- менеджмент бухгалтерской отчетности и тарификации (биллинга) в системе;
- управление безопасностью систем и обеспечение конфиденциальности информации, циркулирующей в них.

3.2.2. Архитектура TMN

Архитектура TMN рассматривается в трех аспектах:

- **функциональном**, определяющим состав функциональных блоков, позволяющий реализовать сеть TMN любой сложности;
- **информационном**, основанном на объектно-ориентированном подходе и принципах OSI;
- **физическом**, описывающем реализуемые интерфейсы и примеры физических компонентов TMN.

3.2.2.1. Функциональные блоки и их компоненты

TMN включает ряд функциональных блоков, выполняющие следующие одноименные функции (в скобках даны термины, используемые в русских переводах стандартов ITU-T):

- OSF - функции управляющей (операционной) системы OS;
- MF - функция устройств сопряжения M (медиаторная функция);
- NEF - функция сетевого элемента NE;
- QAF - функция Q-адаптера QA;
- WSF - функция рабочей станции WS.

Для передачи информации между указанными блоками TMN используется функция передачи данных DCF. Пары функциональных блоков, обменивающихся информацией, разделены между собой **опорными** (или интерфейсными) **точками**. Три из указанных блоков, выполняющих функции NEF, QAF и WSF, принадлежат TMN лишь частично (рис.3-2).

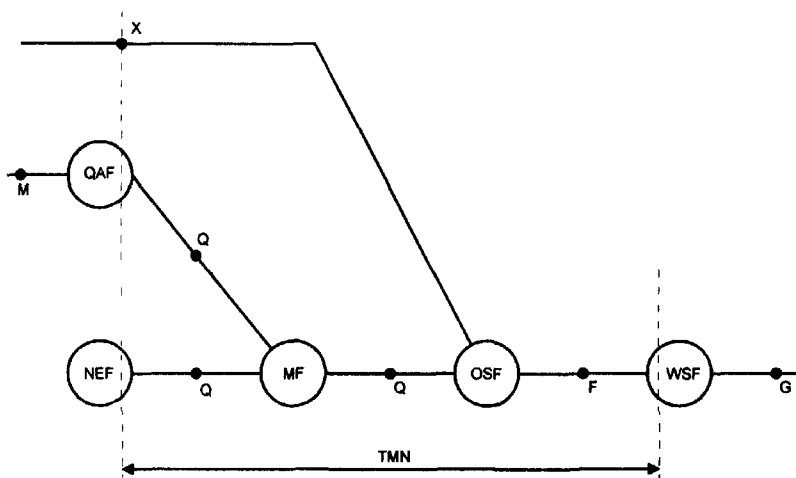


Рис.3-2. Типы и положение интерфейсов в схеме управления сетью

Функциональные блоки не только выполняют указанные функции, но и содержат дополнительные функциональные компоненты, реализующие определенные функции, а именно:

- Блок OSF - обрабатывает управляющую информацию с целью мониторинга и/или управления, а также реализует функцию управляющего приложения OSF-MAF;
- Блок MF - обрабатывает информацию, передаваемую между блоками OSF и NEF (или QAF), позволяя запоминать, фильтровать, адаптировать и сжимать информацию, а также реализует функцию управляющего приложения MF-MAF;
- Блок NEF - включает функции связи, являющиеся объектом управления, а также реализует функцию управляющего приложения NEF-MAF;
- Блок QAF - подключает к TMN логические объекты класса NEF или QSF, не являющиеся частью TMN, осуществляя связь между опорными точками внутри и вне TMN, а также реализует функцию управляющего приложения QAF-MAF;
- Блок WSF - позволяет интерпретировать информацию TMN в терминах, понятных пользователю управляющей информации.

Дополнительные функциональные компоненты, игравшие ранее самостоятельную роль в качестве блоков TMN, теперь включены в состав функциональных блоков. К ним относятся:

- MAF - **функция управляющего приложения** - фактически осуществляет управляющий (административный) сервис TMN, может играть роль либо Менеджера, либо Агента [65,67], используется в функциональных блоках MF, NF, OSF и QSF (см. п.3.2.2.2);
- MIB - **база управляющей информации** - играет роль репозитория (информационного архива) управляющих объектов, не является объектом стандартизации TMN, используется в схеме **дистанционного мониторинга** RMON, а также протоколом SNMP [70], применяется во всех, кроме WSF, функциональных блоках;
- ICF - **функция преобразования информации** - используется в промежуточных системах для трансляции информационной модели с интерфейса на интерфейс, используется в функциональных блоках MF, OSF, QAF;
- PF - **функция представления** - преобразует информацию к удобному для отображения виду, используется в функциональном блоке WSF;
- HMA - **человеко-машинная адаптация** - преобразует информацию MAF к удобному для отображения виду, используется в функциональных блоках OSF, MF;
- MCF - **функция передачи сообщения** - используется для обмена управляющей информацией, содержащейся в сообщении, используется во всех функциональных блоках;
- DCF - **функция передачи данных** - используется для передачи информации между блоками, надежными управляющими функциями.

Опорные точки сети TMN

В сети TMN вводятся опорные (интерфейсные) точки, определяющие границы сервиса. Эти точки делятся на две группы. Первая - включает точки внутри TMN, вторая - вне ее. Точки первой группы делятся на три класса:

- q - точки между блоками OSF, QAF, MF и NEF, обеспечивают информационный обмен между блоками в рамках информационной модели, описанной в стандарте ITU-T M.3100 [62]; эти точки делятся на два типа:
 - q_x - точки между двумя блоками MF или блоком MF и остальными блоками;
 - q₃ - точки между двумя блоками OSF или блоком OSF и остальными блоками;
 - f - точки для подключения блоков WSF к OSF и/или к MF, подробнее описаны в рекомендации ITU-T Rec. M.3300 [66];
 - x - точки между OSF, принадлежащих двум TMN.
- Точки второй группы делятся на два класса:
- g - точки между WSF и пользователем (см. определение в стандарте ITU-T Rec. Z.300 [71]);
 - m - точки между QAF и управляемым объектом, не принадлежащим TMN.

В соответствии с положением указанных опорных точек определяется положение соответствующих им **интерфейсов TMN**, обозначаемых заглавными буквами. Оно показано на рис.3-2 и рис.3-4 [60]. Пунктиром на рис.3-2 отмечены границы TMN. В соответствии с ними интерфейсы Q и F являются внутренними для TMN, интерфейс X - пограничным, а интерфейсы M и G - внешними.

Функция передачи данных DCF

Основная цель DCF - создать транспортный механизм для передачи информации между блоками, надежными управляющими функциями (рис.3-3). В нашем случае это функции TMN блоков А и В. Характер взаимодействия между ними равноправный (одноранговый). Механизм взаимодействия осуществляется путем ретрансляции DCF на уровне OSI. Этот механизм может обеспечить все функции, характерные для первых трех уровней модели OSI (физического, звена передачи данных и сетевого), или их эквивалент.



Рис.3-3. Соотношение между функциями передачи данных DCF и сообщений MCF

Внешний доступ к TMN

Доступ к TMN должен быть как со стороны другой такой же TMN, так и со стороны пользователя сети. Схема такого доступа и взаимодействия двух сетей TMN приведена на рис.3-4. При организации доступа пользователя должны быть предусмотрены стандартные в таких случаях процедуры, включая меры защиты, преобразование протоколов, трансляцию функций и сервисное обслуживание.

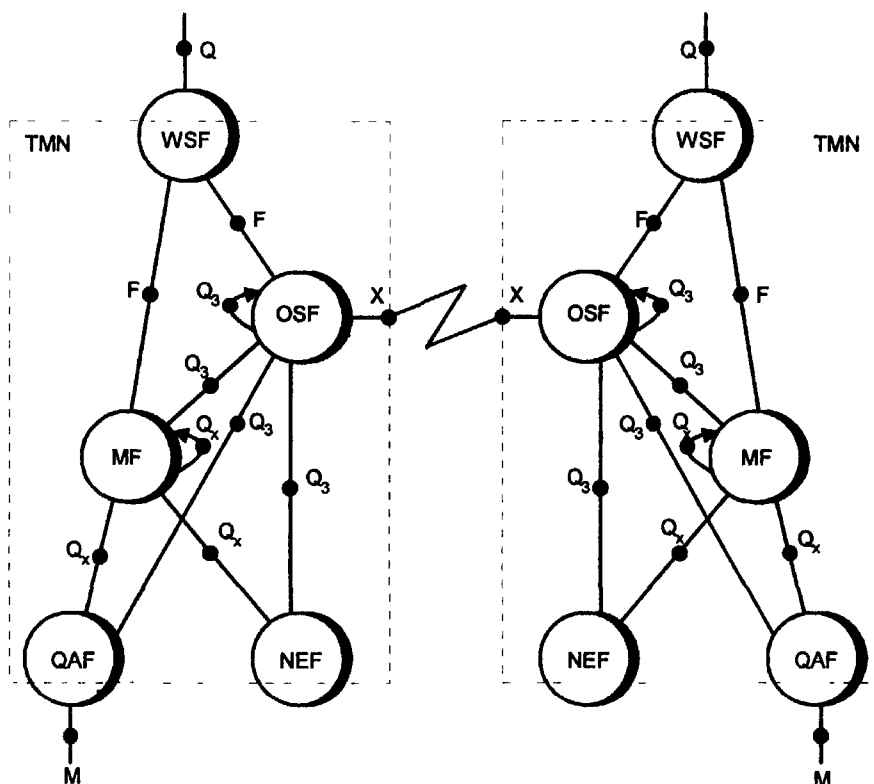


Рис.3-4. Типы и положение интерфейсов между блоками управляющих функций

3.2.2.2. Информационный аспект архитектуры

При создании информационной модели обмена данными (сообщениями) в TMN используется **объектно-ориентированный подход** (ООП) и концепция **Менеджер/Агент**.

ООП рассматривает управление обменом информацией в TMN в терминах **Менеджер - Агент - Объекты**. **Менеджер** (рис.3-5), представляя управляющую открытую систему, **издает** в процессе управления управляемой открытой системой **директивы и получает** в качестве обратной связи от объекта управления **уведомления об их исполнении**. Директивы, направленные от Менеджера к объекту, доводятся до объекта управления **Агентом**. Уведомления, направленные от объекта к Менеджеру, доводятся до Менеджера тем же Агентом.

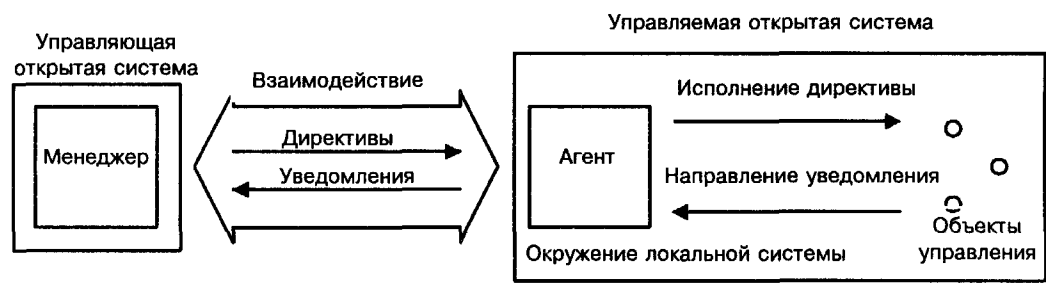


Рис.3-5. Схема взаимодействия между Менеджером, Агентом и объектами

Один Менеджер может быть вовлечен в информационный обмен с несколькими Агентами и, наоборот, один Агент может взаимодействовать с несколькими Менеджерами. Агент может игнорировать директивы Менеджера по соображениям нарушения секретности доступа к объекту или другим причинам. Все взаимодействие между Менеджером и Агентом осуществляется на основе использования **протокола общей управляющей информации CMIP** и **сервиса общей управляющей информации CMIS**, описанных в рекомендациях ITU-T Rec. X.711 и ITU-T Rec. X.710, [71,72].

Указанная схема взаимодействия может быть использована при организации связи и взаимодействия между несколькими системами на основе TMN. На рис.3-6 показана схема взаимодействия трех каскадно связанных сетями TMN систем А, В и С, в которой система А управляет системой В, которая, в свою очередь, управляет системой С. Здесь Менеджер М системы А управляет системой В, ориентируясь на **информационную модель системы В**, которую он “видит” благодаря тому, что она хранится в базе MIB системы В и доступна для М через Агента А этой системы. На основе этой информации М, используя сервис CMIS и протокол CMIP организует движение вниз по стеку протоколов OSI системы А от прикладного уровня до физического, на котором происходит связь со стеком протоколов OSI системы В, а затем движение по нему вверх с выходом через CMIS/CMIP на Агента системы А. Он реализует директиву от Менеджера М по управлению объектами (ресурсами) системы В, отображаемыми в MIB. По цепи обратной связи Менеджер М системы А получает **уведомление** от этого объекта через Агента системы В. По цепи прямой связи информация об изменении статуса/состояния объекта (ресурса) отображается в MIB системы В и поступает Менеджеру М системы В, управляющему системой С. Алгоритм действий Менеджера М системы В аналогичен описанному для системы А. Ясно, что уведомление, получаемое Менеджером М системы В, передается далее в систему А и производит изменение в MIB систем С и В.

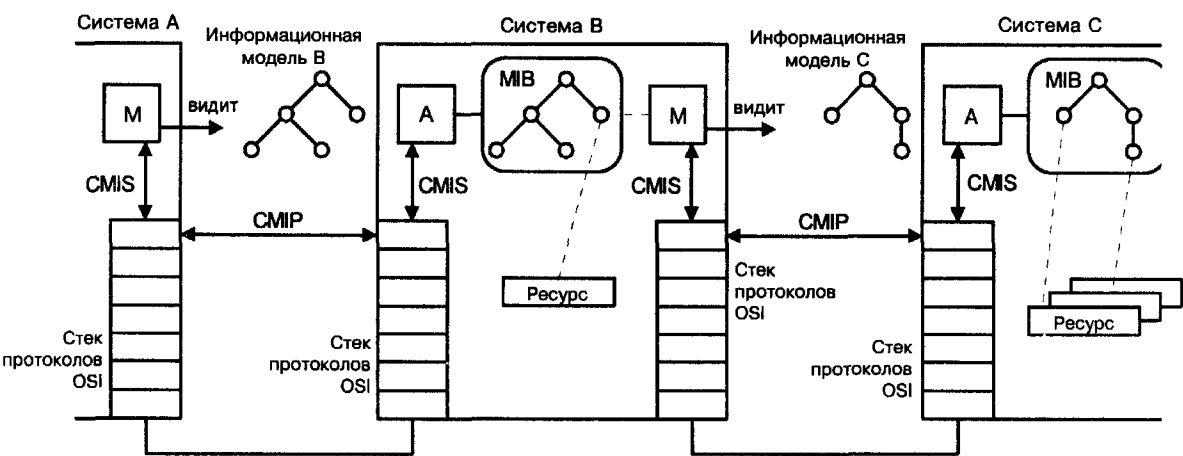


Рис.3-6. Пример связи и взаимодействия TMN систем

3.2.2.3. Общий аспект архитектуры TMN

Функциональный и информационный аспекты взаимодействия систем на основе TMN, кратко описанные выше, являются хорошей основой для рассмотрения общего аспекта или собственно архитектуры TMN. На рис.3-7 представлен простой пример такой архитектуры управления сетями, где функциональные блоки представлены выполняющими только свои обязательные функции (NEF, MF, QAF, OSF, WSF для NE, MD, QA, OS и WS соответственно). Эти блоки могут выполнять и другие (необязательные) функции.

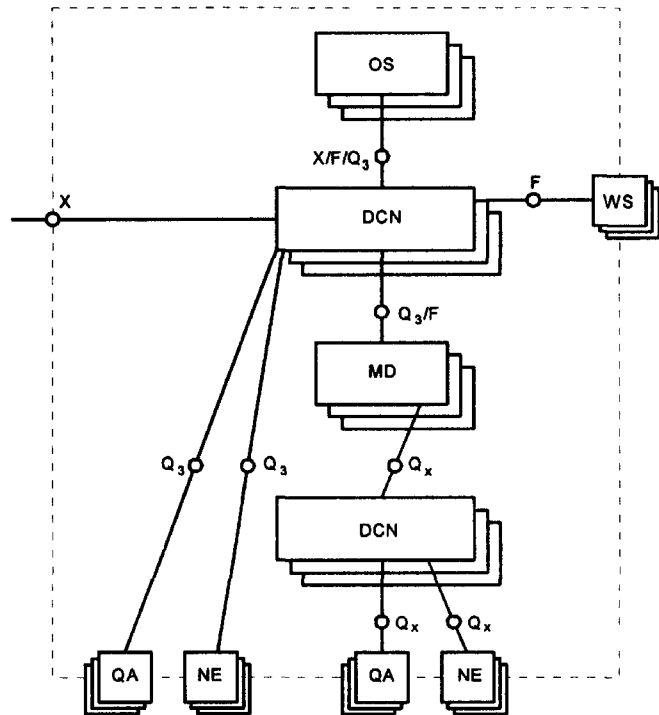


Рис.3-7. Общая архитектура управления телекоммуникационными сетями

В этой схеме (рис.3-7) управляющая система OS взаимодействует с телекоммуникационными сетями через три типа интерфейса, соответствующие опорным точкам: X, F, Q₃. Взаимодействие осуществляется через сеть передачи данных DCN, реализующую протоколы уровней OSI 1-3 и поддерживающую функцию DCF. DCN может состоять из нескольких связанных между собой подсетей различного типа. Например, это могут быть подсети, образованные каналами связи данных типа DCC в сетях SDH.

Через интерфейс F сеть DCN связана с рабочей станцией WS, играющей роль монитора управляющей системы. Интерфейс X связывает DCN с “внешним миром”, через интерфейс Q₃ DCN может быть напрямую связана с сетевым элементом NE или с Q-адаптером QA, позволяющим подключать оборудование, имеющее несовместимые с TMN интерфейсы. Наконец, через интерфейсы Q₃ и F сеть DCN подключается к устройствам сопряжения MD.

Устройства MD, в свою очередь, через интерфейс Q_x подключаются к другим DCN или к подсетям той-же DCN, которые через интерфейсы Q_x связаны напрямую с NE и QA.

Протоколы TMN

Кроме указанных выше протоколов CMIP, CMIS, существуют группы протоколов, поддерживающих каждый из указанных выше интерфейсов: Q₃, Q_x, X и F. Выбор протокола зависит от требований по реализации данной физической конфигурации. Прикладной уровень (верхний уровень семиуровневой модели взаимодействия открытых систем OSI/ISO) является общим для всех групп протоколов, причем он не всегда требуется. Для интерфейса Q₃ на верхних уровнях (с 4 по 7) модели OSI используются протоколы в соответствии с рекомендацией ITU-T Rec. Q.812 [74], на нижних уровнях (с 1 по 3) - в соответствии с рекомендацией ITU-T Rec. Q.811 [73]. При этом первые три уровня требуются практически всегда, так как транспорт сообщений TMN осуществляется протоколами сетевого уровня.

Для оборудования, не имеющего такого интероперабельного интерфейса как Q-интерфейс, приходится конвертировать используемые протоколы и сообщения в формат соответствующего интероперабельного интерфейса. Такая конвертация осуществляется MCF, а также QAF, которые могут быть реализованы в QA, NE, MD или OS.

Примеры реализации DCN

В сетях SDH, использующих концепцию Менеджер-Агент, взаимодействие DCN реализуется с использованием MCF. На рис.3-8а,б приведены два примера реализации таких сетей, обеспечивающих функцию DCF в среде SDH. Объединяющий овал на рисунке указывает, что оба интерфейса имеют объединенный транспорт.

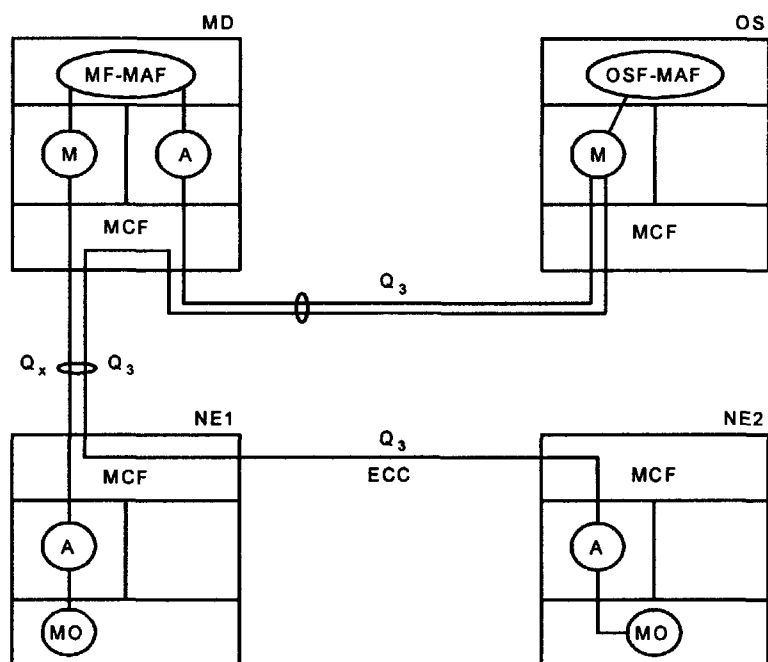


Рис.3-8а. Примеры TMN для управления сетью SDH

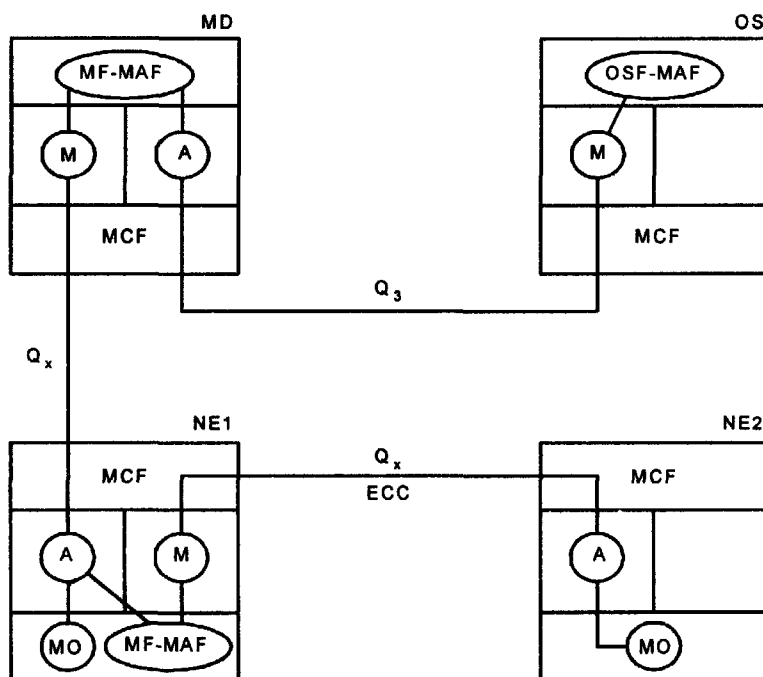


Рис.3-8б. Примеры TMN для управления сетью SDH

В первом примере Менеджер управляющей системы OS, реализует функцию управляющего приложения OSF-MAF и управляет, используя интерфейс Q₃ и **встроенные каналы управления** ECC, устройством сопряжения MD и элементами сети NE1 и NE2 через MCF. Кроме этого, через интерфейсы Q₃ и Q_x реализуется и стандартная для концепции Менеджер-Агент схема управления устройствами MD, NE1 и **управляемым объектом** MO.

Во втором примере используется только эта стандартная схема управления всеми устройствами, поддерживаемая функцией MF-MAF и осуществляемая через интерфейсы Q₃ и Q_x.

3.3. ОБЩАЯ СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ СЕТЬЮ SDH

В свете вышесказанного, рассмотрим более подробно схему управления сетью SDH. Схема организационного управления сетью (рис.3-9) **многоуровневая** [23]. Нижний уровень этой схемы включает SDH NE, которые обеспечивают транспортный сервис. Функции MAF внутри них осуществляют связь с одно-ранговыми NE и поддержку управления ими, а также устройствами MD и управляющей системой OS.

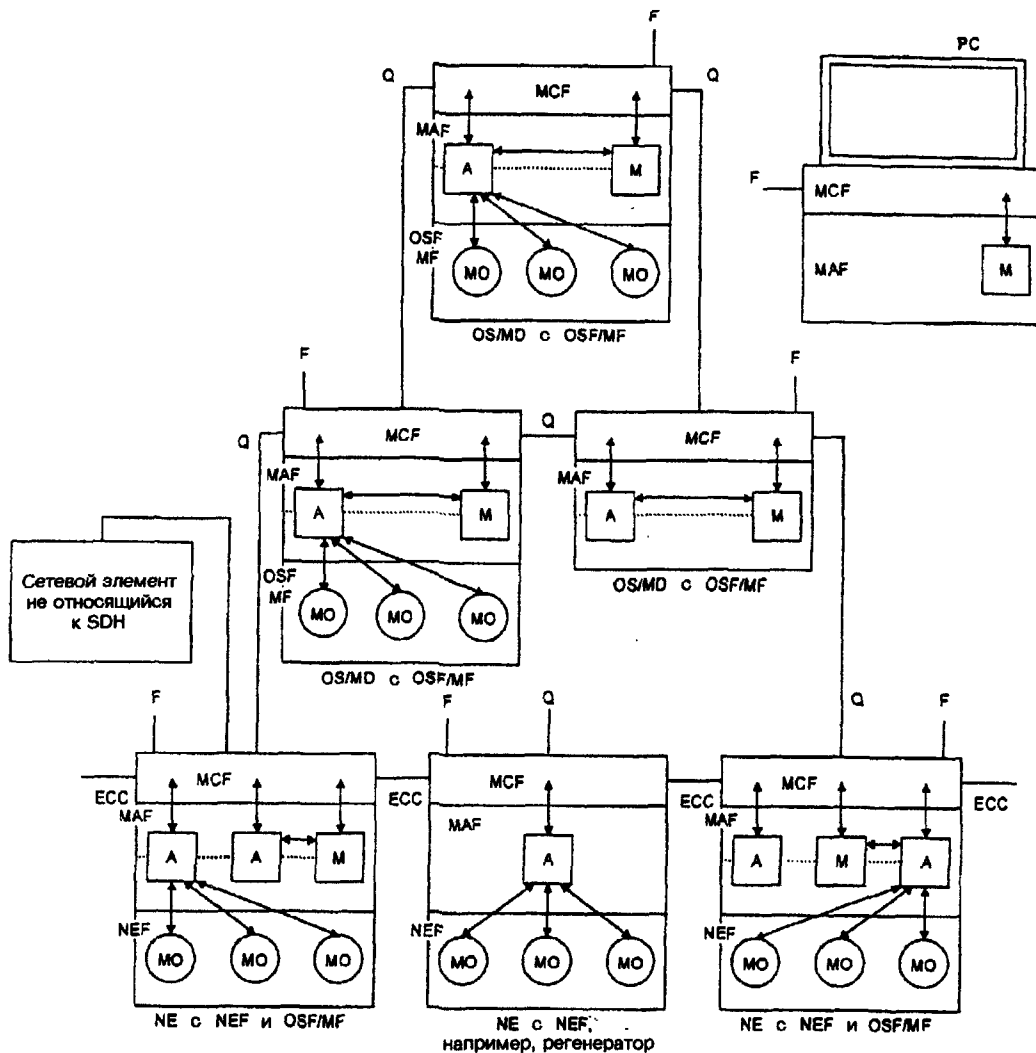


Рис.3-9. Общая схема управления сетью SDH

На схеме используются следующие обозначения:

MCF - функция передачи сообщения
MAF - функция управляющего приложения
NEF - функция сетевого элемента
ECC - встроенный канал управления

A - агент
M - менеджер
MO - управляемый объект
F, Q - интерфейсы

Нижний уровень состоит из трех сетевых элементов и в целом напоминает рис.3-8б (два нижних блока). В каждом элементе логически выделены три функции: MCF, MAF и NEF, причем MAF каждого элемента может включать Агент или Менеджер или их оба. Управляющее сообщение, поступающее по ECC через интерфейсы F и Q или от элемента другой (не SDH) сети, передается с помощью MCF, затем интерпретируется с помощью MAF и через Агента, интерпретирующего NEF, передается на управляемый объект MO. Реакция объекта передается обратно через Агента и Менеджера в канал ECC, или через интерфейсы F и Q на средний уровень - MD, взаимодействующий непосредственно с OS, которая управляется от EM или NMS. Формат сообщений в такой многоуровневой структуре поддерживается одинаковым, как при движении по горизонтали - NE-NE, так и по вертикали: NE-MD, MD-OS.

3.3.1 Подсеть SMS сети управления SMN

Сеть управления SDH (SMN), будучи сама составной частью TMN, состоит из нескольких подсетей SMS. Архитектура SMS и их взаимодействие с TMN приведены на рис 3-10 [23]

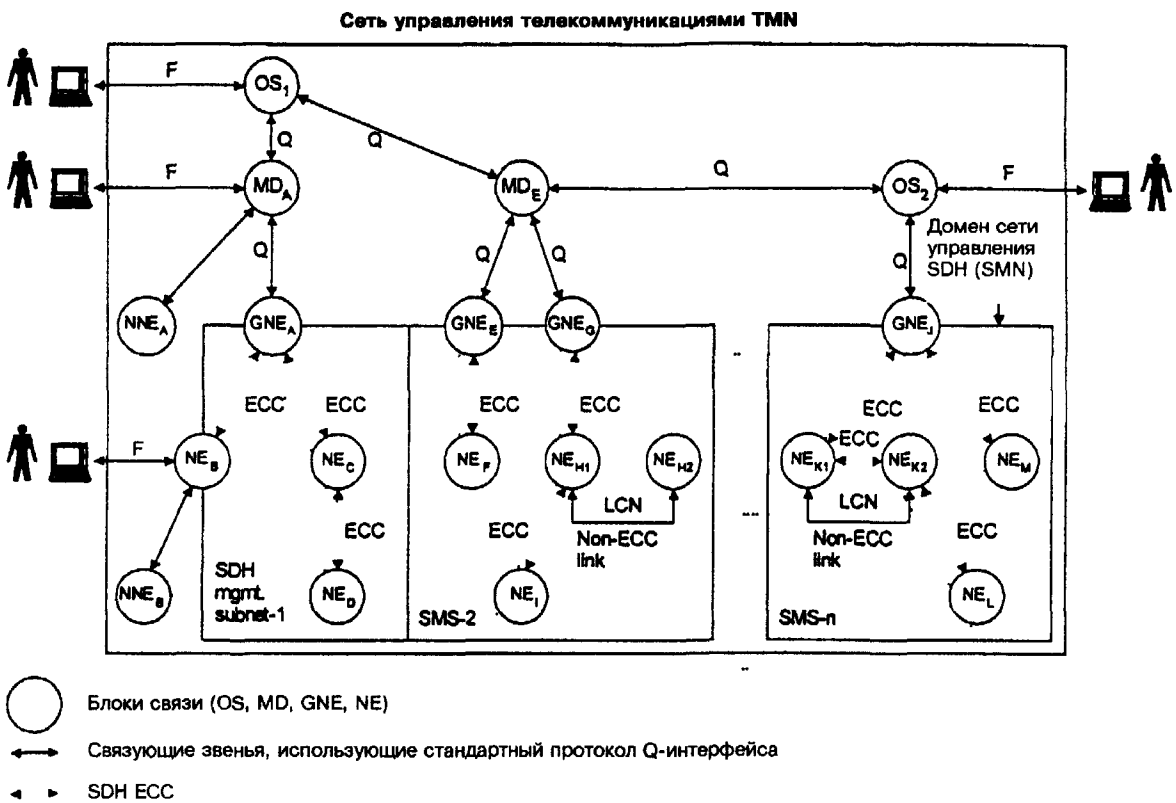


Рис.3-10. Архитектура подсетей SMS и взаимодействие SMS с TMN

Отметим ряд особенностей этой архитектуры

- несколько адресуемых NE могут располагаться в одном месте, доступ к которому осуществляется через **шлюзовые элементы сети** GNE, например GNE_E - GNE_G,
- функция MCF имеет возможность **завершать, маршрутизировать** или **обрабатывать** сообщения, передаваемые по ECC или через внешний Q-интерфейс;
- на основе ECC можно сформировать звено связи между офисами или местами установки оборудования,
- в пределах одного места установки оборудования можно организовать связь, используя либо встроенные каналы управления ECC, либо **локальную сеть связи** LCN

Топология SMS и ECC

Каждая SMS должна иметь хотя бы один элемент, соединенный с MD или OS, он называется **шлюзовым элементом сети** GNE, так как служит шлюзом в подсеть SMS

На топологию сети ECC не накладывается ограничений - это может быть звезда, шина, кольцо или ячеистая сеть

3.3.2. Функции Управления

3.3.2.1. Общие функции управления

Управление каналами ЕСС. Так как ЕСС используются для связи NE, то каналы ЕСС должны иметь следующие функции:

- запрос/получение сетевых параметров, таких как размер пакета, временные промежутки, качество сервиса и т.д.;
- формирование маршрутизации сообщения между узлами DCC;
- менеджмент сетевых адресов (возможное преобразование форматов адресов);
- запрос/получение сетевого статуса DCC для данного узла;
- возможность разрешать/запрещать доступ к DCC.

Фиксация временных событий. На все события, требующие фиксации во времени ставится временная метка с разрешением в одну секунду. Время фиксируется по показанию локального таймера NE.

Другие функции. Другие общие функции, например, защита на различных уровнях или обеспечение безопасности, дистанционный вход в сеть, загрузка и модификация программного обеспечения, обеспечиваются в настоящее время производителями SDH оборудования.

3.3.2.2. Управление сообщениями об аварийных ситуациях

Наблюдение за сообщениями об аварийных ситуациях. Оно включает обнаружение таких сообщений и фиксацию/сохранение сообщений о тех событиях и условиях, которые сопутствовали их появлению, причем не только в том оборудовании, в котором они были обнаружены. OS SMN должна поддерживать следующие функции:

- автономное сообщение о всех сигналах о возникновении аварийной ситуации;
- запрос на сообщение о всех зарегистрированных сигналах о возникновении аварийной ситуации;
- сообщение о всех таких сигналах;
- разрешение/запрет на автономное сообщение о всех сигналах о возникновении аварийной ситуации;
- сообщение о статусе функции “разрешение/запрет на автономное сообщение о всех подобных сигналах”.

Отслеживание истории сигналов/сообщений о возникновении аварийной ситуации. Оно включает запись моментов возникновения таких сигналов и их хранение в регистровом файле, регистры которого содержат все параметры сообщения о возникшей аварийной ситуации. Регистры могут быть считаны по запросу или периодически. OS определяет режим работы регистров: либо запись до заполнения с последующей остановкой или полным стиранием, либо непрерывная запись с циклическим возвратом от конца к началу с перезаписью старых событий.

Другие функции. Из них можно отметить, например, тестирование и регистрацию SDH оборудования.

Основные типы сообщений о возникновении аварийной ситуации. Для того, чтобы получить более полное представление о типах аварийных ситуаций, которые отслеживаются в сети SDH, они представлены в виде таб.3-1 [23], где в левом столбце помещены типы аварийных ситуаций, а в верхней строке - места их возможного возникновения. В ячейках таблицы помещен символ R, если требуется регистрация данного типа аварийной ситуации, или O, если такая регистрация не обязательна.

Таблица 3-1.
Основные типы сообщений об аварийных ситуациях, отслеживаемые в сети SDH

	SPI	RS	MS	Path HOVC	Path LOVC	PPI/LPA	SETS
TF	R					R	
LOS	R					R	
LOF		R				R ³	
LOP				R	R		
FERF			R	R	R		
TIM				R	R ²		
SLM				R	R		
LOM				R ¹			
AIS			R	R	R		
Exe			O				
LTI							R
SD			O				

В таблице использованы следующие сокращения:

TF	Сбой при передаче	RS	Регенераторная секция
LOS	Потеря сигнала	MS	Мультиплексная секция
LOF	Потеря фрейма	Path HOVC	Маршрут VC верхнего уровня
LOP	Потеря указателя	Path LOVC	Маршрут VC нижнего уровня
FERF	Сбой при приеме на удаленном конце	PPI/LPA	Плезеохронный физический интерфейс/ адаптация маршрута VC нижнего уровня
TIM	Несовпадение идентификатора трассировки	SETS	Хронирующий источник синхронного оборудования
SLM	Несовпадение типа сигнала	R ¹	Для нагрузки, требующей индикации мультифрейма
LOM	Потеря мультифрейма	R ²	Если подтверждается использование байта J2 в VC-11, VC-12 и VC-2
AIS	Сигнал индикации аварийного состояния	R ³	Для байт-синхронного отображения
Exc	Слишком много ошибок		
LTi	Потеря синхронизации на входе		
SD	Ухудшение качества сигнала		
SPI	Физический интерфейс SDH		

3.3.2.3. Управление рабочими характеристиками

Сбор данных о рабочих характеристиках системы

Он связан как правило с определением параметров ошибок, описанных в рекомендации ITU-T Rec. G.826 [75]. При их определении используются следующие ключевые термины (см. подробно [75]):

- EB - блок с ошибками;
- ES - секунда с ошибками;
- SES - секунда с серьезными ошибками;
- CSES - последовательные секунды с серьезными ошибками.

В основном используются следующие параметры ошибок (отнесенные к неискаженному интервалу измерения параметров): **коэффициент ошибок по секундам с ошибками ESR, коэффициент ошибок по секундам с серьезными ошибками SESR, коэффициент ошибок по блокам с фоновыми ошибками BBER** (здесь под **блоками с фоновыми ошибками BBE** понимаются те блоки с ошибками, что не вошли в SES).

Отслеживание истории мониторинга рабочих характеристик

Отслеживание истории осуществляется заполнением двух типов регистровых файлов: 24-часовыми файлами и 15-минутными файлами. Текущий 24-часовой регистровый файл по заполнении снабжается текущей датой и перегружается в регистровый файл со вчерашней датой. Шестнадцать 15-минутных регистровых файлов образуют 4-часовую очередь с дисциплиной обслуживания “первый на входе - первый на выходе” FIFO.

Использование временных окон

Общая стратегия их использования описана в рекомендациях ITU-T Rec. M.20, M.2100, M.2120 [76-78]. В нашем случае с помощью OS в NE можно установить либо 15-минутное, либо 24-часовое временное окно. Как только время наступления события совпадает или выходит за границу установленного окна, генерируется **уведомление о пересечении (временной) границы** или порога TCN.

Генерация отчетов о характеристиках системы

Данные о рабочих характеристиках системы могут быть затребованы OS для анализа, используя интерфейс между OS и NE. Эти данные могут запрашиваться периодически либо сообщаться в момент пересечения границы временного окна.

Мониторинг системы в недоступные интервалы времени

В интервалы времени, когда система недоступна, съем данных о характеристиках системы завершен, однако моменты его начала и конца должны фиксироваться и храниться в регистровом файле из 6 регистров (см. ниже) и иметь возможность считываться OS по крайней мере один раз в день.

Мониторинг дополнительных параметров

Дополнительные параметры, такие как:

- секунда, содержащая сигнал OOF (выход за границы фрейма) - OFS,
- число защитных переключений - PSC,
- длительность (определенного) защитного переключения - PSD,
- недоступные секунды - UAS.

Факт выравнивания указателя административного блока - AU PJE, а также CSES могут быть полезны для управления, однако их мониторинг не обязателен. Если он осуществляется, то для накопления предыстории указанных параметров (кроме CSES) используются регистровые файлы с 15-минутными или 24-часовыми временными окнами таким образом, как описано выше. Для параметра AU PJE отдельно должны фиксироваться как положительные, так и отрицательные PJE для одного выбранного AU внутри STM-N.

Событие CSES наступает тогда, когда обнаруживается последовательность из X или больше SES. При обнаружении этого события последовательность прерывается фиксацией начала **недоступного интервала времени**, в течение которого CSES не регистрируются. Конец этого интервала фиксируется тогда, когда регистрируется секунда не являющаяся SES. По крайней мере 6 CSES (вместе с датами появления первых SES в последовательности) должны при этом запоминаться. Значение X устанавливается OS в диапазоне от 2 до 9 в процессе ее конфигурации.

3.3.2.4. Управление конфигурацией

Статус и защитное переключение

Основное назначение защитного (резервного) переключения - подключить резервное устройство вместо основного устройства. Основные функции, дающие возможность осуществить это следующие:

- включение/выключение ручного режима защитного переключения,
- включение/выключение принудительного режима защитного переключения,
- включение/выключение блокировки,
- запрос/установка параметров автоматического защитного переключения - APS.

Другие функции

Другие мероприятия и функции, связанные с управлением конфигурацией, такие как разработка необходимого программно-аппаратного обеспечения и функции его инсталляции, равно как и обеспечение необходимой секретности, относятся к компетенции производителя оборудования.

3.3.3. Протоколы и внутрисистемные взаимодействия

В рамках TMN подсеть SMS является локальной сетью связи LCN. Связь между SMS и OS может осуществляться через одну или более сетей передачи данных DCN и LCN. Это требует организации взаимодействия между SMS и либо DCN, либо LCN, также как и между DCN и LCN. Ниже кратко рассмотрено только взаимодействие между SMS и DCN. Взаимодействие между сетями невозможно без протоколов преобразования формата сообщений на интерфейсных стыках, которыми обмениваются сети, причем будут рассмотрены только протоколы так или иначе связанные с каналами DCC.

3.3.3.1. Обзор используемых протоколов

Для осуществления функций **эксплуатации, администрирования, обслуживания и обеспечения** OAM&P при передаче сообщений в сетях SDH по каналам передачи данных (DCC) необходимо использовать набор, или стек, протоколов, ориентированный на эталонную модель взаимодействия открытых систем OSI.

Ниже приведен список уровней OSI и соответствующих им протоколов, выбранных для обслуживания встроенных каналов управления (ECC) сетей SDH.

Физический уровень	- Протокол DCC не оговорен. DCC представляет физический уровень, причем DCC регенераторной секции работает для передачи сообщений как канал 192 кбит/с (байты SOH D1-D3), а DCC мультимплексной секции - как канал 576 кбит/с (байты SOH D4-D12).
Уровень звена данных (канальный уровень)	- Протокол LAPD (Q.921, [79]). Обеспечивает через DCC сети SDH связь "точка-точка" между каждой парой смежных сетевых узлов. Используются два типа сервиса: передача информации с подтверждением приема AITS (спецификация этого типа сервиса приведена в [23, табл.6-3] и основана на рекомендации ITU-T Rec. Q.921; используется по умолчанию), передача информации без подтверждения приема UITS (спецификация этого типа сервиса приведена в [23, табл.6-2] и основана на рекомендации ITU-T Rec. Q.921, Q.922 и ISO 8473 [79-81]).
Сетевой уровень	- В соответствии с рекомендацией ITU-T Rec. Q.811 [73] используется протокол ISO 8473 [81]. Он обеспечивает дейтаграммный (т.е. не ориентированный на установление предварительного соединения) сервис, удобный для высококачественных высокоскоростных сетей. Этот же стандарт [81] определяет протоколы сведения , используемые для передачи как по ориентированным, так и по не ориентированным на установление соединения подсетям на уровне звена данных, для чего используется функция качества обслуживания QOS. Ее параметры определяются протоколом ISO 8473 и относятся к компетенции сетевого оператора.

Транспортный уровень	- Требуемый транспортный протокол - протокол класса 4, обеспечивающий в соответствии с рекомендацией ITU-T Rec. Q.812 [74] надежную доставку по сети и транспорт не ориентированного на установление соединения низлежащего сетевого сервиса (см. стандарт ISO 8073/AD2 [82]), осуществляемые на уровне звена данных как через ориентированные, так и через не ориентированные на установление соединения подсети.
Сеансовый уровень	- Используется сеансовый протокол, в соответствии с рекомендацией ITU-T Rec. Q.812 [74] обеспечивающий синхронизацию взаимодействующих систем связи при диалоге и управляющий, с учетом требований двух верхних уровней, запросами на транспортные соединения.
Уровень представлений	- Используется протокол представлений, в соответствии с рекомендацией ITU-T Rec. Q.812 [74]. Этот уровень и нотация абстрактного синтаксиса ASN.1 должны обеспечивать возможность понимания как контекста, так и синтаксиса информации, передаваемой с прикладного уровня на низлежащие уровни.
Прикладной уровень	- Используется протокол CMIP (см. стандарт ISO 9596 [83]). Поддержка протокола передачи файла, доступа и менеджмента FTAM не требуется. В рамках CMIP используются следующие опции: - сервисный элемент общей управляющей информации CMISE, - сервисный элемент дистанционных операций ROSE, - сервисный элемент ассоциированного управления ACSE

3.3.3.2. Внутрисистемные взаимодействия

Каналы DCC регенераторных и мультимплексных секций используют **сетевой протокол без установления соединения** CLNP, описанный в ISO 8473 [81]. Связь в сети DCN между OS и SMS также базируется на основе протоколов OSI. Используется **сетевой протокол с установлением соединения** CONP технологии X.25, описанный в стандарте ISO 8208 [84], с протоколом IP в качестве одной из опций в OS.

Согласно модели OSI взаимодействие между подсетями SMS и DCN должно происходить на сетевом уровне, тогда как транспортный и более высокие уровни используются для взаимодействия между конечными системами, например, SNE и OS. Сетевой уровень, в соответствии со стандартом ISO 7498 [85], должен быть прозрачен для потока данных между конечными системами, т.е. поток данных обрабатывается **функциями маршрутизации и ретрансляции** сетевого уровня и может зависеть только от качества сетевого сервиса различных подсетей. Взаимодействие подуровней сетевого уровня регламентируется стандартом ISO 8648 [86].

Взаимодействие между SMS и DCN

При передаче сообщений между SMS и DCN происходит взаимодействие между стеками протоколов CLNP (в SMS) и CONP (в DCN). На нижних уровнях OSI взаимодействие основано на стандарте ISO 10172 [87]. Стандарт ISO определяет **функциональный блок взаимодействия** IFU, который и осуществляет функцию ретрансляции и/или преобразование **протокольных блоков данных** PDU между сетями.

Ретрансляция на сетевом уровне

Блок IFU, функционирующий в режиме **ретрансляции на сетевом уровне** (NLR), является регулярной промежуточной системой и представляет единственный удовлетворяющий OSI метод взаимодействия между конечными системами, имеющими различные сетевые протоколы. Под взаимодействием понимается функция сетевого уровня, определенная стандартами ISO 7498 и ISO 8648 [85,86]).

Правила функционирования CLNP на **сети пакетной коммутации** (PSN) X.25, определяются **функцией сведения, зависящей от подсети** (SNDCF), описанной в стандарте ISO 8473 [81].

Режим NLR может обеспечить взаимодействие между SMN и DCN, если обе сети используют протокол CLNP и соединение типа TP Class 4 (TP4). В этом случае сетевой сервис верхнего уровня SMS SNE - DCN OS играет роль сервиса, соответствующего режиму взаимодействия без установления соединения на сети X.25, обеспечивающей (через сеть DCN с протоколом CONP) взаимодействие IFU с OS. При этом IFU анализирует адреса назначения **сетевых протокольных блоков данных** NPDU, полученных от SMN, и транслирует соответствующие CLNP NPDU от SMS на **коммутируемые виртуальные цепи** SVC X.25 сети DCN.

3.3.4. Интерфейсы взаимодействия

Из всех интерфейсов, взаимодействующих с сетью TMN (рис.3-2), здесь будут рассмотрены только два интерфейса Q и F, которые являются внутренними интерфейсами сети TMN. Наиболее важным из них безусловно является группа интерфейсов, объединенных общим названием Q-интерфейс.

3.3.4.1. Q-интерфейс

Для взаимодействия с сетью TMN, SMS использует Q-интерфейс (рекомендация CCITT G.771 [88]), имеющий три набора или стека протоколов: B1, B2, B3, определенных в рекомендации ITU-T G.773 [89, версия 1990г.]. Эти стеки протоколов были позднее заменены на стеки: A1, A2 - **короткий стек** и CONS1, CLNS1, CLNS2 (вместо B1, B2, B3 соответственно) - **полный стек**, определенный в рекомендации G.773 [89, версия 1993г.]. В этой последней публикации описаны только стеки A1 и A2, которые в основном соответствуют интерфейсу Q_x, причем выбор соответствующего стека остается за производителем оборудования. Профиль протоколов CONS1, CLNS1 и CLNS2 для уровней 1-3 модели OSI описан в рекомендации ITU-T Q.811 [73], а для уровней 4-7 - в ITU-T Q.812 [74]. Они соответствуют как интерфейсу Q₃, так и Q_x (при необходимости реализации всех уровней модели OSI) сетей SDH.

Короткие стеки протоколов A1 и A2 представлены в таб.3-2.

Таблица 3-2.
Стеки протоколов A1 и A2

Уровни	Стек протоколов A1	Стек протоколов A2
Уровень 1	Физические интерфейсы ISO 8482, EIA 485 [90,91]	Физический интерфейс не регламентирован
Уровень 2	ISO 3309, ISO 4335, ISO 7809 [92,93,94]	ISO 8802-2 + DAD2, ISO 8802-3 [95,96,97]
Уровень 3	ISO 8473, ISO 8473/AD3 [81,98]	ISO 8473 [81]
Уровень 7	ACSE - CCITT X.217, X.227 [99,100], поддержка ASE не обязательна	ROSE - CCITT X.219, X.229 [101,102] CMSE - ISO 9595, ISO 9596 [103,83]

Для уровней 4-6 модели OSI протоколы и отображающие функции не регламентируются. Более подробно это рассмотрено в рекомендации G.773 [89, версия 1993 г.].

Скорости передачи, поддерживаемые интерфейсом Q_x, зависят от стека протоколов. Для A1 они равны 19200 и 64000 бит/с, хотя можно использовать и 128 кбит/с. Для A2 она равна 1 Мбит/с или выше.

На рис.3-11 приведена модель сети DCN [73], на которой белые кружочки на концах линий показывают положение интерфейсов Q₃, соединительные линии между ними - маршруты связи между выделенными точками, а двухбуквенный код αβ указывает типы сетей, подключенных к интерфейсам и вовлеченных во взаимодействие. Буква α указывает на сеть, с которой данный интерфейс физически соединен, а буква β - на сеть, с которой соединен другой, взаимодействующий с ним, интерфейс. Например, код интерфейса **ga** (интерфейс показан у левого верхнего блока CLNS X.25) говорит, что данный интерфейс соединен с сетью CLNS/X.25 (буква **g** соответствует **сети с пакетной коммутацией** X.25, тип сервиса CLNS, см. расшифровку под рисунком) и через сеть DCN по маршруту **ga – ag** связан с интерфейсом **ag**, соединенным с сетью PSPDN (буква **a** соответствует **сети передачи данных общего пользования с пакетной коммутацией** PSPDN, тип сервиса CONS).

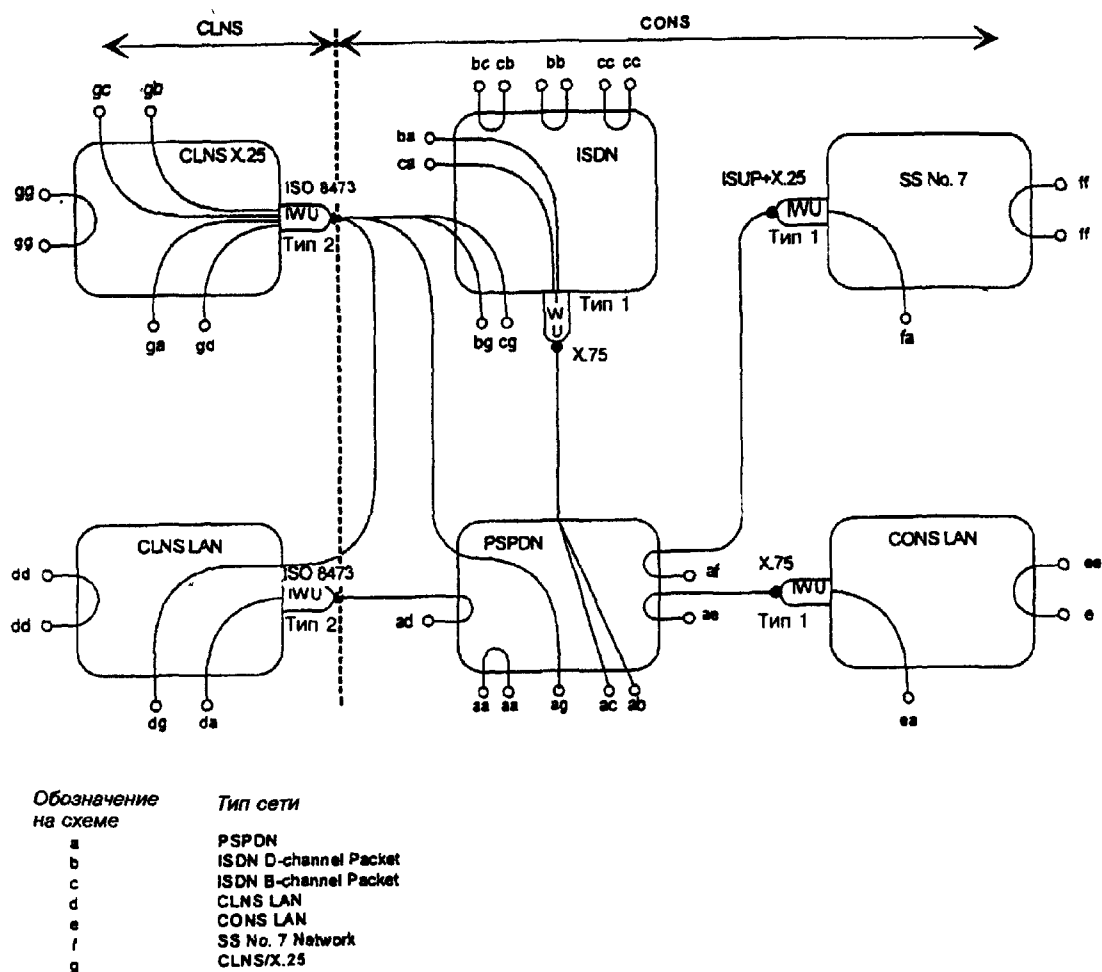


Рис.3-11. Модель сети DCN с маршрутами связи интерфейсов Q₃

Пояснения к рис.3-11.

- К интерфейсам Q₃ могут подключаться OS, MD, QA и NE (на рис. не показаны).
- Черными кружочками показаны опорные точки **блоков взаимодействия** IWU.
- Функции взаимодействия типа 1 - функции, которые выполняются на границах между подсетями и не прозрачны для конечных систем.
- Функции взаимодействия типа 2 - функции, которые выполняются на границах между подсетями и могут быть прозрачны для конечных систем.

Сеть DCN разбита по типу сервиса на две части: сеть, использующая **режим без установления соединений** (CLM) - CLNS и сеть, использующая **режим установления соединений** (CM) - CONS. При этом используются следующие профили протоколов нижних трех уровней:

- CONS1 - пакетный интерфейс, использующий протокол X.25 с режимом установления соединений, применим к опорной точке между PSPDN и OS/MD/QA/NE;
- CONS2 - пакетный интерфейс, использующий протокол X.31 с режимом установления соединений на D-канале ISDN, применим к опорной точке между ISDN и OS/MD/QA/NE;
- CONS3 - пакетный интерфейс, использующий протокол X.31 с режимом установления соединений на B-канале ISDN, применим к опорной точке между ISDN и OS/MD/QA/NE;
- CONS5 - интерфейс, использующий протоколы системы сигнализации SS#7 MTP и SS#7 SCCP с режимом установления соединений;
- CONS6 - пакетный интерфейс, использующий протокол X.25 с режимом установления соединений через локальную сеть, применим к OS/MD/QA/NE, подключаемым к LAN;
- CLNS1 - интерфейс, использующий локальные сети Ethernet с протоколом типа ISO 8802-2 и режимом без установления соединений, применим к опорной точке между LAN и OS/MD/QA/NE;
- CLNS2 - интерфейс с режимом без установления соединений, использующий IP протокол на сети X.25 с режимом установления соединений, применим к опорной точке между PSPDN и OS/MD/QA/NE.

Более подробно стеки протоколов для указанных интерфейсов описаны в [73].

Скорости передачи, поддерживаемые интерфейсом Q₃, зависят от типа CLNS. Для CLNS1 она составляет 1, 10 Мбит/с или выше. Для CLNS2 соответствуют ряду: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200 и 64000 бит/с (допустимо в течение некоторого переходного периода использование скоростей 48000 и 56000 бит/с).

Для CLNS1 в качестве физической среды распространения сигнала используют коаксиальный кабель, экранированную витую пару или ВОК. Для CLNS2 в качестве соединительных разъемов допустимо использовать те, что поддерживают интерфейсные протоколы X.21, X.21bis и интерфейсы серии V. К этим интерфейсам из широко известных относятся X.21 и V.35 и из не очень широко известных ISO 2110 (X.21bis), ISO 2593 (X.21, X.21bis), ISO 4902 (X.21bis) и ISO 4903 (X.21) [104,105]. Описание сигналов на контактах и их соответствие сигналам интерфейсов X.21 и X.21bis также приведены в рекомендации ITU-T Q.811 [73].

3.3.4.2. F-интерфейс

Согласно общей концепции, местоположение интерфейса F соответствует положению опорных точек *f*. Как было указано выше, через интерфейс F сеть DCN связана с рабочей станцией WS - монитором управляющей системы. Благодаря этой связи обеспечивается выполнение функций OSF и MF, осуществляющих, как было описано выше, ряд управляющих действий, например:

- общую обработку управляющей информации,
- реализацию функции управляющего приложения OSF-MAF,
- обработку информации, передаваемой между блоками OSF и NEF (или QAF),
- реализацию функции управляющего приложения MF-MAF.

Возможностей управления сетью через интерфейс F со стороны диспетчера сети, сидящего за дисплейным пультом управления WS, достаточно много даже на уровне основных функций управления, включающих (раздел 3.3.2) общие функции управления, управление потоками сообщений о возникновении аварийных ситуаций, управление рабочими характеристиками оборудования, управление конфигурацией, управление выставлением счетов, обеспечение надежности и сохранение безопасности функционирования системы, а также ее тестирование. Более подробно эти возможности перечислены в Приложении А к рекомендации ITU-T M.3300 [66].

3.4. ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЬЮ SDH

3.4.1. Сеть управления на основе каналов DCC

Рассмотрим некоторую обобщенную практическую двухуровневую схему управления сетью SDH, которая состоит, например, из колец SDH, а кольцо состоит из нескольких узлов - мультиплексоров. Соединение колец и узлов формирует SMN. Такое соединение можно сделать, используя либо встроенные каналы связи DCC, которые обеспечиваются самим оборудованием SDH, либо внешнюю кабельную проводку между узлами, реализующую сеть X.25 или Ethernet. В любом случае каждый узел должен быть доступен для управления. Для защиты наиболее важных участков сети управления может использоваться резервирование.

Маршрутизация в сети управления может осуществляться, например, на основе **протокола связи между конечной и промежуточной системами ES-IS** [106] или **протокола связи между промежуточными системами IS-IS** [107], взятых из протоколов, обслуживающих интерфейс Q₃. Это обеспечит автоматическую маршрутизацию как в процессе инсталляции сети, так и при возникновении ошибок в сети, то-

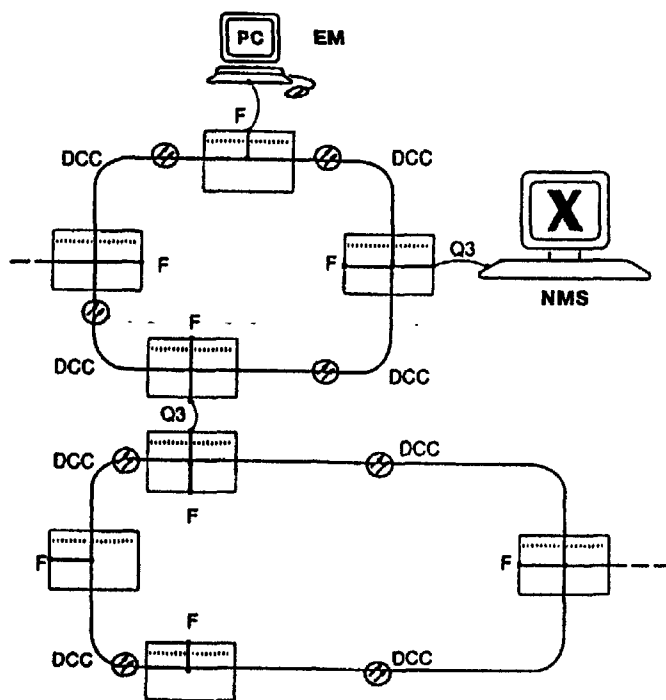


Рис.3-12. Схема управления сетью SDH

есть, если какое-то звено сети неисправно, то используется альтернативный маршрут. Схема маршрутизации должна автоматически изменяться и при изменении конфигурации. Обычно используют два-три канала DCC на один узел, чтобы время маршрутизации не было большим, однако при необходимости их число может быть увеличено до семи.

На рис.3-12 приведена практическая схема управления сетью SDH, состоящей из двух колец по четыре мультиплексора в каждом, с **элемент-менеджером** EM (нижний уровень управления), подключенным к одному из узлов сети (мультиплексору) через интерфейс F, и **сетевым менеджером** NMS (верхний уровень управления), подключенным через локальную сеть к сети SDH через интерфейс Q₃. Это может быть локальный (для данного кольца) или центральный менеджер. Кольца также соединены между собой по контуру управления через интерфейс Q₃.

3.4.1.1. Спецификация интерфейсов управления

С учетом вышесказанного приведем сводные данные по локальной сети и интерфейсам управления Q₃ и F. Для конкретного примера выберем LAN Ethernet типа 10BASE2, которой соответствует набор протоколов CLNS1. Тогда профили стеков протоколов SDH и Q₃ и протоколы маршрутизации, используемые в управлении сети SDH, регламентируются стандартами и рекомендациями, приведенными в таб.3-3.

Таблица 3-3.
Стеки протоколов для управления сетью SDH

Профиль стека SDH	Управление сетью SDH	ITU-T G.784 [23]
	Уровни 1 - 3	ITU-T Q.811 [73]
	Уровни 4 - 7	ITU-T Q.812 [74]
Стек протоколов Q ₃	Уровень 2	ITU-T Q.921 LAPD для DCC [79]
		LLC1 (ISO 8802-2) для Ethernet [95]
	Уровень 3	CLNP ISO 8473, ISO 8348/AD2 [81,108]
	Уровень 4	ITU-T X.214, X.224 [109,110]
	Уровень 5	ITU-T X.215, X.225 [111,112]
	Уровень 6	ITU-T X.216, X.226 [113,114]
	Уровень 7	ACSE: CCITT X.217, X.227 [99,100]
		ROSE: CCITT X.219, X.229 [101,102]
		CMISE: ISO 9595-1, ISO 9596-1 [103,83]
Протоколы маршрутизации	ES - IS	ISO 9542 [106]
	IS - IS	ISO 10589 [107]

Элемент-менеджер формально соединен с сетью через интерфейс F, фактически же при использовании локальной сети Ethernet это тот же интерфейс Q₃ с указанными протоколами уровня 2. Учитывая, что применена сеть Ethernet 10BASE2 с тонким коаксиальным кабелем, используются соединительные разъемы типа BNC с импедансом 50 Ом.

3.4.1.2. Адресация точки доступа сетевого сервиса NSAP

Каждый узел сети управления должен иметь свой адрес **точки доступа сетевого сервиса** NSAP. Этот адрес присваивается узлу при инсталляции. Он уникален и служит для идентификации узла при его подключении к EM или NMS.

При управлении конкретной сетью важным параметром является максимальное число узлов (мультиплексоров), управление которыми возможно. Допустим, что это число равно 100. Тогда, если число узлов в результате роста сети превысило этот показатель, то сеть управления должна быть разбита на области с меньшим числом управляемых узлов. Если такое разбиение необходимо, то оно должно быть проведено с учетом целого ряда ограничений обычно указываемых в руководствах по маршрутизации.

- Некоторые вещи полезно знать для того, чтобы осуществить такое разбиение:
- наиболее удобной топологией для сети управления, имеющей несколько областей, является топология “звезда” (например, область в виде квадрата, можно разбить делением сторон пополам, что дает 4 симметричные области с центром в центре квадрата),

- области управления могут не иметь ничего общего с топологией транспортной сети SDH (хотя это и рекомендуется),
- используя портативный компьютер в качестве EM, нужно помнить, что при переходе из области в область надо менять адрес NSAP у портативного компьютера.

Не рассматривая подробно процедуру разбиения на управляемые подобласти, укажем однако, что возможность такого разбиения важна тем, что позволяет планировать использование более совершенных схем маршрутизации. Например, уровень 1 протокола IS-IS позволяет осуществлять маршрутизацию только внутри одной области, тогда как уровень 2 позволяет осуществлять маршрутизацию и между областями в пределах одного домена.

Структура адреса NSAP показана рис.3-13. Максимальная длина его - 20 байтов.

Начальная часть домена IDP		Специфическая часть домена DSP		
AFI	IDI	Адрес области AA	Идентификатор системы SID	NSEL

Рис.3-13. Структура адреса NSAP

Адрес NSAP состоит из двух частей адреса домена: начальной и специфической - IDP и DSP. Начальная часть домена IDP в свою очередь состоит из двух полей: поля **идентификатора полномочий и формата** AFI (длиной в 1 байт) и **начального идентификатора домена** IDI (длиной в 2 байта). Они фиксируются локальной схемой нумерации, которой они и следуют. Так как нет жестко регламентирующих правил нумерации адреса, то лучше придерживаться схемы нумерации, данной в стандарте ISO 10589 [107] для данного протокола. Структура специфической части домена DSP соответствует протоколу IS-IS, выбранному в нашем примере в качестве протокола маршрутизации. Пример генерации и использования адреса NSAP приведен в п. 3.5.

Внутри одной области начальная часть домена IDP и **адрес области** AA (длиной в 10 байтов) постоянны. Только **идентификатор системы** SID (длиной в 6 байтов) изменяется от узла к узлу в одной области, но его размер остается постоянным. Поле NSEL имеет длину в один байт и принимается постоянным и равным 0.

3.4.1.3. Сеть Ethernet

Если в качестве локальной сети используется сеть Ethernet, то узлы в одной станции могут быть соединены с помощью кабелей Ethernet. Максимальное число узлов сети Ethernet, которое может иметь одна станция (один или несколько узлов, имеющих одно функциональное назначение) сети SMN, ограничено. Это число может быть, например, 15, что ограничивает общее число узлов сети SMN, подключенных к сети Ethernet. Образующиеся отдельные "островки" сети Ethernet могут быть соединены мостами, причем каждое такое соединение защитывается как один дополнительный узел сети Ethernet.

Все подключения кабелей к панели разъемов мультиплексоров SDH (полок в пределах одной стойки), при объединении нескольких узлов SMN кабелями Ethernet, должны быть сделаны до инициализации сети Ethernet так, как показано на рис.3-14. Если такими же кабелями соединяются стойки, то должен соблюдаться тот же принцип соединения. При наличии разного числа (1 или 2) **блоков управления** CU на полках необходимо следовать указаниям руководства по установке полок в стойку конкретного производителя оборудования.

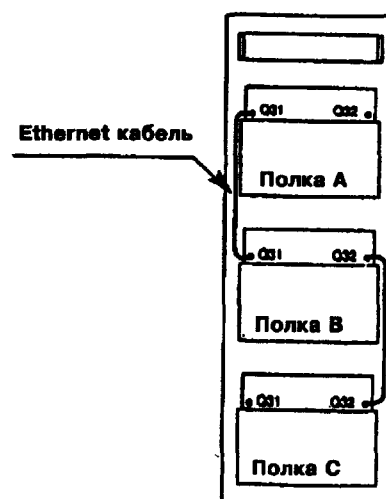
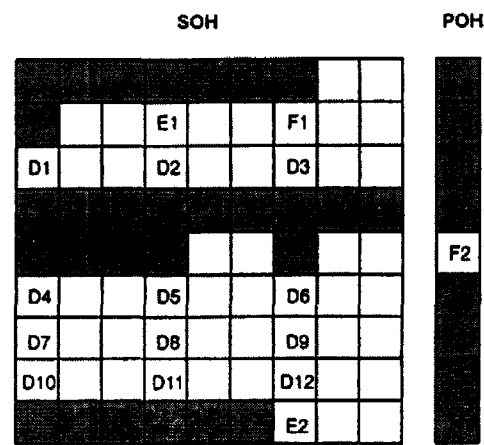


Рис.3-14. Соединение трех узлов (полок) на стойке кабелем Ethernet

3.4.2. Служебные каналы и внешние интерфейсы

Как уже упоминалось выше (2.2.9), заголовки SOH и POH фрейма STM-N имеют достаточно большую резервную емкость, которая может быть использована для формирования различных служебных каналов. Общий объем заголовка составляет 90 (81+9) байт. Использование каждого байта эквивалентно созданию 64 кбит/с канала. Все указанные байты могут быть разделены на три типа (рис.3-15):

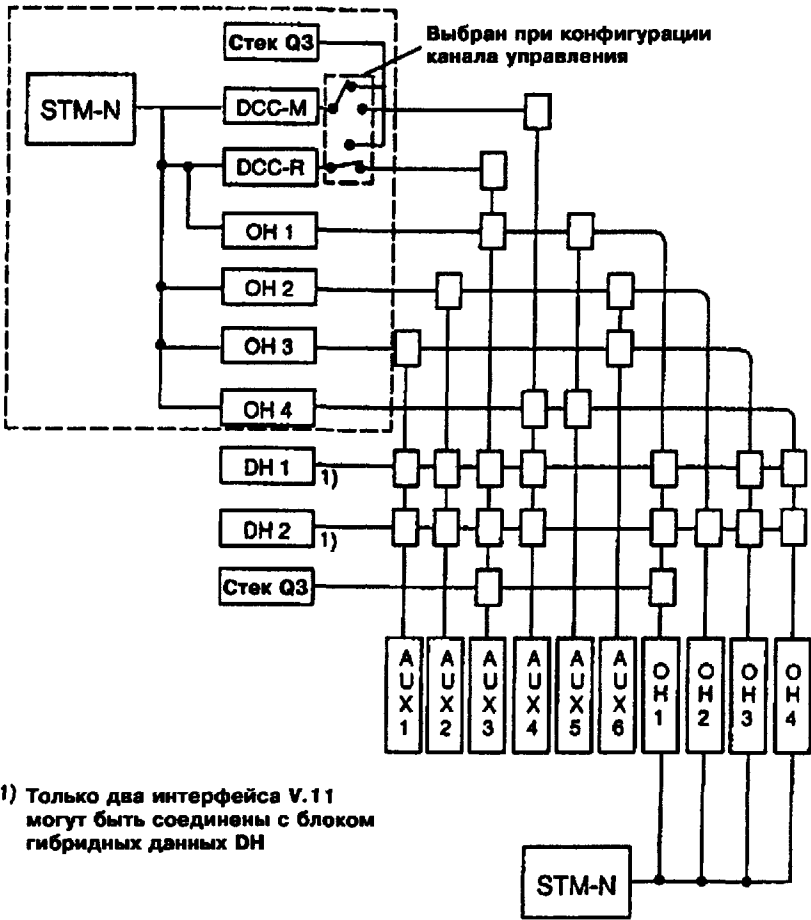


- байты, которые не могут эксплуатироваться пользователями SDH оборудования (их 36, они заштрихованы на рис.3-15),
- байты, которые специально предназначены для использования в служебных целях или для создания служебных каналов (их 16, они помечены символом и номером, например, E1); к ним относятся, например, канал DCC_R (D1,D2,D3), имеющий скорость 192 кбит/с для обслуживания регенераторных секций, канал DCC_M (D4-D12) - 576 кбит/с для обслуживания мультиплексных секций; кроме этого существуют еще 4 байта - E1, E2 и F1, F2, зарезервированные для создания четырех каналов 64 кбит/с,
- байты к которым пользователь имеет доступ, но функции которых не регламентированы стандартами (их 38, они никак не помечены).

Рис.3-15. Байты SOH и POH и возможности их использования

Последние две группы байтов могут быть сгруппированы для создания служебных каналов и скоммутированы

на внешние интерфейсы, к которым может подключаться пользователь SDH оборудования. Число таких интерфейсов (а значит и вариантов группирования) зависит от производителя оборудования. Например, компания Nokia в мультиплексорах уровня STM-1, 4 обеспечивает 4/6 таких интерфейса (рис.3-16).



1) Только два интерфейса V.11 могут быть соединены с блоком гибридных данных DH

Рис.3-16. Возможная схема коммутации внешних интерфейсов

Как видно из рис.3-16 и описано в [115], блок внешних интерфейсов позволяет осуществить ряд вариантов группирования каналов, а также следующие функции:

- подключение физических интерфейсов (например, V.11 или G.703) к выбранным байтам заголовка фрейма STM-N;
- две специальные **функции с гибридным набором данных** DH 1, DH 2 для данных, взятых из избранных байтов **заголовка фрейма** OH или из физического интерфейса V.11;
- подключение стека Q₃ к выбранным байтам заголовка фрейма OH или к **внешнему физическому интерфейсу** (AUX-3).

Такая организация внешних интерфейсов и наличие гибридных наборов данных позволяет с помощью сети SDH осуществлять управление PDH оборудованием, подключенным к мультиплексорам SDH с помощью интерфейсов V.11, используя каналы управления 64 кбит/с, сформированные пользователем на основе байтов заголовка фрейма OH. Это дает возможность создавать на базе единой сети управления гибридные PDH-SDH комплексы, продлевая жизнь оборудованию PDH.

Использование стека Q₃ вместе с каналами данных через AUX-3 позволяет осуществить маршрутизацию управляющей информации через сеть, которая не может напрямую использовать каналы ECC.

3.4.3. Синхронизация сетей SDH

Проблема синхронизации сетей SDH является частью общей проблемы синхронизации цифровых сетей, использующих ранее плезиохронную иерархию. Общие вопросы синхронизации, описанные в рекомендации CCITT G.810 [116], актуальны как для плезиохронных, так и для синхронных сетей. Отсутствие хорошей синхронизации приводит, например, к относительному “проскальзыванию” цифровых последовательностей или “слипам” (slip) и ведет к увеличению уровня ошибок синхронных сетей.

Цель синхронизации - получить наилучший возможный хранирующий источник или **генератор тактовых импульсов** или **таймер** для всех узлов сети. Для этого нужно не только иметь высокоточный хранирующий источник, но и надежную систему передачи сигнала синхронизации на все узлы сети.

Система такого распределения базируется в настоящее время на иерархической схеме, заключающейся в создании ряда точек, где находится **первичный эталонный генератор** тактовых импульсов PRC (ПЭГ), или **первичный таймер**, сигналы которого затем распределяются по сети, создавая вторичные источники - **вторичный** или **ведомый эталонный генератор** тактовых импульсов SRC (ВЭГ), или **вторичный таймер**, реализуемый либо в виде **таймера транзитного узла** TNC, либо **таймера локального (местного) узла** LNC. Первичный таймер обычно представляет собой хранирующий атомный источник тактовых импульсов (цезиевые или рубидиевые часы) с точностью не хуже 10⁻¹¹. Он обычно калибруется вручную или автоматически по сигналам **мирового скоординированного времени** UTC [117]. Эти сигналы затем распространяются по наземным линиям связи для реализации того или иного метода синхронизации.

3.4.3.1. Методы синхронизации

Существуют два основных метода узловой синхронизации [116]: иерархический метод **принудительной синхронизации** с парами **ведущий-ведомый** таймеры и неиерархический метод **взаимной синхронизации**. Оба метода могут использоваться отдельно и в комбинации, однако как показывает практика широко используется только первый метод.

Внедрение сетей SDH, использующих наряду с привычной топологией “точка-точка”, кольцевую и ячеистую топологии, привнесло дополнительную сложность в решение проблем синхронизации, так как для двух последних топологий маршруты сигналов могут меняться в процессе функционирования сетей.

Как было указано в п.2.7.2, а также рассмотрено в [29], сети SDH имеют несколько дублирующих источников синхронизации:

- сигнал внешнего сетевого таймера, или первичный эталонный таймер PRC, определяемый в рекомендации ITU-T G.811 [118], сигнал с частотой 2048 кГц;
- сигнал с трибного интерфейса канала доступа, аналог таймера транзитного узла TNC, определяемый в рекомендации ITU-T G.812 [119], сигнал с частотой 2048 кГц, выделяемый из первичного потока 2048 кбит/с;
- сигнал внутреннего таймера, или таймера локального узла LNC, определяемый в рекомендации ITU-T G.812 [119], сигнал 2048 кГц;
- линейный сигнал STM-N, или **линейный таймер**, сигнал 2048 кГц, выделяемый из линейного сигнала 155.520 Мбит/с или 4n x 155.520 Мбит/с.

Учитывая, что трибы 2 Мбит/с отображаются в виртуальные контейнеры и могут плавать в рамках структуры вложенных контейнеров, использующих указатели, их сигналы должны быть исключены из схемы синхронизации SDH сети. Точность сигналов внутреннего таймера порядка 1-5x10⁻⁶ - мала,

учитывая возможность накапливания ошибки в процессе так называемого “каскадирования сигналов таймеров”, когда узел сети восстанавливает сигнал таймера по принятому сигналу и передает его следующему узлу. В этом смысле наиболее надежными источниками синхронизации являются сигнал внешнего сетевого таймера и линейный сигнал STM-N.

Целостность синхронизации сети PDH базировалась на использовании иерархической принудительной синхронизации (ведомый/ведущий таймеры). В ней прохождение сигналов таймеров через узлы сети было прозрачным. В сети SDH, восстанавливающей в каждом узле сигнал таймера из линейного сигнала STM-N, такая прозрачность теряется. В этой ситуации целостность синхронизации сети SDH лучше поддерживается при использовании распределенных **первичных эталонных источников** PRS, что позволяет устранить эффекты “каскадирования сигналов таймеров” [117]. Метод распределенных PRS описан в стандарте Bellcore GR-2830-CORE [120].

3.4.3.2. Режимы работы и качество хранирующего источника

Предусматривается четыре стандартных режима работы хранирующих источников узлов синхронизации:

- а) **режим первичного эталонного таймера** PRC или генератора ПЭГ (мастер узел);
- б) **режим принудительной синхронизации** - режим ведомого задающего таймера SRC или генератора ВЗГ (транзитный и/или местный узлы);
- в) **режим удержания** с точностью удержания 5×10^{-10} для транзитного узла и 1×10^{-8} для местного узла и суточным дрейфом 1×10^{-9} и 2×10^{-8} соответственно [160].
- г) **свободный режим** (для транзитного и местного узлов) - точность поддержания зависит от класса источника и может составлять 1×10^{-8} для транзитного и 1×10^{-6} для местного узлов [160].

Организации ITU-T и ETSI предложили использовать понятие **уровень качества хранирующего источника**. Этот уровень может быть передан в виде **сообщения о статусе синхронизации** SSM через заголовок фрейма STM-N для чего используются биты 5-8 байта синхронизации (например, S1), или последовательностью резервных бит в фрейме E1 2 Мбит/с. В этом случае при сбое в сети, повлекшем защитное переключение, сетевой элемент имеет возможность послать сообщение таймеру о необходимости использовать сигнал синхронизации, восстановленный из альтернативного маршрута.

Современные системы управления сетью могут использовать до шести уровней качества хранирующего источника (таблицу 3-4).

Таблица 3-4.
Возможные уровни качества хранирующего источника

Символ	Уровень качества хранирующего источника
PRC или G.811	Первичный эталонный таймер PRC, CCITT G.811 [118]
Unknown	Уровень качества неизвестен
TNC или G.812T	Таймер транзитного узла TNC, CCITT G.812 [119]
LNC или G.812L	Таймер локального узла LNC, CCITT G.812 [119]
SETS	Таймер собственно узла SDH, инициированный линейным STM-N сигналом
Don't use	Не используется для целей синхронизации

Аттестация типа “уровень качества неизвестен” означает, что сигнал хранирующего источника получен со старого оборудования SDH, на котором не реализован сервис сообщений о статусе синхронизации. Сообщение “не используется для целей синхронизации” может прийти от блока, чей интерфейс STM-N используется в данный момент для целей синхронизации.

3.4.3.3. Использование мирового скоординированного времени

Среди хранирующих источников наиболее универсальным и точным является **мировое скоординированное время** UTC. Для его трансляции используются спутниковые системы LORAN-C и **глобальная система позиционирования** GPS. Традиционные системы приема UTC требуют значительных затрат и используются как правило в центрах спутниковой связи. Однако в связи с широким развитием GPS была разработана альтернатива первичным эталонным источникам PRS - технология **локальных первичных эталонов** LPR, основанная на использовании UTC для подстройки частоты. Многие

телефонные компании используют эту технологию в местах развертывания GPS для создания альтернативы таймерам класса TNC на транзитных узлах. На таких узлах в качестве таймеров TNC устанавливаются улучшенные рубидиевые часы. В комбинации с технологией LPR использование синхронизации от UTC позволяет получать локальные первичные эталоны существенно перекрывающие требования по точности 10^{-11} , устанавливаемые стандартами ITU-T и ETSI для первичных эталонных таймеров.

Создание системы распределенных первичных эталонных хранилищающих источников не только позволяет увеличить надежность синхронизации сетей SDH, но и устраняет (при использовании сообщений о статусе синхронизации) возможности нарушения синхронизации при осуществлении защитного переключения в кольце SDH или ячеистой сети SDH.

3.4.3.4. Пример синхронизации кольцевой сети SDH

Основным требованием при формировании сети синхронизации является наличие основных и резервных путей распространения сигнала синхронизации. Однако, и в том и в другом случае должны строго выдерживаться топология иерархического дерева и отсутствовать замкнутые петли синхронизации. Другим требованием является наличие альтернативных хранилищающих источников. Идеальная ситуация, когда альтернативные источники проранжированы в соответствии с их приоритетом и статусом.

При аккуратном формировании сетевой синхронизации можно избежать возникновения замкнутых петель синхронизации как в кольцевых, так и в ячеистых сетях. Использование сообщений о статусе синхронизации позволяет в свою очередь повысить надежность функционирования сетей синхронизации. На рис.3-17 приведена схема синхронизации кольцевой сети SDH, где верхняя схема соответствует нормальному функционированию сети, а нижняя - сбою, вызванному разрывом кабеля между узлами В и С. [115].

Схема использует ставший классическим иерархический метод принудительной синхронизации. Один из узлов (узел А) назначается **ведущим** (или **мастер-узлом**) и на него подается сигнал синхронизации от внешнего PRC. От этого узла основная синхронизация (источник первого приоритета) распределяется в направлении против часовой стрелки, т.е. к узлам В, С и D. Синхронизация по резервной ветви (источник второго приоритета) распределяется по часовой стрелке, т.е. к узлам D, С и В. Начальное распределение хранилищающих источников по узлам сведено в таблицу 3-4.

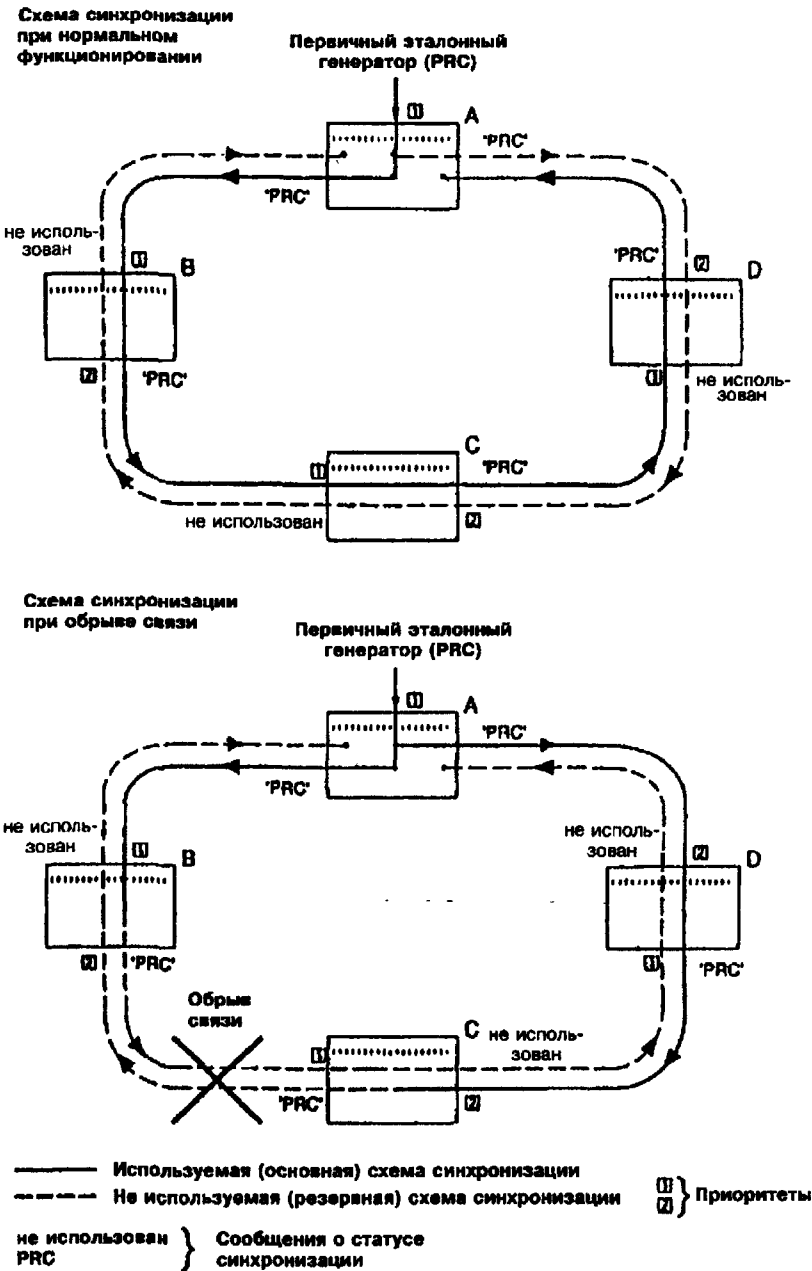


Рис.3-17. Схема синхронизации кольцевой сети SDH

Таблица 3-4.
Распределение источников синхронизации кольцевой сети

Узел	Источник первого приоритета	Источник второго приоритета
Узел А	Внешний 2 МГц PRC	Не предусмотрен
Узел В	Линейный сигнал STM-N от узла А	Линейный сигнал STM-N от узла С
Узел С	Линейный сигнал STM-N от узла В	Линейный сигнал STM-N от узла D
Узел D	Линейный сигнал STM-N от узла С	Линейный сигнал STM-N от узла А

При разрыве кабеля между узлами В и С узел С, не получая сигнала синхронизации от узла В, переходит в **режим удержания** синхронизации и посылает узлу D сообщение о статусе SETS уровня качества синхронизации. Узел D, получив сообщения об уровне качества синхронизации от А и С и выбрав лучший (от А), посылает узлу С сообщение “PRC” вместо “Don’t use”. Узел С, получив это сообщение от узла D, изменяет источник синхронизации на “PRC” от D.

3.4.3.5. Пример синхронизации ячеистой сети SDH

Рассмотрим схему синхронизации в ячеистой сети SDH. Один из примеров формирования цепей синхронизации в такой сети приведен на рис.3-18 [115]. Сеть имеет 12 узлов и несложную транспортную топологию звезды, включающую несколько линейных участков, связанных через узлы концентраторов.

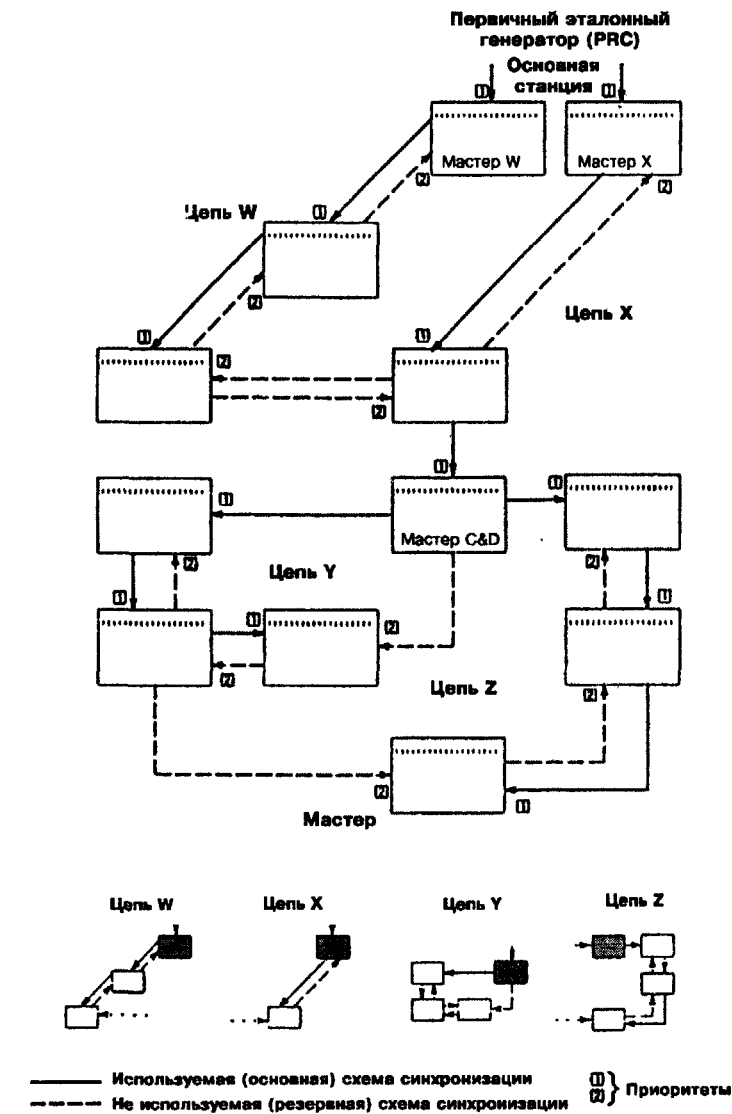


Рис.3-18. Схема синхронизации ячеистой сети SDH

Для облегчения задачи построения сети синхронизации схема разбивается на несколько цепей синхронизации, учитывая при этом особенности топологии исходной транспортной сети. Полученные цепи: W, X, Y, Z - показаны в нижней части рис.3-18. Цифрами 1 и 2 на этом рисунке показаны приоритеты в использовании сигналов синхронизации. Сплошной линией показаны основные каналы синхронизации, пунктиром - резервные каналы синхронизации. Мастер-узлы заштрихованы.

Для распределения синхронизации используется та же иерархическая схема. Каждая цепь синхронизации может быть обеспечена одним или двумя узлами, получающими синхронизацию от внешних источников (PRC). Эти узлы называют мастер-узлами. Источник PRC, расположенный на основной станции, является внешним PRC, от которого получают синхронизацию два мастер-узла W и X цепей W и X. Цепи Y и Z имеют общий мастер-узел C&D, который получает сигнал синхронизации от последнего узла цепи X. Суть предложенного решения состоит в организации альтернативного пути передачи сигнала синхронизации в каждой цепи. Проблемы могут возникнуть только при низкой надежности связи, обеспечивающей синхронизацию мастер-узлу C&D. В этом смысле для этого мастер-узла логично использовать локальный первичный эталон LPR.

3.4.4. Элемент-менеджер

Элемент-менеджер EM - это прикладной программный продукт, разрабатываемый производителями оборудования SDH для управления и мониторинга отдельных элементов сети SDH. Его также называют **узловым менеджером** NM, так как фактически он управляет узлом сети SDH, который может содержать несколько элементов SDH. Элемент-менеджер может быть использован для управления не только локальными, но и удаленными узлами сети. Он может быть также использован в полевых условиях для ремонтных работ и инсталляции новых узлов, а также для контроля за функционированием узлов.

Элемент-менеджеры могут быть реализованы на различных компьютерных платформах в том числе и на IBM PC совместимых компьютерах под управлением различных операционных систем, например, Windows, Windows 95, Windows NT. Информация, получаемая в процессе работы элемент-менеджера, может храниться в файле или в базе данных, используемой менеджером сети SDH. Основное окно EM, кроме стандартных для оконных интерфейсов опций - **Options, Window, Help**, содержит по крайней мере следующие опции: **Node** - для работы с узлом или элементом сети, **Data** - для отображения хранящейся информации, **Monitor** - для мониторинга сообщений о возникновении аварийных ситуаций и рабочих характеристик оборудования и **Configure** - для инсталляции новых узлов и изменения конфигурации узлов.

На рис.3-19 показан, на примере NM компании Nokia [121], вид основного окна приложений EM, на котором отображены два других окна:

- окно с полкой оборудования, где видны 19 слотов с установленными для данной конкретной конфигурации узла сменными блоками,
- окно текущих сообщений о возникновении аварийных ситуаций, где отображается степень их серьезности, их тип и другие детали.

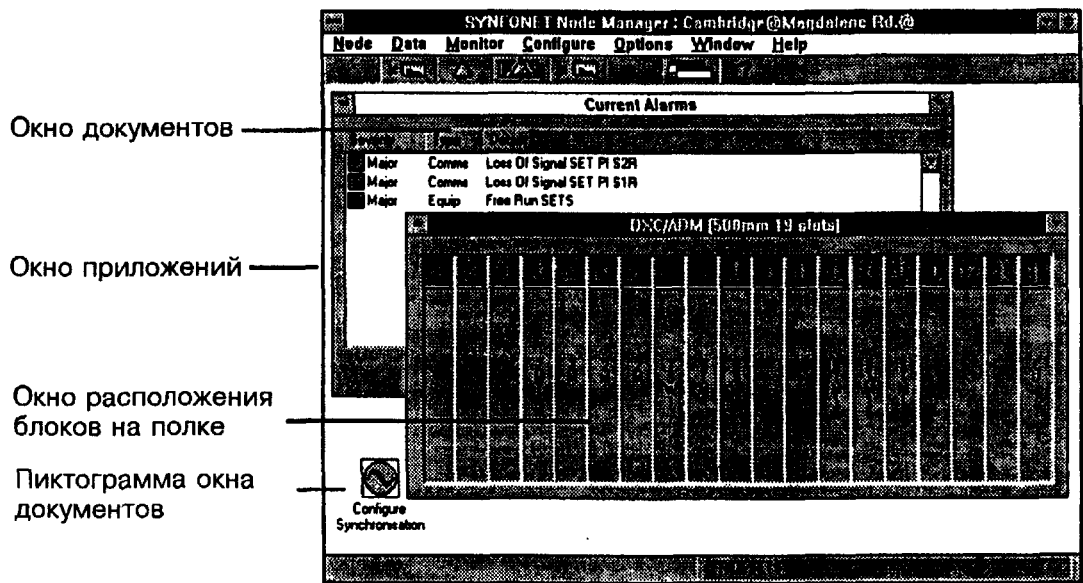


Рис.3-19. Вид основного окна приложений элемент-менеджера

Общие задачи, выполняемые элемент-менеджером, достаточно полно описаны в разделе 3.1, поэтому здесь мы кратко остановимся только на некоторых практических аспектах выполнения наиболее важных из этих задач: управления синхронизацией, конфигурирования кросс-соединений, мониторинга сообщений о возникновении аварийных ситуаций и рабочих характеристик.

Управление синхронизацией

Конфигурация сети синхронизации каждого узла должна быть разработана в соответствии с планом синхронизации сети в целом как было описано выше. В соответствии с ним с помощью элемент-менеджера (или узлового менеджера) осуществляются следующие начальные установки:

- устанавливаются источники, которые могут быть использованы в качестве эталонных;
- устанавливаются приоритеты в выборе эталонных источников;
- устанавливаются уровни качества передаваемых сигналов 2 Мбит/с и соответствующих им сигналов синхронизации частотой 2 МГц;

- для каждого интерфейса STM-N выбирается либо фиксированный уровень качества, либо возможность использования сообщений о статусе синхронизации SSM;
- выбирается сигнал таймера, который посылается с внешнего интерфейса.

Так как сигналы 2 Мбит/с и входные сигналы синхронизации 2 МГц не несут сообщений SSM, оператор может установить им желаемый уровень качества (с помощью EM) вплоть до PRC, если входной сигнал 2 МГц был взят от источника высокого класса.

ЕМ может использовать три режима работы системы синхронизации:

- **режим использования списка приоритетов** для выбора наилучшего возможного источника синхронизации в качестве эталонного из списка, сформированного в соответствии с приоритетами;
- **режим ручного выбора источника синхронизации;**
- **режим удержания синхронизации.**

Образец экрана EM, отображающего режим синхронизации, показан на рис.3-20 [121].

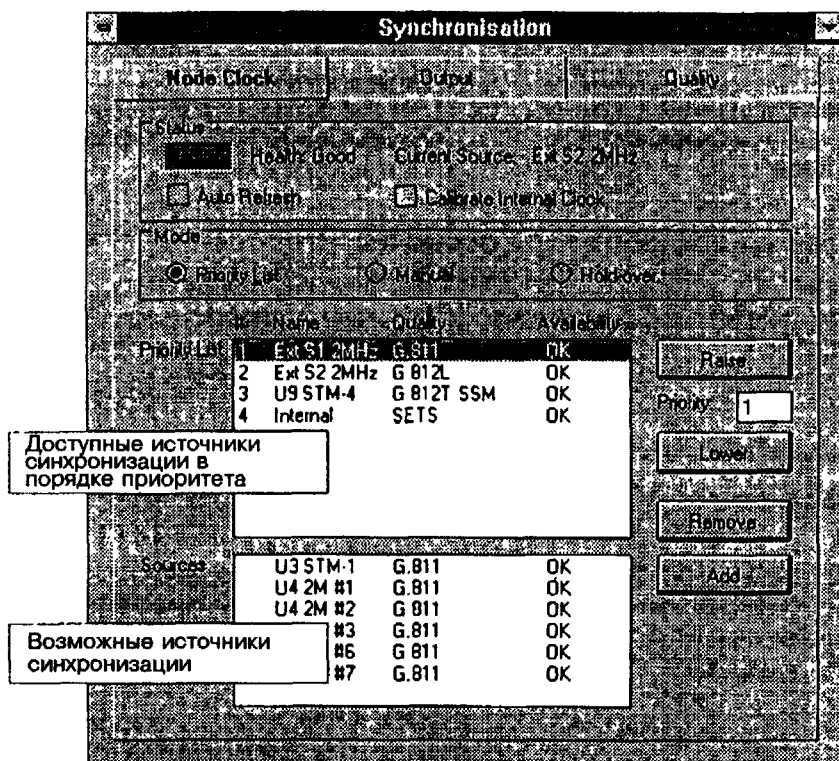


Рис.3-20. Вид экрана EM, отображающего режим синхронизации

На экране показан режим использования списка приоритетов и видны два окна: одно со списком приоритетов источников, другое со списком возможных источников, где указаны имена источников, уровни их качества и доступность в данный момент. На экране также есть панели режимов и статуса источника.

Конфигурирование кросс-соединений

Мультиплексоры ввода/вывода и блоки кросс-коммутации способны осуществлять кросс-соединения на уровне различных виртуальных контейнеров в зависимости от типа оборудования SDH и его производителя. Однако, если кросс-соединение на уровне VC-3 и VC-2 (триб 6 Мбит/с) делают только некоторые производители, а для VC-2, как правило, по запросу пользователя, то на уровне VC-4 и VC-12 (для европейских потребителей) кросс-соединение реализовано практически на любом типе такого оборудования. Режим такого соединения - **двунаправленный**.

Конфигурирование кросс-соединений может быть осуществлено элемент-менеджером по специальной **таблице кросс-соединений**, формируемой в процессе конфигурирования узла.

Мониторинг аварийных сообщений и рабочих характеристик

Сообщения об аварийных ситуациях могут отображаться как аппаратными средствами (например, светодиодными индикаторами (LED)), так и программным путем на экране дисплея EM. При этом на экране может отображаться:

- источник аварийного сообщения,
- степень серьезности или статус проблемы (путем использования различных цветов у индикатора),
- список аварийных сообщений, относящихся к данному узлу,
- список аварийных сообщений, относящихся к данному блоку,
- журнал событий, отображающий список всех аварийных сообщений, случившихся за определенный период времени, в том числе и тех, что были удалены.

Цвет индикатора аварийного сообщения или сообщения о возникновении аварийного сообщения может быть различный, например: красный, желтый и белый - в зависимости от степени серьезности проблемы, отражаемой индикатором или сообщением: **красный** - наиболее серьезная проблема, требующая активных действий, например, резервного переключения, **желтый** - предупреждение о возможном критическом значении параметра, **белый** - все в порядке. Иногда аварийные сообщения разбиваются на две группы А-сообщения и В-сообщения, где А-сообщения эквивалентны критическим или главным, а В-сообщения - второстепенным по степени серьезности последствий. Кроме А- и В-сообщений могут использоваться и D-сообщения, сигнализирующие об отключении А- и В-сообщений определенной группы.

Что касается мониторинга рабочих характеристик блоков, то режим мониторинга (например, 15 минутные или 24 часовые интервалы) может быть установлен с помощью EM. Соответствующие результаты мониторинга сохраняются так, как было описано выше. В таблице 3-5 показаны типы ошибок, фиксируемых при мониторинге - ES, SES, BE, UAS, и типы функциональных блоков, для которых они вычисляются - RST, MST, HPT, LPT, EPPI.

Таблица 3-5.
Типы ошибок, фиксируемых при мониторинге

Типы ошибок Функциональ- ные блоки	ES	SES	BE	UAS
RST	+	+	+	+
MST	+	+	+	+
HPT	+	+	+	+
LPT	+	+	+	+
EPPI 2M (bsmm)	+	+	+	+
EPPI 2M (amm)	+	+		+
EPPI 140M (amm)	+	+		+

В таблице используются следующие обозначения:

- ES - секунда с ошибками,
- SES - секунда с серьезными ошибками,
- BE - блок с ошибками,
- UAS - недоступные секунды,
- RST - окончание регенераторной секции,
- MST - окончание мультиплексной секции,
- HPT - окончание маршрута контейнеров VC верхнего уровня,
- LPT - окончание маршрута контейнеров VC нижнего уровня,
- EPPI 2M - физический интерфейс PDH 2 Мбит/с,
- EPPI 140M - физический интерфейс PDH 140 Мбит/с,
- BSMM - bsmm - байт-синхронный режим отображения,
- AMM - amm - асинхронный режим отображения.

3.4.5. Сетевой менеджер

Сетевой-менеджер NM - это прикладной программный продукт, разрабатываемый производителем оборудования SDH для управления и мониторинга сетью SDH в целом. Он осуществляет целый ряд функций управления, отмеченных в разделе 3.1, и задач сетевого управления в рамках сетевого уровня модели OSI, среди которых:

- мониторинг - проверка маршрута (тракта) передачи,
- управление сетевой топологией,

- Функции управления, осуществляемые NM, как правило, соответствуют ряду рекомендаций и стандартов, среди которых ITU-T G.784 [23], M.3010 [60], X.217 [99], X.227 [100], X.219 [101], X.229 [102], ISO 9595 [103], ISO 9596 [83]. Как и EM, но в более широких масштабах, NM осуществляет

- NM реализуется как правило на достаточно мощных рабочих станциях, работающих под OS Unix, таких как станции SUN SPARC (OS Solaris) или Hewlett Packard (OS OpenView). Используемое программное обеспечение, как правило, разрабатывается самой фирмой, хотя в последнее время наметилась тенденция использования сетевого менеджера "OpenView" компании Hewlett Packard, как наиболее совершенного, в качестве основы для создания NM

Если рассмотреть в качестве образца сетевой менеджер ENM компании ECI [122], то он реализован на базе рабочей станции SUN SPARC по управлению OS Solaris (Unix-подобная OS) и имеет шесть основных опций - **Alarm, Performance, Configuration, Maintenance, Security, System**, в точности соответствующих шести вышеперечисленным задачам управления. Каждая опция позволяет генерировать свои экраны в соответствии с элементами меню опции, отображающими выполняемую функцию или задачу. На рис.3-21 представлен основной экран NM с открытыми экранами обработки потока аварийных сообщений и управления рабочими характеристиками.

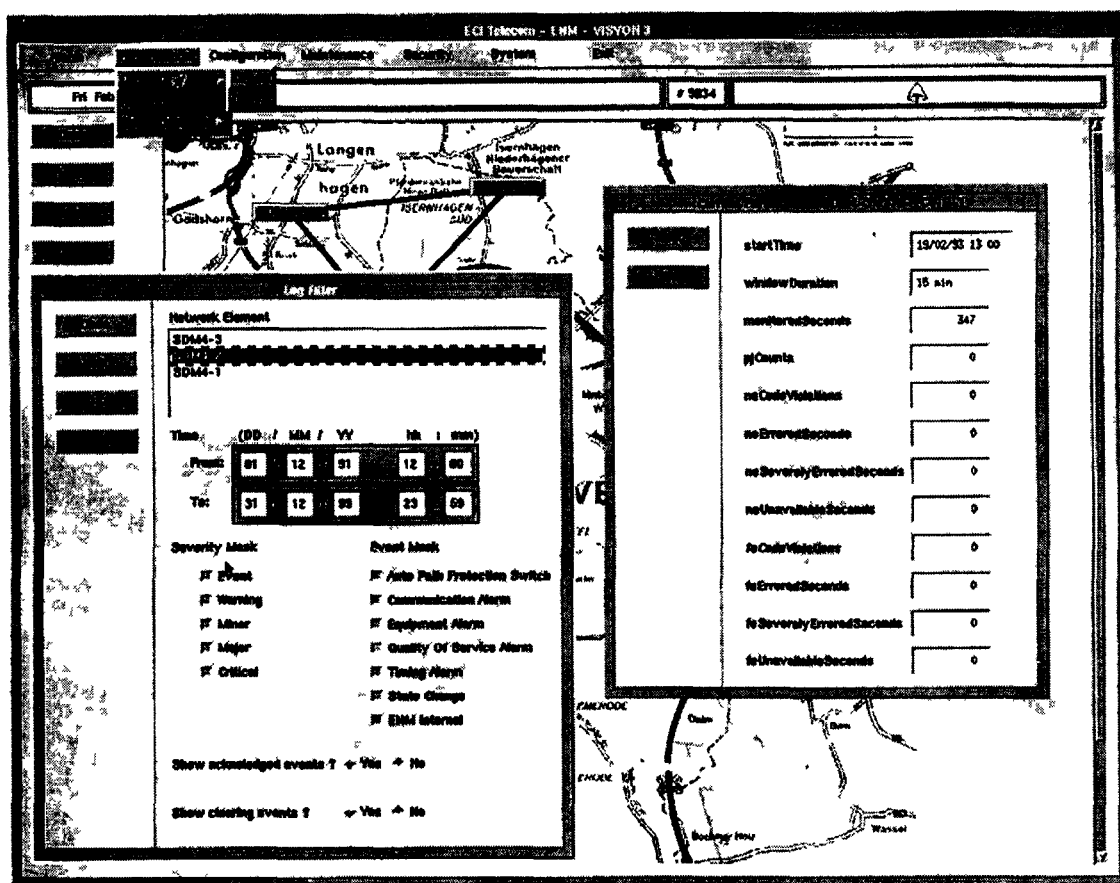


Рис.3-21. Вид экрана сетевого менеджера eNM

- вести журнал аварийных сообщений и просматривать его в соответствии с выбранным критерием, например, для выбранного NE, на заданном отрезке времени, для конкретной степени серьезности аварийного сообщения;

- просматривать текущие аварийные сообщения в соответствии с выбранным критерием;
- присваивать определенную **степень серьезности** аварийным сообщениям (например, **критическое сообщение, главное сообщение, второстепенное сообщение**).

Особенность обработки аварийных сообщений заключается в возможности их **маскирования**, т.е. создания “маски” (развернутого логического условия), позволяющей исключить возможность отображения определенных типов аварийных сообщений или изменить степень серьезности их отображения на экране, для того, чтобы сконцентрироваться на нужных типах сообщений (например, при анализе конкретной аварийной ситуации). На рис.3-21 слева внизу видно такое окно и два ряда возможностей устанавливать маски как для степени серьезности аварийных сообщений, так и для типа события, классифицированного как аварийное сообщение.

Управление рабочими характеристиками. Эта опция дает оператору или менеджеру сети возможность:

- открыть и просмотреть окно с итоговыми данными по рабочим характеристикам для конкретного объекта;
- просмотреть динамику изменения рабочих характеристик конкретного объекта;
- установить временные интервалы, используемые для определения характеристик **качества обслуживания QOS**;
- сбросить счетчики, используемые при определении (вычислении) рабочих характеристик.

На рис.3-21 справа показано окно, отображающее текущие рабочие характеристики мультислоса уровня STM-4 - всего 9 параметров.

Управление конфигурацией. Эта опция позволяет:

- создавать/уничтожать временные связи между любым разрешенным спецификацией кросс-коммутируемым трибным портом и сетью, включая создание соединений для локальной, планируемой (линия-порт/порт-линия) и проходной (сквозной) кросс-коммутации для реализации функций **ввода/вывода, прямой передачи** со входа на выход (сквозного пропуска потока) и **вещания**;
- присваивать и модифицировать атрибуты объектов;
- назначать сменным блокам (картам) соответствующие слоты на полке размещения оборудования (или в кассете);
- выбирать возможный источник синхронизации в качестве эталонного;
- конфигурировать сетевые элементы и сетевую топологию.

Управление программой обслуживания сети и тестирования ее элементов. Эта опция позволяет:

- оперировать на выбранных оконечных точках, перенаправлять выходящие и входящие сигналы, организовывать шлейфы как на ближнем, так и на дальнем концах;
- осуществлять диагностику выбранного объекта;
- осуществлять перезагрузку системы управления;
- искусственно инициировать поток аварийных сообщений для выбранного объекта;
- искусственно инициировать поток сигналов сбоя для выбранного объекта;
- блокировать автоматическое защитное переключение активного кольца;
- вручную переключать активное кольцо на резервное.

Управление безопасностью системы. Эта опция позволяет:

- устанавливать и менять пароли;
- менять список пользователей, имеющих авторизованный доступ;
- создавать списки групп пользователей с определенным уровнем доступа;
- администратору системы разрабатывать иерархию уровней допуска пользователей.

Административное управление. Эта опция позволяет:

- распечатывать отчеты и сообщения, как стандартные для системы, так и сформированные оператором или администратором;
- осуществлять резервное копирование баз данных;
- загружать базы данных информацией из файлов пользователя;
- заменять программные модули системы в NE, используя возможности каналов передачи данных;
- осуществлять процедуры регистрации пользователей системы NM.

3.5. ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР ФОРМИРОВАНИЯ СЕТИ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ЯЧЕЙСТОЙ СЕТИ SDH

Рассмотрим пример формирования сети управления для ячейистой сети SDH. В соответствии с вышесказанным в разделе 3.4.1. в качестве основных каналов управления сетью SDH используются каналы DCC. Для этих же целей могут быть использованы и каналы сети Ethernet.

Если сеть достаточно большая и разбита на несколько областей, то должны быть определены связи между ними, адреса NSAP отдельных узлов и маршруты для передачи информации управления.

В качестве примера ячейистой сети SDH, рассмотрим сеть, уже описанную в разделе 2.7.3. Для нее одним из вариантов формирования сети управления может быть сеть, показанная на рис.3-22 [115]. На нем показаны фактически две сети - одна использует каналы DCC, объединяет все шесть узлов (A-F) ячейистой сети, другая - использует каналы Ethernet, объединяет три станции узла A (A1-A3). К последней из них - A3, присоединен узловой менеджер на базе PC.

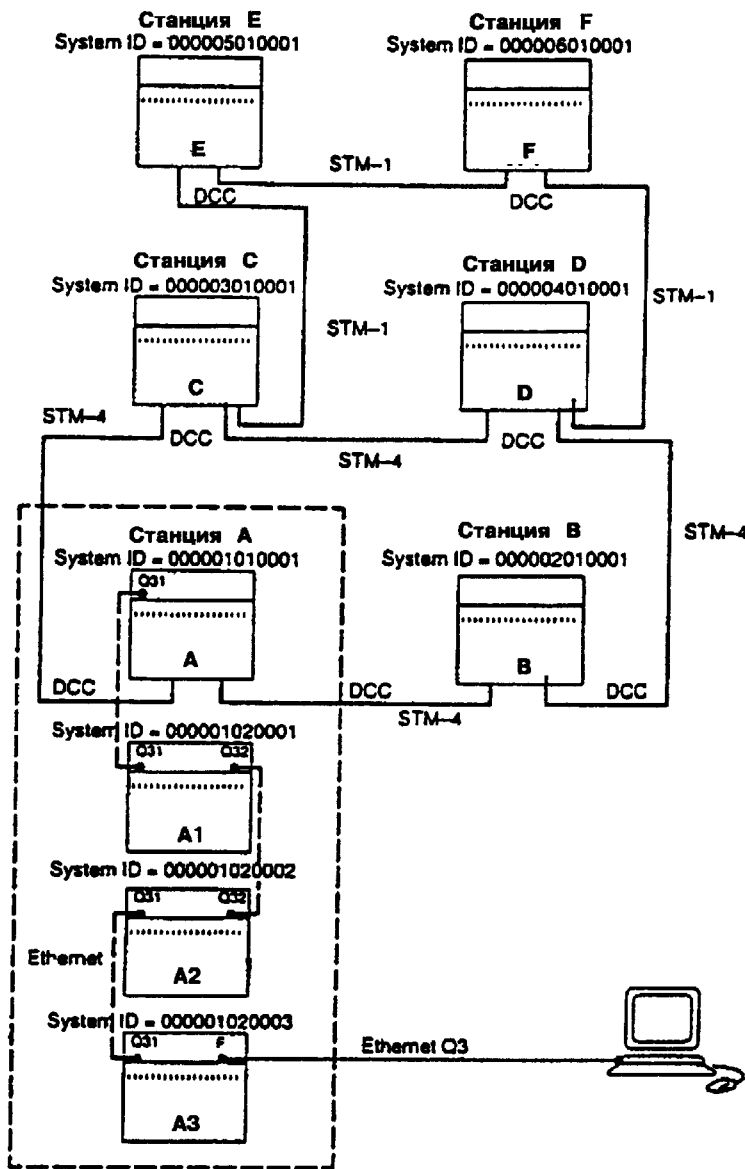


Рис.3-22. Схема управления ячейистой сетью SDH

3.5.1. Определение адресов NSAP для узлов сети

Структура адреса NSAP была приведена на рис.3-13. Единственным уточнением может быть то, что поле "адрес области" (10 байт) может быть разбито на две части: **адрес домена** (Domain - 8 байтов) и **собственно адрес области** (Area - 2 байта).

На практике адреса NSAP должны контролироваться (распределяться) некой **сетевой администратцией** страны, где разворачивается такая сеть, и схема нумерации должна быть локальной для данной страны. Если сама сеть управления локальна и не соединяется ни с какой другой сетью управления, то схема нумерации (отражаемая полем IDI) может быть выбрана достаточно произвольно. Код страны в сетях передачи также должен регламентироваться определенным стандартом. Им является стандарт ISO 3166, который содержит список трехзначных десятичных (двухзначных шестнадцатиричных) кодов, выделенных для каждой страны и используемых для заполнения поля AFI.

В этой связи в данном примере используется произвольный адрес страны IDI = 001F, а также произвольный идентификатор AFI = 39. Адрес собственно области - 1, адрес домена - 1, то есть поле адреса области AA = 00000000000000010001. Поле NSEL = 0. Эти адресные поля остаются постоянными для всех узлов рассматриваемой в данном примере сети SDH.

Системный идентификатор SID должен быть уникальным в данной области и должен отражать структуру используемой сети SDH. В данном примере используется следующая структура SID: поле с номером станции (Station - 3 байта), поле с номером отсека (места установки), где установлено оборудование (Room - 1 байт), и поле с номером полки (Subrack - 2 байта). С учетом этого в таб.3-6 помещены значения системных идентификаторов (исключая первые два нулевых байта - 0000) для различных узлов сети. Именно эти идентификаторы приведены на рис.3-22.

Таблица 3-6. Значения системных идентификаторов для узлов сети

Узел	A	A1	A2	A3	B	C	D	E	F
SID	01010001	01020001	01020002	01020003	02010001	03010001	04010001	05010001	06010001

3.5.2. Формирование сети синхронизации

Рассмотрим формирование сети синхронизации для той же ячеистой сети. Для этого используем общие подходы рассмотренные ранее. Разбиваем сеть на три секции с логически связанными узлами, (рис.3-23). Первая секция состоит из четырех узлов: A, C, D, B; вторая - из двух: E и F ; третья - фактически содержит один узел A, т.е. A, A1, A2, A3.

В результате получаем общую схему синхронизации, показанную на рис.3-24. Схема содержит один первичный источник PRC (Узел A) и один вторичный источник в транзитном узле (G.812T - Узел B). Сплошными линиями показаны цепи первичной синхронизации, а штриховыми линиями - цепи вторичной синхронизации.

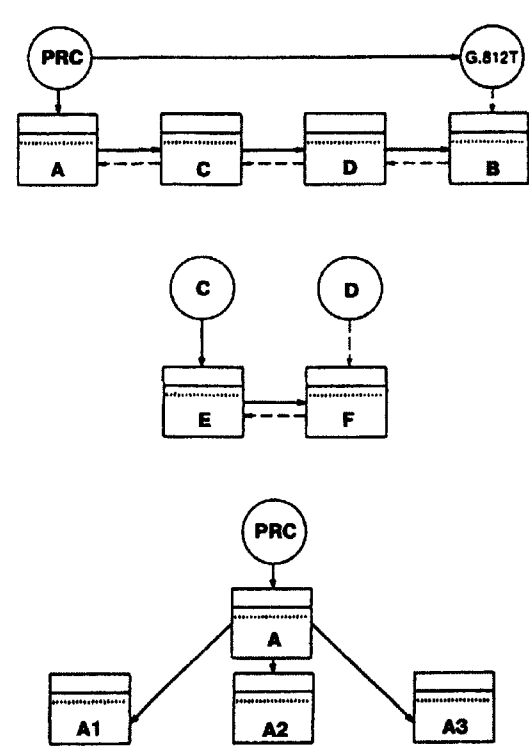


Рис.3-23. Схема разбиения сети синхронизации на три секции

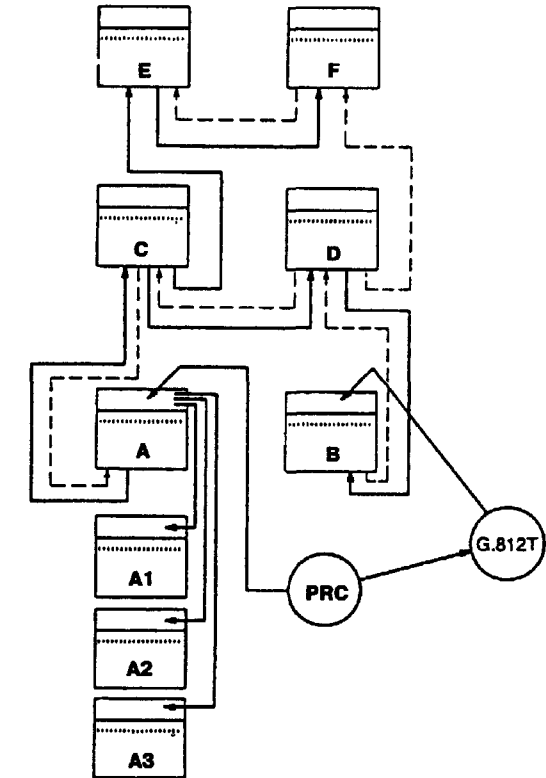


Рис.3-24. Схема первичной и вторичной синхронизации ячеистой SDH сети

Списки источников синхронизации, выбираемых по номеру приоритета для каждого узла, сведены в таблицу 3-7. Каждый узел, кроме узлов A1, A2, A3, имеет по три источника синхронизации с номерами, соответствующими порядку приоритета (т.е. 1, 2, 3). Номера слотов, откуда поступают сигналы синхронизации, соответствуют схеме установки сменных блоков оборудования в слотах, приведенной на рис.2-48.

Таблица 3-7.
Приоритетные списки источников синхронизации по узлам

Узел A	Узлы A1,2,3	Узел B	Узел C	Узел D	Узел E	Узел F
1) Внешний S1, 2M, G.811	1) Слот 10, STM-1E	1) Слот 12, STM-4	1) Слот 9, STM-4	1) Слот 9, STM-4	1) Слот 9, STM-1	1) Слот 9, STM-1
2) Слот 9, STM-4	2) Внутренний	2) Внешний S1, 2M, G.812T	2) Слот 12, STM-4	2) Слот 12, STM-4	2) Слот 12, STM-1	2) Слот 12, STM-1
3) Внутренний		3) Внутренний	3) Внутренний	3) Внутренний	3) Внутренний	3) Внутренний

3.5.3. Соединение и конфигурирование узлов и маршрутизация потоков

Окончательный этап формирования сети управления состоит в механической установке оборудования узлов, их соединении с помощью кабелей и интерфейсных разъемов и инициализации узла: установки программного обеспечения, тестирования правильности соединения, конфигурирования узлов и блоков и маршрутизации потоков.

Примерная процедура инициализации узла включает следующие этапы:

- подключить интерфейс F очередного узла (например A) к NM и запустить NM,
- ввести данные о типе узла, типе полки, имени узла и имени станции, где он расположен,
- установить требуемое программное обеспечение блоков узла,
- ввести адрес NSAP,
- перезагрузить систему и войти по введенному адресу NSAP,
- отредактировать приоритеты в списке источников синхронизации,
- сконфигурировать каналы управления DCC,
- сконфигурировать используемые блоки STM-N, снабдить каждый законченный временный маршрут контейнера VC-4 **идентификатором трассировки временного маршрута** TPI.

Длина TPI не должна превышать 15 символов, если придерживаться при его формировании правил, предложенных ETSI и основанных на рекомендации ITU-T Rec. E.164 [139]. Он должен содержать как минимум имена исходного узла и узла назначения, символьный код виртуального контейнера (например, A, B, C и D соответствуют VC-12, VC-2, VC-3 и VC-4), номер тайм-слота терминального кросс-коммутатора, осуществляющего вывод заданного виртуального контейнера. Описать это более подробно можно только на примере конкретного оборудования. Идентификаторы TPI позволяют контролировать корректность установки таблицы кросс-коммутации у кросс-коммутаторов на всем пути следования виртуального контейнера.

Параллельно формируется таблица маршрутизации виртуальных контейнеров с указанием того, какие интерфейсы на конечных узлах должны быть задействованы. Конкретный пример маршрутизации потока 2 Мбит/с между узлами A и C сети, рассмотренной в разделах 2.7.3. и 3.4. приведен в таб. 3-8 [58].

Таблица 3-8.
Схема маршрутизации потока 2 Мбит/с.

Идентификатор трассировки временного маршрута: A-C_A018			
Имя узла:	A		
Имя для кросс-коммутации:	A-C_A018		
Интерфейс A:	2M T4A/7	Канал A:	7
Интерфейс B:	STM-4 слот 9	Канал B:	VC-4 #1 (1,3,1)
Имя узла:	C		
Имя для кросс-коммутации:	A-C_A018		
Интерфейс A:	STM-4 слот 9	Канал A:	VC-4 #1 (1,3,1)
Интерфейс B:	2M T4A/5	Канал B:	5

Пример физической связи узлов А (соединительный разъем Т4А, интерфейс 7) и С (соединительный разъем Т4А, интерфейс 5) по каналу 2 Мбит/с показан на рис.3-25. Сигнал этого канала передается в структуре сигнала STM-4 в канале 1,3,1 (в кодировке Nokia) первого виртуального контейнера VC-4. Имя, используемое для кросс-коммутации может быть одним и тем же для всего временного маршрута.

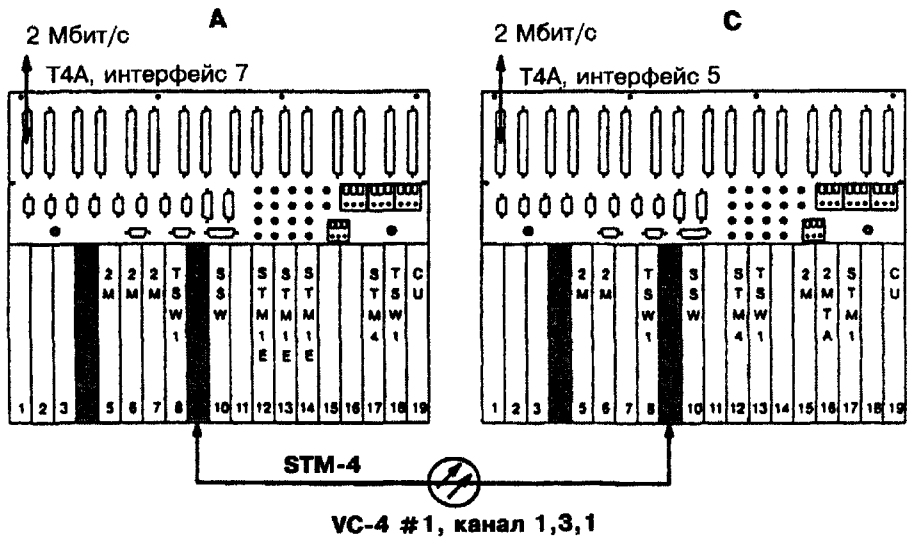


Рис.3-25. Пример связи узлов А и С по каналам 2 Мбит/с

Рассмотренные в этой главе задачи, методы и практические схемы управления сетями SDH выявили ряд характерных моментов. Наиболее важным из них является существование общих черт в управлении сетями передачи данных, использующих различные технологии. Это делает оправданным рассмотрение общей модели управления сетью и общей схемы управления сетью. С этой точки зрения задача управления сетью SDH может рассматриваться как частный случай общей задачи управления. Наиболее важным вкладом здесь является применимость к этой частной задаче управления рассмотренных протоколов, логики внутрисистемных взаимодействий и концепции Менеджер-Агент, а также возможность использования общих интерфейсов Q и F для связи отдельных подсистем в единую схему управления сетью SDH.

Приходится, однако, констатировать, что до сих пор нет единой системы управления сетями SDH, которая, как, например, сетевая ОС Novell Netware для локальных сетей, могла бы после стандартной процедуры настройки управлять сетями SDH, использующими оборудование различных производителей. Более того, даже сам факт построения общей сети SDH, составленной из мультиплексоров различных производителей, хотя бы даже и одного уровня STM-N, пока невозможен.

Большим позитивным сдвигом в сторону решения этой проблемы несомненно явилась осуществляемая детальная проработка стандартов Q-интерфейса и их внедрение в разработку общих схем управления оборудованием SDH. Однако и в этом плане пока нельзя сказать, что все вопросы практического управления сетью SDH решены. В этой связи ценным, по мнению автора, может оказаться рассмотрение ряда практических вопросов управления ячеистой сетью и решение вопросов ее синхронизации на примере конкретной сети.

Основные вопросы управления сетью описаны на уровне, достаточном для их последующей самостоятельной более глубокой проработке с использованием фирменных описаний конкретных систем управления.

4. СТАНДАРТЫ И ТЕРМИНОЛОГИЯ СИНХРОННЫХ СЕТЕЙ

4.1. СТАНДАРТЫ ЦИФРОВЫХ СИНХРОННЫХ СЕТЕЙ

В развитии современных сетевых технологий стандарты играют очень большую, если не сказать определяющую роль. Глобальные цифровые сети, в которых эти технологии используются, покрывают большие пространства и пересекают не одну государственную границу. Для их функционирования требуется высокая степень стандартизации оборудования.

Стандарты, описывающие принципы организации и функционирования синхронных цифровых сетей связи, первоначально разрабатывались в основном двумя организациями: Американским национальным институтом стандартов (Комитет T1X1) и Международным Консультативным Комитетом по Телеграфии и Телефонии. Последний представил свои результаты в 1988 году в виде серии рекомендаций (де-факто стандартов) G.700-G.7xx, рассмотренных на Пленарной Ассамблее Международного союза электросвязи в 1988 году и опубликованных в 1989 году в так называемой Синей книге - CCITT Blue Book. В настоящее время разработкой этих и сопутствующих стандартов занимаются несколько организаций:

- Американский национальный институт стандартов - ANSI;
- Объединение Европейских администраций почт и связи - CEPT;
- Международный консультативный комитет по радио и телевидению - CCIR (МККРТ);
- Международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии - CCITT (МККТТ), до 28 февраля 1993 года;
- Международный союз электросвязи - ITU (МСЭ), куда входили комитеты CCIR и CCITT, имеет с 1 марта 1993 года сектор стандартизации в области электросвязи ITU-T (до 28 февраля 1993 года интересующие нас рекомендации выходили под эгидой CCITT, а с 1 марта 1993 года стали выходить как рекомендации ITU-T);
- Сектор по стандартизации Международного союза электросвязи - ITU-T (МСЭ-T), начиная с 1 марта 1993 года;
- Европейский институт стандартов в области связи - ETSI;
- Международная электротехническая комиссия - IEC (МЭК);
- Международная организация по стандартизации - ISO.

Кроме этого корпоративные стандарты разрабатываются также рядом компаний, например, Bellcore, AT&T и другими.

Первая попытка разработки стандартов синхронных оптических сетей относится к 1984 году. Первый стандарт таких сетей "Syntran" базировался на скорости 45 Мбит/с (канал T3), в это же время AT&T предложила использовать в качестве стандартной скорость 150 Мбит/с. В 1985 году Bellcore внесла в комитет T1X1 предложение на проработку стандарта синхронной оптической сети SONET. В 1986 году стандартом SONET заинтересовался комитет CCITT. Одна из его исследовательских групп (SG XVIII) и занялась разработкой стандарта SDH. Первоначально порождающие скорости SONET и SDH были разными и нецелократными (50 и 155 Мбит/с). В феврале 1988 года было принято согласованное решение по начальной скорости **оптической несущей** ОС (ОС-1 = 51.84 Мбит/с), при которой скорость синхронного транспортного модуля STM-1 равная 155.52 Мбит/с оказалась равной утроенной скорости ОС-1 или скорости ОС-3. Это решение привело к окончательной доработке технологии SDH, оформленной в виде трех рекомендаций G.707[16], G.708[17] и G.709[18], принятых в 1988 году и опубликованных в 1989 году в "Синей книге".

Рекомендации CCITT, получив всеобщее признание, стали фактически международными стандартами - отправным пунктом для разработчиков аппаратуры SDH. В 1990-1997 годах комитет CCITT, а затем его преемник - сектор по стандартизации ITU-T, продолжили разработку новых стандартов по SDH, в том числе и подвергая ревизии старые стандарты. В настоящее время группа стандартов, прямо или косвенно связанных с SDH, уже насчитывает несколько десятков. Есть смысл хотя бы перечислить их, тем более, что выше были описаны только основные из них.

4.1.1. Краткий обзор стандартов синхронных цифровых сетей

В этом обзоре мы ограничимся только рекомендациями ITU (МСЭ) серии G, но приведем не только стандарты по технологии SDH, но и некоторые сопутствующие стандарты по технологии PDH и волоконно-оптическим кабелям (ВОК).

Группа рекомендаций: G.650 [141], G.652 [142], G.653 [143], G.654 [144], G.655 [145] - описывает характеристики одномодовых ВОЛС, которые широко используются в сетях SDH. Характеристики отечественных оптических кабелей связи можно найти в [33], где приведены также ссылки на ТУ на отечественные оптические кабели.

Группа рекомендаций: G.661 [146], G.662 [147], G.663 [148], G.681 [149] - описывает характеристики таких оптических компонентов и подсистем линейных сетей SDH как оптические усилители.

Основная группа рекомендаций серии G.70х: G.702 [13], G.703 [14], G.707 [16], G.708 [17], G.709 [18], описывающая стандартные скорости иерархий PDH (G.702) и соответствующие им интерфейсы (G.703), а также стандартные скорости SDH иерархии (G.707), сетевой интерфейс и структуру мультиплексирования (G.708, G.709) - была достаточно подробно рассмотрена выше. Нужно иметь в виду только, что самая последняя версия рекомендации G.707 [150] 1996 года заменяет сразу три рекомендации G.707, G.708 и G.709 версии 1993 года.

Рекомендация G.773 [89], описывающая стек протоколов для интерфейса Q, также подробно освещена в тексте выше.

Новая группа рекомендаций: G.774 [19], G.774.1 [151], G.774.2 [152], G.774.3 [153], G.774.4 [154], G.774.5 [155], G.774.7 [156] - посвящена информационной модели управления сетью SDH и ее элементами. Она описывает классы объектов сети управления TMN, требуемые для управления элементами и подсистемами сети SDH, а также для мониторинга их рабочих характеристик.

Группа рекомендаций: G.780 [157], G.781 [20], G.782 [21], G.783 [22], G.785 [158] - описывающих терминологию и оборудование сетей SDH, его типы, характеристики и выполняемые функции, была частично описана выше. Однако формализация логических функций, выполняемых оборудованием SDH, изложенная в рекомендации G.782, описана несколько более подробно ниже в п. 4.1.2. данного параграфа.

Рекомендация G.784 [23], посвященная системе управления сетью и оборудованием SDH, достаточно подробно описана в тексте выше.

Рекомендация G.803 [159] посвящена формализованному рассмотрению транспортных функций архитектуры сети SDH, основных функций защиты и самовосстановления сетей SDH, а также проектированию топологии сети синхронизации и взаимодействия сетей PDH и SDH. Рекомендация считается одной из основополагающих при рассмотрении проблем синхронизации SDH сетей. В ней вводится классификация цифровых сетей по степени поддержания синхронности распространения цифровой последовательности. Эта классификация основана на понятии "проскальзывание" (или "слип" (slip)). Его суть в том, что несинхронность работы локальных хранимых источников, синхронизируемых различным способом (или вообще работающих автономно), приводит к тому, что частоты входных цифровых последовательностей и тактовой синхронизации в местах стыка границ участков, обслуживаемых различными хранимыми источниками, отличаются (хотя и на достаточно малую величину) друг от друга. Это приводит к появлению небольшой разностной скорости, или относительному движению, или **проскальзыванию** одной последовательности относительно другой. Накапливаясь за определенный промежуток времени, оно (движение) приводит к временному срыву синхронизации. Определенное влияние на этот процесс оказывает как дрожание фазы (jitter), так и медленный дрейф фазы (wander) указанных последовательностей.

Все сети, согласно рекомендации G.803, делятся на:

- **синхронные**, в которых (в идеале) отсутствует относительное **проскальзывание** (или "слипы") цифровых последовательностей на входах каналов доступа мультиплексоров PDH и SDH,
- **псевдосинхронные**, в которых регламентируется низкий уровень проскальзывания (например, не больше, чем 1 слип/70 дней [160]),
- **плезеохронные**, в которых допускается средний уровень проскальзывания (например, не больше, чем 1 слип/17 часов [160]),
- **асинхронные**, в которых допускается высокий уровень проскальзывания (например, не больше, чем 1 слип/7 сек [160]).

Указанная классификация принята за основу при создании Руководящих технических материалов (РТМ) [160], в которых рассматриваются вопросы формирования сети синхронизации для Взаимоувязанной сети связи (ВСС) РФ [137]. В частности, предлагается разбиение всей ВСС на 4 региона, в которых предполагается использовать описанную выше технологию принудительной синхронизации, использующей иерархическую структуру хранимых источников в сочетании с парами "ведущий/ведомый" источников. При этом предполагается, что сеть ВСС РФ по классу синхронизации должна быть не хуже плезеохронной. Нужно заметить, что работы в этом направлении находятся пока на этапе становления, а ситуация в регионах такова, что цифровая сеть может классифицироваться в целом больше как асинхронная.

Рекомендация G.803, в части требований к вторичным хранилищам для оборудования SDH, поддержана новой рекомендацией G.813 [163].

В рекомендации G.804 [161] описан метод передачи ATM ячеек по существующим сетям PDH. В частности рассмотрен метод отображения ячеек на структуру кадров PDH для всех скоростей передачи PDH трибов европейской и американской иерархий и скорости 97.728 Мбит/с японской иерархии в соответствии с рекомендацией G.702 [13]. Метод отображения ячеек на структуру полезной нагрузки фреймов STM технологии SDH рассмотрен в рекомендации G.709 версии 1993 года [18] и частично освещен в [162].

Рекомендация G.825 [164] описывает схемы управления **дрожанием фазы** (jitter) и **дрейфом фазы** (wander) цифровых последовательностей в сетях SDH. Для измерения этих характеристик, а также других характеристик SDH оборудования, существует ряд приборов ведущих фирм, рассмотрение которых выходит за рамки данной книги.

Рекомендация G.831 [123] дополняет рекомендацию G.803 в части описания требований к административному управлению разбитой на уровни сети передачи. Она определяет процесс управления маршрутом (трактом) при использовании схем защиты, в частности те его аспекты, которые требуют поддержки при пересечении границ административных доменов (см. п.3.4.1.2).

В рекомендации G.832 [124] рассмотрена возможность транспортировки элементов структуры мультиплексирования SDH - TU-12, VC-3, TUG-2 и TUG-3, через сети PDH путем их размещения в поле полезной нагрузки фреймов, соответствующих кадрам стандартных каналов E3 (34 Мбит/с), DS3 (45 Мбит/с), DSJ4 (98 Мбит/с) и E4 (140 Мбит/с) европейской, американской и японской PDH иерархий (см. п.1.5.1.). Эти решения позволяют гибко сочетать сегменты PDH и SDH сетей при создании единой синхронной сети связи.

В рекомендации G.841 [125] рассмотрены типы и характеристики самовосстанавливающихся топологий архитектуры сетей SDH (см. п.2.5.).

В новой рекомендации G.861 [126] рассмотрены вопросы интеграции спутникового, радиорелейного и наземного (кабельного) сегментов транспортных сетей SDH.

В рекомендациях G.957 [24] и G.958 [25] рассмотрены оптические интерфейсы оборудования и систем SDH (G.957), а также цифровые линейные системы SDH (G.958). В рекомендации G.957 представляет интерес широко применяемая классификация оптических интерфейсов, основанная на вариантах практического использования ВОЛС внутри станции или для стандартных короткой или длинной межстанционных регенераторных секций (см. п.2.6.3).

4.1.2. Систематизация логических функций оборудования SDH

Оборудование сетей SDH, рассмотренное выше, - мультиплексоры, кросс-коммутаторы, регенераторы и функциональные блоки, используемые в них, например, трибные интерфейсные блоки, блоки коммутации, управления, питания и т. д., выполняли определенные функции обработки цифрового потока или поддержания работоспособности системы в целом. На определенном этапе развития сетей SDH, главным образом в связи с формализацией задач управления такими сетями, появилась необходимость определить набор логических функций, выполняемых оборудованием SDH и провести их систематизацию. Это было сделано в рекомендации G.782 [21], где была приведена схема мультиплексирования (рис.4-1), составленная из **обобщенных логических блоков**, выполняющих определенную логическую функцию. Эта рекомендация была одобрена в июле 1990 года [3], затем подверглась существенной доработке в январе 1994 года [21] и была окончательно опубликована в феврале 1995 года.



HCS	контроль соединений на уровне виртуального контейнера верхнего уровня	LUG	генерация незагруженного виртуального контейнера нижнего уровня
HOA	сборка виртуального контейнера верхнего уровня	MCF	функция передачи сообщения
HOI	интерфейс сборки виртуального контейнера верхнего уровня	MSA	адаптация на уровне мультиплексной секции
HRA	адаптация к маршруту виртуального контейнера верхнего уровня	MSP	защита мультиплексной секции
HPC	соединение нескольких виртуальных контейнеров верхнего уровня	MST	начало/окончание мультиплексной секции
HPOM	мониторинг PON виртуального контейнера верхнего уровня	N	опорная точка канала DCC для регенераторной секции
HPT	начало/окончание маршрута виртуального контейнера верхнего уровня	OHA	функция доступа к заголовку SOH
HUG	генерация незагруженного виртуального контейнера верхнего уровня	P	опорная точка канала DCC для мультиплексной секции
LCS	контроль соединений на уровне виртуального контейнера нижнего уровня	PPI	физический интерфейс сигнала PDH
LOI	интерфейс сборки виртуального контейнера нижнего уровня	RST	начало/окончание регенераторной секции
LPA	адаптация к маршруту виртуального контейнера нижнего уровня	S	опорная точка схемы представления системы административного управления
LPC	соединение нескольких виртуальных контейнеров нижнего уровня	SEMF	функция управления синхронным оборудованием
LPOM	мониторинг PON виртуального контейнера нижнего уровня	SETPI	физический интерфейс хранирующего источника синхронного оборудования
LPT	начало/окончание маршрута виртуального контейнера нижнего уровня	SETS	хранирующий источник синхронного оборудования
		SPI	физический интерфейс сигнала SDH
		T	опорная точка источника синхронизации
		TTF	функция окончания транспорта виртуального контейнера
		U	опорная точка доступа к заголовку SOH
		Y	опорная точка формирования статуса синхронизации

Указанные обобщенные логические блоки в последнее время широко используются в руководствах по аппаратуре SDH различных компаний.

4.2. ТЕРМИНОЛОГИЯ ЦИФРОВЫХ СЕТЕЙ

Стремительное развитие компьютерных, информационных и сетевых технологий в мире за последнее десятилетие привело к появлению большого числа новых терминов, циркулирующих в среде специалистов в виде особого жаргона, основанного в массе своей на использовании русских калек с английских терминов. Отечественные институты стандартизации в силу ряда известных обстоятельств оказалась неподготовленной к тому, чтобы переварить нахлынувший поток терминов и предложить их отечественные эквиваленты, узаконенные соответствующими стандартами.

В этой связи специалисты по сетевым технологиям, сами занялись наведением порядка в терминологии, используя единственно возможный в такой ситуации подход с позиции здравого смысла и использования статистики применения тех или иных терминов.

Альтернативная терминология отечественных специалистов по электросвязи, зародившаяся еще до широкого развития компьютерных сетевых технологий [166], продолжала существовать в русских переводах стандартов ССИТТ и ITU-T и была отражена в РТМ [12].

4.2.1. Истоки появления новой терминологии

Традиционные телефонные (проводные и беспроводные) сети связи, использующие аналоговые методы передачи, уже давно пережили свой столетний юбилей и сформировали свою устойчивую терминологию. Традиционные ЭВМ общего назначения недавно отметили свой пятидесятилетний юбилей и их терминология в основе своей также устоялась.

Системы цифровой телефонии и компьютерные сети, напротив, начали развиваться только с начала 60-х годов, когда ЭВМ уже вышли на рубеж третьего поколения. Наиболее важные моменты этого развития, как мне кажется, следующие:

- 1962 - начало эксплуатации компанией Bell System первой коммерческой **системы цифровой телефонии** с каналами DS0 (64 кбит/с), мультиплексируемыми в канал T1 (1.544 Мбит/с). Она положила начало созданию PDH иерархии;
- 1963 - появление ЭВМ 3-го поколения - **IBM System-360** с байт-ориентированной структурой данных и "каналом" для приема/передачи и мультиплексирования низкоскоростных потоков данных, упрощающим схему организации сетей ЭВМ - послужило мощным стимулом и основой для развития первых компьютерных сетей;
- 1970-72 - появление **ЕС-ЭВМ** (отечественного аналога IBM System-360) и публикация отечественных стандартов на аппаратуру **оконечного оборудования данных ООД, аппаратуру окончания канала данных АКД и систем передачи данных СПД** - послужило стимулом и основой для создания отечественных компьютерных сетей;
- 1975 - разработка **системной сетевой архитектуры** - SNA (IBM), решившей ряд ключевых вопросов организации **интерфейсов** доступа в сеть и создания многомашинных сетевых комплексов - первая попытка стандартизации компьютерных сетевых решений;
- 1981 - начало систематических работ по локальным сетям на основе ПК;
- 1983 - разработка **базовой модели взаимодействия открытых систем** - OSI (ВОС), открывшей возможности стандартизации и использования сетевого оборудования различных производителей в одной сети;
- 1988 - публикация базовых стандартов ССИТТ на технологию синхронной цифровой иерархии - SDH, широко используемую в настоящее время для создания региональных, межрегиональных и глобальных телекоммуникационных сетей.

Этот перечень показывает, что развитие компьютерных сетей и цифровых сетей связи, начиная с 1962 г., происходит практически параллельно, причем так, что отечественная терминология в обоих случаях (в части передачи данных) остается достаточно единообразной (с приматом терминологии сетей связи) вплоть до 1986 года, в основном благодаря усилиям Госстандарта.

В то же время компьютерная техника и технология развивались существенно быстрее, чем технологии цифровых сетей связи, где методы импульсно-кодовой модуляции и фазово-синхронной цифровой иерархии были господствующими. В компьютерной технике не только происходила смена поколений, но и появлялись новые классы ЭВМ - мини-, микро-, супер-ЭВМ, мультипроцессорные и многомашинные комплексы ЭВМ. Можно с уверенностью сказать, что развитие компьютерной техники, ее внутренней архитектуры и технологии мультипроцессорной обработки явилось источником практически всех модельных решений, использованных позднее при развитии новых сетевых технологий. То же можно сказать и о развитии терминологии. В области компьютерной техники и технологии она охватывала существенно больший круг терминов, чем в технике цифровой связи.

Компьютерные сети в начале своего развития были в основном **локальными** и применялись практически исключительно **для передачи данных**. В результате общая терминология компьютерных сетей и сетевого оборудования мало отличалась от собственно компьютерной.

Сети цифровой связи, будучи в начале своего развития в основном **глобальными** телефонными сетями, использовались практически исключительно **для передачи речи**. В результате их терминология тяготела к традиционной терминологии аналоговых сетей связи и существенно отличалась от компьютерной. Например, использовались термины **стык** вместо **интерфейс**, **октет** вместо **байт**, **цикл** вместо **кадр** или **фрейм**, **посылка** вместо **блок данных**, **уплотнение канала** и **группобразование** вместо **мультиплексирование** и так далее.

Если бы два типа сетей развивались параллельно и не пересекались, то существование двух отличных друг от друга групп терминов, имеющих одинаковую этимологию, как-то могло бы быть оправдано. Однако необходимость передавать данные на большие расстояния привела к использованию уже существовавших телефонных сетей и созданию наложенных сетей, использующих технологии пакетной коммутации - X.25, ретрансляции кадров - Frame Relay, режима асинхронной передачи - ATM. Это позволило связывать локальные сети в единую глобальную сеть, формировать виртуальные сети и их сегменты, использовать компьютер в качестве терминального или транзитного узла сети путем простой установки интерфейсной карты в слот и связывать пользователей (абонентов сети) путем простого изменения адреса в маршрутизаторе. В результате произошло взаимопроникновение обеих типов сетей.

В этой ситуации различие терминологий стало объективным тормозом становления новых сетевых технологий, причем не "у них", разрабатывающих эти технологии, а у нас, в России, лишенной в эти годы не только достаточного количества ПК, для организации ЛВС, но и (что более важно) отечественной литературы по цифровым сетям. У нас, где один термин, например, **frame** в зависимости от технологии переводится специалистами то как цикл, то как кадр, то как посылка или пакет, но не как фрейм.

Отсутствие отечественной терминологии в области новых информационных технологий привело к широкому использованию русских "калек" и английской аббревиатуры в качестве новых сетевых терминов, что дало возможность по крайней мере избежать какого-бы то ни было непонимания в среде специалистов по локальным сетям. Сейчас можно сказать, что терминология традиционных локальных сетей (Token Bus - ARCnet, Ethernet, Token Ring и FDDI) практически устоялась. Аналогичная ситуация характерна и для других новых ЛВС технологий Switched Ethernet и Fast Ethernet.

Сейчас, когда специалисты по локальным сетям активно готовятся к использованию и даже начали использовать технологии ATM и предполагают пользоваться технологией SDH для передачи потока ATM ячеек на физическом уровне, вопрос об использовании единой терминологии в локальных и глобальных сетях стал как никогда актуальным.

4.2.2. Некоторые предложения по выбору терминологии в технологиях PDH и SDH

Приведу некоторые положения, которыми руководствовался автор при выборе нового термина или его переводе с языка оригинала, и остановлюсь на некоторых спорных терминах. Так как все новые сетевые термины пришли к нам "от них", то проблема терминологии сводится к проблеме их заимствования или адекватного перевода. Было бы логично при этом придерживаться ряда принципов:

- 1 - При выборе варианта перевода нужно следить, чтобы "множество возможных толкований" данного варианта не пересекалось или минимально пересекалось с аналогичным множеством у других терминов.
- 2 - Вариант перевода или термин должен сохранять этимологию исходного (переводимого) термина.
- 3 - При выборе варианта перевода следует учитывать сложившуюся практику перевода, если она не противоречит другим принципам.
- 4 - Следует избегать описательных переводов терминов, а если этого сделать не удастся - нужно использовать "русскую кальку" в качестве нового термина, ожидая, что либо этот термин-калька получит поддержку, либо другие предложат более удачный термин.
- 5 - Вариант перевода, используемый в качестве термина, должен быть кратким, позволяющим легко образовывать производные формы или связки.

В последнее время у разных специалистов происходит сближение позиций по использованию одинаковой терминологии. Например, сейчас практически не существует разногласий по двум распространенным дилеммам:

- **октет** - **байт**. В обоих случаях это поле длиной в восемь бит, обрабатываемое как единое целое (термин октет в значении 8-битный (а не 7-битный) байт появился на рубеже 50-60 годов в связи с развитием ИКМ). Практически все стали использовать термин **байт**.

- **стык - интерфейс**. В обоих случаях это совокупность технических и программных средств, используемых для сопряжения устройств или систем, или программ. Практически везде стал использоваться термин **интерфейс**, как более широкое понятие, используемое в связи с поясняющими его определениями: **логический интерфейс**, **физический интерфейс**, **программный интерфейс** (в [127], например, приведено 28 таких связей).

Вместе с тем существует ряд терминов, в том числе и трактуемых как наиболее правильные, перевод которых и сейчас вызывает споры и в силу этого определенный выбор автора требует некоторого пояснения

В технологиях PDH и SDH используется довольно много новых терминов, не характерных для других сетевых технологий. Одни из них переведены удачно, перевод других можно было бы оспорить. Ниже приведены некоторые наиболее важные из них:

- 1 - **frame** - переводится или как **кадр**, или как **цикл**, или как **фрейм**. Во всех случаях это блок данных фиксированной длины, представляемый либо в виде одномерного последовательного поля (технология Frame Relay, PDH), либо в виде двумерной таблицы (технология SDH). Предлагается использовать термин **кадр** (для одномерного последовательного поля), либо **фрейм** (для двумерной таблицы и вообще для технологий PDH и SDH, где они достаточно тесно переплетаются). В технологиях PDH и SDH традиционно для обоих представлений frame переводят как “цикл”. Однако цикл - понятие временное: “Цикл - совокупность явлений, процессов, составляющая кругооборот в течение известного промежутка времени”, [138, с.1492]. Фрейм - понятие пространственное. Когда пишут, что цикл в SDH представляет собой структуру, состоящую из 9 строк и 270 столбцов, то, вольно или невольно, определяют временное понятие, как пространственное, что, по сути, является ошибкой. В то же время нормально звучат связки типа: “цикл повторения фрейма составляет ...”, где временное понятие используется в качестве указания на периодичность повторения пространственного понятия.

Использование термина **фрейм**, позволяет избавиться и от еще одного непривычного термина **сверхцикл**, предлагаемого в качестве эквивалента исходного термина **multiframe (мультифрейм)**. Приставка “мульти” напоминает о том, что мультифрейм получен путем мультиплексирования фреймов. Приставка “сверх”, напротив, не соответствует этимологии исходного термина.

- 2 - **trib, tributary** - переводится как **компонентный сигнал**, **подчиненный сигнал** [12] или **нагрузка**, **поток нагрузки** [165]. Вариант, используемый автором - **триб**. Последний термин базируется на русской кальке **триб** при переводе слова **trib, tributary**, к нему примыкает и группа производных терминов с прилагательным **трибный**: **трибный блок (tributary unit)** **трибный интерфейс (tributary interface)**. Такой перевод кажется наиболее адекватным и вовсе не случайным. Разработчики технологий PDH и SDH, используя термин **trib (tributary)**, хотели подчеркнуть тот факт, что это не просто произвольная составляющая - компонентный сигнал, участвующая в схеме мультиплексирования, а такая составляющая, которая соответствует (**подчиняется**) иерархии PDH (PDH **trib** - триб PDH) или иерархии SDH (SDH **trib** - триб SDH). С этой точки зрения термин **подчиненный сигнал** сохраняет этимологию исходного термина. Однако он и основанные на нем связки типа “интерфейс подчиненного сигнала” оказываются громоздкими по сравнению с кратким и четким термином “трибный интерфейс”. Как и в предыдущем случае “русские кальки” - **триб**, **трибный блок**, **трибный интерфейс** звучат проще, полностью сохраняют этимологию исходных терминов и что не менее важно нормально воспринимаются специалистами по этим технологиям, воспитанными на оригинальных публикациях рекомендаций CCITT (ITU-T).

Что касается замечаний, что правильнее переводить **трибутарий** (вместо **триб**) и соответственно **трибутарный** (вместо **трибный**), то замечу, что триб (**trib**) - грамматически правильная краткая форма слова **tributary (трибутарий)**, см., например [130, р.2440]. Именно ее в силу краткости автор и предлагает использовать в качестве термина.

Для законченности рассуждений, дадим некоторые определения:

- **триб** - цифровой поток или сигнал, используемый в схеме мультиплексирования PDH или SDH, или SONET иерархий для формирования более высокого уровня соответствующей иерархии;
- **триб PDH** - триб, скорость передачи которого соответствует одной из PDH иерархий (например, трибы 2, 8, 34, 140 Мбит/с соответствуют европейской иерархии PDH);
- **триб SDH** - триб, скорость передачи которого соответствует SDH иерархии (например, трибы 155, 622, 2488, 9952 Мбит/с);
- **триб SONET** - триб, скорость передачи которого соответствует иерархии SONET (например, трибы 52, 104, 155, 207 и т.д. до $n \times 51.84$ Мбит/с).

Чтобы показать разницу между понятием компонентный сигнал и триб, укажем, например, что сигнал 512 кбит/с (так называемый дробный E1) может быть компонентным сигналом мультиплекса, но не может быть трибом, так как не соответствует ни PDH, ни SDH, ни SONET иерархиям.

Производные термины:

- **трибный блок (TU)** - блок данных, содержащий виртуальный контейнер (инкапсулирующий один или несколько соответствующих трибов) вместе с указателем блока, определяющим положение начала полезной нагрузки внутри виртуального контейнера следующего уровня (в который инкапсулирован данный блок);
- **группа трибных блоков (TUG)** - структура, полученная в результате мультиплексирования нескольких трибных блоков в схеме формирования модуля STM-N.

3 - **alarm** - переводится как **тревожный сигнал, сигнал тревоги** [131], **сообщение об отказе** [126], **аварийн(ое|ый) состояние/сигнал** [132]. Широко используется производный термин - Alarm Indication Signal (AIS) - **сигнал индикации аварийного состояния**. В книге автором используется перевод слова alarm как "аварийное состояние", хотя и его перевод как "аларм", можно было бы обосновать не только широким использованием его в жаргоне "сетевиков", но и потому, что он краток, соответствует оригиналу и легко связывается для создания адекватных оригиналу производных терминов, например, **сигнал аларма, индикатор аларма, цветокодировка аларма, статус аларма**, а также потому, что это более широкое понятие. Оно не обязательно означает аварийное состояние в нашем понимании или не всегда является сообщением об отказе. Образно говоря, аларм понятие цветное, а не черно-белое, как сигнал тревоги. Оно отображает одно (текущее, или привязанное к какому-то (прошедшему) моменту времени) состояние из множества состояний системы. Алармы можно игнорировать (фильтровать) или группировать для формирования обобщенного показателя.

4 - **unit** - переводится как **блок** в связках типа: AU - административный блок, AUG - группа административных блоков, TU - трибный блок, TUG - группа трибных блоков; использование для всех вышеназванных понятий термина **модуль**, как это сделано в [165], трудно оправдать, хотя-бы потому, что в оригинале стандартов используются оба термина: блок и модуль, причем последний используется только для STM - синхронного транспортного модуля. Кроме того, модуль - законченное образование, тогда как блок - его составная часть. Как известно, в SDH иерархии TU, TUG, AU, AUG - суть логические блоки (не существующие самостоятельно), из которых и собирается физически существующий транспортный модуль STM.

Для других терминов, используемых автором, все необходимые определения терминов интересующиеся могут найти в соответствующих стандартах. Наиболее полно они отражены в [133,134,135].

Для удобства читателя все используемые в данной книге сокращения и соответствующие им термины помещены в Списке сокращений в конце книги.

Для обозначения форматов данных, используемых в различных информационных технологиях, используются различные термины, которые в ряде случаев обозначают одно и то же. Ниже приведены некоторые предложения по их унификации, основанные на анализе используемого разнообразия терминов: **ячейка, кадр, пакет, цикл, фрейм, контейнер** и **сообщение**. Все они фактически используются для одного и того же - для обозначения блока данных фиксированной или переменной длины, имеющего определенную и различную (в зависимости от технологии) структуру составляющих его полей. Наиболее логичным было бы использовать единообразную и вместе с тем непересекающуюся терминологию, предлагаемую ниже вместе с кратким определением каждого термина:

- **кадр** - блок данных постоянной (фиксированной) длины, представленный в одномерном виде (ATM, FDDI, PDH);
- **фрейм** - блок данных постоянного (фиксированного) размера, представленный в двумерном виде или развернутый в виде одномерного блока с сохранением структуры двумерного (PDH, SDH);
- **пакет** - блок данных переменной длины, представленный в одномерном виде (Arcnet, Ethernet, FDDI, Token Ring, Frame Relay, X.25, ISDN);
- **сообщение** - блок данных переменной длины, состоящий из нескольких кадров или пакетов, представленный в одномерном виде;
- **контейнер** - блок данных, имеющий ряд фиксированных размеров, представленный в двумерном виде (SDH).

Что касается SDH, то в силу вышесказанного ее блоки данных следует называть **фреймами**, если вы описываете их как фиксированную двумерную структуру (например, матрицу размера 9x270 - 9 строк по 270 байт), или **кадрами** если рассматривать их как одномерный блок, не сохраняющий структуру двумерного представления. Первое представление удобно для логических манипуляций и анализа, второе - как блок для обработки в некоем физическом устройстве. В данной книге автор использует для PDH и SDH единообразные термины фрейм и мультифрейм. Иначе пришлось бы использовать двойственные термины кадр, мультикадр/фрейм, мультифрейм, что не удобно, особенно когда в одном тексте приходится описывать одну структуру, представляемую то в одномерном, то в двумерном виде.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Планируя написание книги с популярным изложением основ технологии синхронной цифровой иерархии и ее использования в сетях связи, автор предполагал, что сделать это будет очень сложно, даже принимая во внимание позитивные сопутствующие обстоятельства - чтение лекций и несколько опубликованных статей на эту тему.

Автор отдавал себе отчет, что наиболее сложная вещь - популярность изложения. Его опыт чтения лекций по новым сетевым технологиям показывал, что если слушатели, к примеру, будущие компьютерные специалисты и знакомы с технологией локальных сетей, то для них элементарными будут проблемы, излагаемые в главе 3, т.е. все, что касается модели OSI, протоколов, управления, адресации, маршрутизации, администрирования, мониторинга рабочих характеристик и сетевого менеджмента. Наиболее сложным для них может оказаться материал первой главы и первых двух разделов второй главы. Если же слушатели - будущие или бывшие выпускники вузов связи, то картина, как правило, прямо противоположная. Наиболее сложным для них оказывается материал третьей главы. Ибо материал первой главы (в том или ином виде) читается им в процессе обязательного обучения.

Автор постарался, как ему кажется, подобрать все наиболее важное, необходимое для понимания данной технологии, придать, данной книге некий законченный вид и предложить ее вниманию читателя. Автор будет благодарен читателям за конструктивные замечания, которые в случае успеха, позволят в будущем подготовить улучшенное издание книги.

Насыщенность материала, обилие терминов и огромное количество сокращений не будет способствовать легкому чтению. Однако оно наверняка будет полезным для не очень информированного читателя. Этому же будет способствовать и достаточно подробные ссылки на материалы стандартов, чтение которых должно стать следующим этапом в освоении материала книги. Автор надеется, что приведенный в конце книги словарь сокращений также поможет читателю в этом.

Автор благодарит сотрудников российских отделений компаний Lucent Technologies, ECI, Philips, Nokia и Siemens за предоставленные новые каталоги по выпускаемому оборудованию SDH.

Автору остается надеяться, что его работа окажется полезной его читателям.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

Ниже приводится список сокращений, применяемых в цифровых сетях связи на основе технологий PDH и SDH, которые используются в тексте. Более широкий список сокращений, используемых в английской литературе по телекоммуникациям (в том числе и описывающих технологии PDH и SDH) приведен в словаре [44].

Латинские сокращения

- 10/100BASE-xx** - Сеть Ethernet с автоматическим переключением скорости передачи 10/100 Мбит/с, использующая технологию IEEE 802.14
- 100VG-Any LAN** - Сеть быстрый Ethernet (100 Мбит/с), использующая стандарт IEEE 802.12
- 1b2b** - 1B2B - широко используемый частный случай класса блочных кодов, в котором 1 бит исходной ИКМ последовательности длительностью T кодируется комбинацией из 2 бит длительностью T/2
- 2M** - 2 Мбит/с трибный интерфейсный блок без терминального адаптера (аппаратура компании Nokia)
- 2MTA** - 2 Мбит/с трибный интерфейсный блок с терминальным адаптером (аппаратура компании Nokia)
- A** - Agent - агент
- AA** - Опорная точка (вход/выход волокна) в схеме представления регенераторной секции
- ACK** - Area Address - адрес области (поле в структуре адреса NSAP)
- ACSE** - Acknowledgement - подтверждение (например, подтверждение приема сообщения)
- ADI** - Association Control Service Element - сервисный элемент ассоциированного управления
- ADM** - Alternate Digit Inversion - код с поразрядно-чередующейся инверсией
- AFI** - Add/Drop Multiplexer - мультиплексор ввода/вывода
- AIS** - Authority and Format Identifier - идентификатор полномочий и формата (АИФ) (поле в структуре адреса NSAP)
- AITs** - Alarm Indication Signal - сигнал индикации аварийного состояния
- AMT** - Acknowledged Information Transfer Service - сервис: передача информации с подтверждением приема
- AMI** - Alternate Mark Inversion code - двоичный код с изменением полярности сигнала на каждой единице, ноль передается отсутствием сигнала - в результате формируется двухполярный трехуровневый код
- AMM** - Asynchronous Mapping Mode - асинхронный режим отображения
- ANSI** - American National Standards Institute - Американский национальный институт стандартов
- APS** - Automatic Protection Switch - автоматическое защитное переключение (на резервный блок, путь)
- ARCNET** - ARCnet - Attached Resources Computer/Computing Network - сеть ARCnet - локальная вычислительная сеть с подключенными ресурсами
- ASE** - Application Service Element - сервисный элемент прикладного уровня
- ASN.1** - Abstract Syntax Notation One - нотация абстрактного синтаксиса - 1
- ATM** - Asynchronous Transfer Mode - режим асинхронной передачи
- AU** - Administrative Unit - административный блок
- AU-n** - Administrative Unit - административный блок уровня n (n=3,4)
- AU PTR** - Administrative Unit Pointer - указатель административного блока
- AU-3** - Administrative Unit 3 - административный блок 3 уровня
- AU-4** - Administrative Unit 4 - административный блок 4 уровня
- AU-4-Xc** - Административный блок, то же, что и AU-4, но увеличенного в X раз (X - коэффициент кратности) размера, используемый для транспортировки полезной нагрузки, не помещающейся в один AU-4
- AUG** - Administrative Unit Group - группа административных блоков
- AUX** - Auxiliary - блок для внешних подключений
- B** - Сигнал вставки, используемый при описании схем кодирования
- B-ISDN** - Broadband ISDN - широкополосная ISDN (Ш-ЦСИО)
- B1,2,3** - Стеки протоколов B1, B2, B3, описанные в ранних версиях стандарта G.773
- B3ZS** - Bipolar with 3-Zero Substitution - биполярный код с заменой 3-х нулей специальной кодовой комбинацией
- B4ZS** - Bipolar with 4-Zero Substitution - биполярный код с заменой 4-х нулей специальной кодовой комбинацией
- B6ZS** - Bipolar with 6-Zero Substitution - биполярный код с заменой 6-х нулей специальной кодовой комбинацией
- B8ZS** - Bipolar with 8-Zero Substitution - биполярный код с заменой 8-х нулей специальной кодовой комбинацией
- BBE** - Background Block Error - блок с фоновыми ошибками
- BBER** - Background Block Error Ratio - коэффициент ошибок по блокам с фоновыми ошибками
- BBU** - Bus Bridge Unit - блок связи с внутренней шиной

BE	- Block Error - блок с ошибками
BIP	- Bit Interleaved Parity - четность чередующихся битов - проверка на четность, используемая в кадрах (фреймах), собранных по схеме с чередующимися битами
BIP-8	- Bit Interleaved Parity - Octet - четность чередующихся битов с полем в один байт (SMDS)
BIP-N	- BIPN - Bit Interleaved Parity - N fields - четность чередующихся битов с полем в N бит (или группы N)
BNC	- Bayonet-Neill-Concelman - разъем типа байонет, используемый для соединителей фиксирующего типа одножильных электрических кабелей
BOS	- Business Operations System - система управления экономической эффективностью сети
BSMM	- Byte-Synchronous Mapping Mode - байт-синхронный режим отображения
BSU	- Bus Supply Unit - блок питания внутренней шины
C	- Контейнер - исходный элемент структуры мультиплексирования SDH
	- Опорная точка (вход/выход RST-окончаний) в схеме представления регенераторной секции
	- Сигнал инверсии, используемый в описании схем кодирования
C&A	- Control & Alarm - управление и аварийная сигнализация
C-1	- Container of level 1 - контейнер первого уровня, служит для размещения первичного цифрового канала 1.5/2 Мбит/с
C-11	- Container of level 11 - контейнер первого уровня американской схемы PDH иерархии, служит для размещения первичного цифрового канала 1.5 Мбит/с
C-12	- Container of level 12 - контейнер первого уровня европейской схемы PDH иерархии, служит для размещения первичного цифрового канала 2 Мбит/с
C-2	- Container of level 2 - контейнер второго уровня, служит для размещения вторичного цифрового канала 6 Мбит/с
C-3	- Container of level 3 - контейнер третьего уровня, служит для размещения третичного цифрового канала 34/45 Мбит/с
C-4	- Container of level 4 - контейнер четвертого уровня, служит для размещения четвертичного цифрового канала 140 Мбит/с
C-n	- Container - C-1,2,3,4 - контейнер уровня n = 1, 2, 3 и 4
CAS	- Channel-Associated Signaling - внутриканальная сигнализация
CCIR	- Consultative Committee on International Radiocommunications - Международный консультативный комитет по радио и телевидению (МККРТ)
CCITT	- Consultative Committee on International Telephony and Telegraphy или The International Telegraph and Telephone Consultative Committee - Международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии (МККТТ)
CCS	- Common Channel Signaling - сигнализация по общему каналу
CCU	- Central Clock Unit - блок центрального генератора синхросигнала
CD	- Collision Detection - обнаружение столкновений
CEPT	- Committee European de Post et Telegraph или Conference of European Post and Telecommunications Administrations - Объединение Европейских администраций почт и связи/Объединение Европейских почтовых администраций
CEPT Format	- 30 ТЧ каналов + 1 канал для сигнализации + 1 канал для кадровой синхронизации
CEPTn	- CEPTn system (n=1,2,3,4) - европейская система классификации иерархии каналов, совпадающая с системой E1-E2-E3-E4
CLK	- clk - Clock - хронизирующий сигнал, таймер
CLM	- Connectionless Mode - режим без установления соединения
CLNP	- Connectionless Network Layer Protocol - сетевой протокол режима без установления соединений
CLNS	- Connectionless-mode Network (layer) Service - сетевой сервис режима без установления соединений
CLNS1	- Протокол полного стека протоколов, используемый вместо протокола B2 (см. CLNS)
CLNS2	- Протокол полного стека протоколов, используемый вместо протокола B3 (см. CLNS)
CM	- Connection Mode - режим с установлением соединения
CMB	- CRC Message Block - кодовая группа (сообщение) кода CRC
CMI	- Coded Mark Inversion - кодовая группа двоичный код без возвращения к нулю с изменением полярности на полный интервал на каждой "1" и изменением полярности в середине каждого "0"-го интервала.
CMIP	- Common Management Information Protocol - протокол общей управляющей информации
CMIS	- Common Management Information Service - сервис общей управляющей информации
CMISE	- Common Management Information Service Element - сервисный элемент общей управляющей информации
CMU	- Connection Matrix Unit - блок коммутирующей матрицы связи
COMM	- Communications - система связи с элемент-менеджером или NMS, использующая Q-интерфейс
CONP	- Connection Oriented Network-layer Protocol - сетевой протокол режима с установлением соединений
CONS	- Connection-Oriented-mode Network Service - сетевой сервис режима с установлением соединений
CONS1	- Протокол полного стека протоколов, используемый вместо протокола B1 (см. CONS)

CRC	- Cyclic Redundancy Check - циклический избыточный код, используемый для проверки правильности переданного блока данных
CSES	- Consecutive Severely Errored Seconds - последовательные секунды с серьезными ошибками
CSMA	- Carrier Sense Multiple Access - множественный доступ с контролем несущей
CT	- Craft Terminal - крафт-терминал - переносной PC или ноутбук PC, используемый в качестве элемент-менеджера
CU	- Control Unit or Control and synchronization Unit - блок управления или блок управления и синхронизации (аппаратура компании Nokia)
CV	- Code Violation - нарушение регулярной кодовой последовательности
D1	- 24-канальная система с выходным потоком T1 = 1544 кбит/с компании Bell
D2	- 24-канальная система, модификация D1, описана в ITU-T Rec. G.733 [31] (Bell)
DAD	- Draft Addendum - предложенное (для голосования в комитете) расширение стандарта
DATA	- Data - данные или поток данных
dBm	- Уровень мощности в децибелах, превышающий мощность в 1 мватт
DCC	- Data Communications Channel - служебный канал передачи данных - в SONET/SDH: канал связи, или формирующие его байты D1-D12, соответствующие части заголовка SOH фрейма STM-N
DCC64	- Data Communication Channel 64 kbps - (служебный) канал передачи данных, использующий (для сетей SDH) 1 байт заголовка SOH, скорость передачи 64 кбит/с
DCCM	- Data Communication Channel for Multiplex section - (служебный) канал передачи данных для мультиплексной секции SDH сети, байты SOH D4-D12, скорость передачи 576 кбит/с
DCCR	- Data Communication Channel for Regenerator section - (служебный) канал передачи данных для регенераторной секции SDH сети, байты SOH D1-D3, скорость передачи 192 кбит/с
DCE	- Data Circuit Terminating Equipment - аппаратура окончания канала данных (АКД)
DCF	- Data Communications Function - функция передачи данных
DCN	- Data Communications Network - сеть передачи данных
DH	- Hybrid Data (unit) - гибридный блок данных (аппаратура компании Nokia)
DPRS	- Distributed Primary Reference Source - распределенный первичный эталонный источник
DS0	- DS-0 - Digital Service/Signal of level 0 - цифровой сервис/сигнал нулевого уровня со скоростью 64 кбит/с общий как для американской, так и европейской цифровых иерархий, известен у нас как Base Rate Digital Signal - основной цифровой канал (ОЦК)
DS1	- DS-1 - Digital Signal of level 1 - цифровой сигнал первого уровня или первичный цифровой канал со скоростью 1.544 Мбит/с для американской иерархии, которому соответствует в европейской иерархии первичный цифровой канал со скоростью 2.048 Мбит/с
DS2	- DS-2 - Digital Signal of level 2 - цифровой сигнал второго уровня или вторичный цифровой канал со скоростью 6.312 Мбит/с для американской иерархии, которому соответствует в европейской иерархии вторичный цифровой канал со скоростью 8.448 Мбит/с
DS3	- DS-3 - Digital Signal of level 3 - цифровой сигнал третьего уровня или третичный цифровой канал со скоростью 44.756 Мбит/с для американской иерархии, которому соответствует в европейской иерархии третичный цифровой канал со скоростью 34.368 Мбит/с
DS4	- DS-4 - Digital Signal of level 4 - цифровой сигнал четвертого уровня или четвертичный цифровой канал со скоростью 274.176 Мбит/с для американской иерархии (который формально не был специфицирован ITU-T), ему соответствует в европейской иерархии четвертичный цифровой канал со скоростью 139.264 Мбит/с
DSJ3	- Цифровой канал 3-го уровня Японской иерархии PDH
DSJ4	- Цифровой канал 4-го уровня Японской иерархии PDH
DSP	- Domain Specific Part - специфическая часть домена (занимает три поля в структуре адреса NSAP)
DTE	- Data Terminal Equipment - оконечное оборудование данных (ООД)
DTMF	- Dual-Tone Multifrequency/Dual-Tone Modulated Frequency - двухтоновый многочастотный набор/тональный набор - тональный сигнал, генерируемый вызывающим модемом или DTMF телефоном (телефоном с генератором DTMF) при наборе номера; DTMF сигнализация
DWDM	- Dense Wavelength Division Multiplexing - высокоплотное мультиплексирование с разделением по длинам волн
DXC	- Digital Cross-Connect - цифровой коммутатор/кросс-коммутатор
DXI	- Data Exchange Interface - интерфейс обмена данными (между ATM и LAN)
E1	- Первичный канал 2048 кбит/с, соответствующий первому уровню в европейской версии PDH
E2	- Вторичный канал 8448 кбит/с, соответствующий второму уровню в европейской версии PDH
E3	- Третичный канал 34.368 кбит/с, соответствующий третьему уровню в европейской версии PDH
E4	- Четвертичный канал 139.264 кбит/с, соответствующий четвертому уровню в европейской версии PDH
EA, EB	- East A, East B - линейные агрегатные блоки "восточного" направления: основной (A) и резервный (B)
EB	- Errored Block - блок с ошибками
ECC	- Embedded Control Channel - встроенный канал управления
EDC	- Error Detection Code - код обнаружения ошибок
EIA	- Electronic Industries Association - Ассоциация электронной промышленности США

EM	- Element Manager - элемент-менеджер - система управления сетевым элементом
ENM	- eNM - ECI Network Manager - сетевой менеджер компании ECI
EOC	- Embedded Operations Channel - встроенный канал управления
EOS	- Element Operations System - система управления элементом сети
EOW	- Engineering Order Wire/Wiring - служебный (цифровой) канал
EPPI 140M	- Физический интерфейс PDH 140 Мбит/с (аппаратура компании Nokia)
EPPI 2M	- Физический интерфейс PDH 2 Мбит/с (аппаратура компании Nokia)
ES	- End System - конечная система
	- Errored Second - секунда с ошибками
ES-IS	- End System-to-Intermediate System - протокол связи (взаимодействия) конечной системы с промежуточной системой
ESR	- Errored Second Ratio - коэффициент ошибок по секундам с ошибками
Ethernet	- Локальная сеть, использующая стандарт IEEE 802.3 - CSMA/CD
ETSI	- European Telecommunications Standards Institute - Европейский институт стандартов в области связи
EXC	- Exc - Excessive errors - слишком много ошибок
F	- Интерфейс для подключения DCN к рабочей станции элемент-менеджера, соответствует опорной точке f
f	- Опорная точка сети TMN для подключения блоков WSF к OSF и/или к MF
FAS	- Frame Alignment Signal - сигнал выравнивания (синхронизации) фрейма
Fast Ethernet	- Локальная сеть, использующая технологию быстрого Ethernet (100 Мбит/с)
FC	- Fiber optic Connector - соединитель для ВОК
FDDI	- Fiber Distributed Data Interface - Локальная сеть на основе стандарта FDDI (100 Мбит/с), использующая ВОК в качестве среды распространения
FE1	- Fractional E1 - n x 64 кбит/с канал (где n = 2, ... ,31)
FEBE	- Far-End Block Error - блок с ошибками на удаленном конце
FERF	- Far End Receive Failure - сбой при приеме на удаленном конце
FLC	- Fiber Loop Converter - преобразователь для абонентской линии, использующей ВОК
Frame Relay	- Ретрансляция кадров - технология глобальных сетей
FS	- Fixed Stuff - фиксированный наполнитель - пустое поле с фиксированным положением внутри фрейма
FTAM	- File Transfer, Access and Management - протокол передачи файла, дистанционного доступа и менеджмента
FU	- Functional Unit - функциональный блок
g	- Опорная точка сети TMN между WSF и пользователем
GNE	- Gateway Network Element - шлюзовой элемент сети
GPS	- Global Positioning System - глобальная система позиционирования (объекта)
H	- Hub - концентратор
H0	- ISDN channel 384 kbps - канал ISDN, реализуемый как кратный В-канал, т.е. как канал n x 64 кбит/с
H1	- ISDN High bit rate channel 1 - высокоскоростной канал ISDN, подразделяемый на H11 и H12
H11	- ISDN канал 1.544 Мбит/с, то же, что и T-1 (для Америки и Японии)
H12	- ISDN канал 1.920 Мбит/с, то же, что и E1 (для Европы)
H21	- ISDN канал 34 Мбит/с, то же, что и E3 (для Европы)
H22	- ISDN канал 45 Мбит/с, то же, что и T3 (для Америки)
H4	- ISDN канал 135 Мбит/с (аналог E4) для пакетизированной передачи
	- Индикатор положения нагрузки - байт в заголовке POH виртуального контейнера верхнего уровня
HCS	- Higher order Connection Supervision - контроль соединений на уровне виртуальных контейнеров верхнего уровня
HDB2	- High-Density Bipolar code of order 2 - двухполярный код высокой плотности порядка 2
HDB3	- High-Density Bipolar code of order 3 - двухполярный код высокой плотности порядка 3
HMA	- Human-Machine Adaptation - человеко-машинная адаптация
HOA	- Higher Order Assembler - сборка VC верхнего уровня
HOI	- Higher Order Interface - интерфейс сборки VC верхнего уровня
HPA	- Higher order Path Adaptation - адаптация к маршруту VC верхнего уровня
HPC	- Higher order Path Connection - соединение нескольких VC верхнего уровня
HPOM	- Higher order Path Overhead Monitor - мониторинг POH VC верхнего уровня
HP	- Hewlett Packard Corporation - компания - производитель компьютеров, сетевого оборудования и программного обеспечения
HPT	- Higher order Path Overhead Termination - начало/окончание маршрута VC верхнего уровня
HUG	- Higher order Unequipped Generator - генератор незагруженного VC верхнего уровня
I	- Обозначение стандартной внутривыделенной регенераторной секции
ICF	- Information Conversion Function - функция преобразования информации
IDI	- Initial Domain Identifier - начальный идентификатор домена (OSI, Network Layer, поле в структуре NSAP адреса)
IDP	- Initial Domain Part - начальная часть домена (занимает два поля в структуре адреса NSAP)
IEC	- International Electrotechnical Commission - Международная электротехническая комиссия (МЭК)

IFU	- Interworking Functional Unit - функциональный блок взаимодействия
IP	- Interworking Protocol - протокол взаимодействия
IS	- Intermediate System - промежуточная система
IS-IS	- Intermediate System-to-Intermediate System - протокол связи между промежуточными системами
ISDN	- Integrated Services Digital Network - цифровая сеть интегрированного обслуживания (ЦСИО)
ISM	- In-Service Monitoring - мониторинг в процессе обслуживания
	- Intelligent Synchronous Multiplexer - интеллектуальный синхронный мультиплексор
ISO	- International Organization for Standardization - Международная организация по стандартизации
ISUP	- ISDN User Part - пользовательская часть ISDN - протокол управления вызовами, передающий информацию управления вызовом между узлами сети, поддерживающими сигнализацию SS7 (OKC-7)
ITU	- International Telecommunication Union - Международный союз электросвязи
ITU-T	- International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization - Международный союз электросвязи - Сектор стандартизации
IWU	- Interworking Unit - блок взаимодействия
J2	- Один из заголовков мультифрейма
JCB	- (subframe) Justification Control Bit - бит управления выравниванием (субфрейма)
JOB	- (subframe) Justification Opportunity Bit - бит возможного выравнивания (субфрейма)
L	- Обозначение стандартной длинной межстанционной регенераторной секции
LAN	- Local Area Network - локальная (вычислительная) сеть ЛВС или ЛС
LAPD	- Link Access Procedure for the D channel - протокол доступа к звену данных для D канала
LBA	- Lightwave Booster Amplifier - оптический усилитель (то же, что и ОВА)
LCN	- Local Communications Network - локальная сеть связи
LCS	- Lower order Connection Supervision - контроль соединений VC нижнего уровня
LED	- Light Emission Diode - светодиод
LFA	- Loss of Frame Alignment - потеря выравнивания/синхронизации фрейма
LNC	- Local Node Clock - таймер локального (местного) узла
LOF	- Loss Of Frame - потеря фрейма
LOI	- Lower Order Interface - интерфейс сборки VC нижнего уровня
LOM	- Loss Of Multiframe - потеря мультифрейма
LOP	- Loss Of Pointer - потеря указателя
LOS	- Loss Of Signal - потеря сигнала
LPA	- Lower order Path Adaptation - адаптация к маршруту VC нижнего уровня
LPC	- Lower order Path Connection - соединение нескольких VC нижнего уровня
LPOM	- Lower order Path Overhead Monitor - мониторинг ПОН VC нижнего уровня
LPR	- Local Primary Reference - локальный первичный эталон
LPT	- Lower order Path Termination - начало/окончание маршрута VC нижнего уровня
LR	- Line Regenerator - линейный регенератор
LTi	- Loss of Timing Inputs - потеря синхронизации на входе
LUG	- Lower order Unequipped Generator - генерация незагруженного VC нижнего уровня
LXC	- Local Cross-Connect - локальный кросс-коммутатор
M	- Manager - менеджер
m	- Опорная точка сети TMN между QAF и управляемым объектом
MAF	- Management Application Function - функция управляющего приложения
MAN	- Metropolitan Area Network - общегородская сеть (ОГС)
mbnb	- mBnB - общее обозначение класса блочных кодов - где <i>m</i> - длина (в битах) блоков, на которые разбивается исходная ИКМ последовательность, а <i>n</i> - соответствующая им длина (в битах) блоков, составленных из кодовых символов
MCF	- Message Communications Function - функция передачи сообщения
MCI	- MCU Connection Interface - интерфейс связи с MCU
MCMi	- Modified CMI - модифицированный код CMI
MCU	- Management and Communication Unit - блок управления и связи
MD	- Mediation Device - устройство сопряжения (медиатор)
MF	- Mediation Function - функция устройств сопряжения (медиаторная функция)
MFAS	- Multiframe Alignment Signal - сигнал выравнивания (синхронизации) мультифрейма
MFS	- Multiframe Synchronization - синхронизация мультифрейма
MIB	- Management Information Base - база управляющей информации
MO	- Managed Object - управляемый объект
MOC	- Managed Object Class - класс управляемых объектов
MRS	- Microwave Radio System - радиорелейная система
MS	- Multiplex Section - мультиплексная секция
MSA	- Multiplex Section Adaptation - адаптация на уровне мультиплексной секции
MSOH	- Multiplex Section Overhead - заголовок мультиплексной секции
MSP	- Multiplex Section Protection - защита мультиплексной секции
MST	- Multiplex Section Termination - начало/окончание мультиплексной секции
MTP	- Message Transfer Part - часть, ответственная за передачу сообщений - первые три уровня SS7 (OKC-7)

MUX	- Multiplexer - мультиплексор
N	- Опорная точка канала DCC для регенераторной секции
nBmB	- Тип линейного кода, то же, что и mBnB
NDF	- New Data Flag - флаг новых данных
NE	- Network Element - сетевой элемент
NEF	- Network Element Function - функция сетевого элемента
NLR	- Network Layer Relay - ретрансляция на сетевом уровне
NM	- Network Manager - сетевой менеджер - система управления сетью в целом
NMS	- Node Manager - узловой менеджер - система управления узлом сети (то же, что и EM)
	- Network Management System - система управления сетью/система административного управления сетью
NNE	- Non-SDH Network Element - элемент, не являющийся частью сети SDH
NOS	- Network Operating System - сетевая операционная система (система управления локальной компьютерной сетью)
	- Network Operations System - система управления сетью/система, оперирующая на сети (система управления телекоммуникационной сетью)
NPDU	- Network Protocol Data Unit - сетевой протокольный блок данных
NPI	- Null Pointer Indicator - поле индикации нулевого указателя
NRZ	- Non Return to Zero - однополярный/двухполярный код без возвращения к нулю
NS	- Network Service - сетевой сервис
NSAP	- Network Service Access Point - точка (узел) доступа сетевого сервиса - точка/узел доступа к службе OSI на сетевом уровне (S7), см. SAP
NSEL	- Network Selection - выбор сети - последнее поле адреса NSAP
OAI	- Overhead Access Interface - интерфейс доступа к (секционному) заголовку SOH
OAM&P	- Operation, Administration, Maintenance and Provisioning - эксплуатация, администрирование, обслуживание и обеспечение (функции и сервис)
OAU	- Overhead Access Unit - блок доступа к (секционному) заголовку SOH
OBA	- Optical Booster Amplifier - выходной оптический усилитель
OC	- Optical Carrier - оптическая несущая (см. также OC-n)
OC-1	- OC1 - OC-1/STS-1 - Optical Carrier of level 1 - оптическая несущая первого уровня иерархии SONET - 51.84 Мбит/с
OC-12	- OC12 - OC-12/STS-12 - Optical Carrier of level 12 - оптическая несущая 12-го уровня иерархии SONET - 622.08 Мбит/с - то же, что и STM-4 для SDH
OC-192	- OC192 - OC-192/STS-192 - Optical Carrier of level 192 - оптическая несущая 192-го уровня иерархии SONET - 9,953.28 Мбит/с - то же, что и STM-64 в SDH
OC-3	- OC3 - OC-3/STS-3 - Optical Carrier of level 3 - оптическая несущая третьего уровня иерархии SONET - 155.52 Мбит/с - то же, что и STM-1 для SDH
OC-48	- OC48 - OC-48/STS-48 - Optical Carrier of level 48 - оптическая несущая 48-го уровня иерархии SONET - 2,488.32 Мбит/с - то же, что и STM-16 для SDH
OC-n	- OCn - OC-n/STS-n - Optical Carrier of level n - оптическая несущая n-го уровня иерархии SONET - n x 51.84 Мбит/с
OFS	- Out of Frame Second - секунда, содержащая сигнал OOF - "выход за границы фрейма"
OH	- Overhead - заголовок
OHA	- Overhead Access/Overhead Access function - доступ к заголовку или функция доступа к заголовку
OHC	- Overhead Channel - канал связи заголовка
OOF	- Out Of Frame - выход за границы фрейма
OPA	- Optical Preamplifier - предварительный оптический усилитель
OS	- Operating System - операционная система (система, управляющая работой процессора или компьютера)
	- Operations System - управляющая система/система, оперирующая на сети (система, управляющая работой телекоммуникационной сети)
OSF	- Operations System Function - функция управляющей системы/функция системы, оперирующей на сети
OSI	- Open Systems Interconnection - взаимодействие открытых систем (ВОС)
OWI	- Order Wire Interface - интерфейс служебных каналов
P	- Опорная точка канала DCC для мультиплексной секции
PABX	- Private Automatic Branch Exchange - частная АТС
Path HOVC	- Path of Higher Order Virtual Container - маршрут виртуальных контейнеров верхнего уровня
Path LOVC	- Path of Lower Order Virtual Container - маршрут виртуальных контейнеров нижнего уровня
PC	- Connector PC - соединитель для ВОК типа PC
PCM	- Pulse-Code Modulation - импульсно-кодовая модуляция (ИКМ)
PDH	- Plesiochronous Digital Hierarchy - плезиохронная цифровая иерархия (ПЦИ)
PDU	- Protocol Data Unit - протокольный блок данных
PF	- Presentation Function - функция представления
Ph	- Physical - физический (например, физический уровень)
PHAMOS	- Philips Advanced Management and Operations System for SDH network elements - усовершенствованная система управления и администрирования элементов сетей SDH компании Филипс

PHASE-FNS	- Philips Advanced Synchronous Equipment - Flexible Network Systems - усовершенствованное синхронное оборудование Филипс для гибких сетевых решений
PJE	- Pointer Justification Event - факт выравнивания указателя (например, AU PJE - факт выравнивания указателя административного блока)
PL	- Payload - полезная нагрузка
POH	- Path Overhead - маршрутный заголовок (вариант: трактовый заголовок)
PPI	- PDH Physical Interface - физический интерфейс сигнала PDH
PPM	- ppm - Parts Per Million - миллионных долей (например, 4.6 ppm = 4.6×10^{-6})
PPU	- Pointer Processing Unit - блок обработки указателей
PRC	- Primary Reference Clock - первичный эталонный генератор (таймер)
PRS	- Primary Reference Source- первичный эталонный источник
PSC	- Protection Switch Count - число защитных переключений
PSD	- Protection Switch Duration - длительность (определенного) защитного переключения
PSM	- PDH-to-SDH Mediator - система или звено связи PDH и SDH сетей (на основе мультиплексоров PSM-1 компании ECI)
PSPDN	- Packet Switched Public Data Network - сеть передачи данных общего пользования с пакетной коммутацией
PSN	- Packet Switched Network - сеть пакетной коммутации, например, сеть X.25
PTR	- Pointer - указатель
Q	- Тип интерфейса (Q_x , Q_{B2} , Q_{B3} , Q_{ECC} , Q_3) для подключения элемент-менеджера или NMS, соответствует опорной точке q
q	- Опорная точка сети TMN
Q_3	- Интерфейс для связи DCN с NE или с Q-адаптером (а через него с другим оборудованием), или с MD
QA	- Q-Adapter - Q-адаптер - адаптер, позволяющий подключать оборудование, имеющее несовместимые с TMN интерфейсы
QAF	- Q-Adapter Function - функция Q-адаптера
Q_{B2}	- Q-interface/stack B2 - Q-интерфейс, использующий стек протоколов B2
Q_{B3}	- Q-interface/stack B3 - Q-интерфейс, использующий стек протоколов B3
QOS	- Quality of Service - качество обслуживания
Q_x	- Интерфейс для связи DCN с одной стороны с MD, с другой - с NE и с Q-адаптером
R	- Regenerator - регенератор
RM	- Regional Manager - региональный менеджер (ПО для управления сетями SDH компании Alcatel)
RMON	- Remote Monitoring - дистанционный мониторинг
ROSE	- Remote Operations Service Element - сервисный элемент дистанционных операций
RS	- Regenerator Section - регенераторная секция
RSOH	- Regenerator Section Overhead - заголовок регенераторной секции
RST	- Regenerator Section Termination - начало/окончание регенераторной секции
RZ	- Return to Zero - двухполярный код с возвращением к нулю
S	- Обозначение стандартной короткой межстанционной регенераторной секции
	- Опорная точка схемы представления системы административного управления
SAP	- Service Access Point - точка доступа сервиса
SAPI	- Service Access Point Identifier - идентификатор точки доступа сервиса
SC	- Тип соединителя для BOK
SCCP	- Signaling Connection Control Part - часть, ответственная за управление соединением канала сигнализации - протокол уровня 4 (SS7 - OKC-7)
SCI	- SIU Connection Interface - интерфейс связи с SIU
SD	- Signal Degrade - ухудшение качества сигнала
SDH	- Synchronous Digital Hierarchy - синхронная цифровая иерархия (СЦИ)
SDM	- Synchronous Digital Multiplexer - синхронный цифровой мультиплексор (сокращение, используемое компанией ECI для SMUX)
SDXC	- Synchronous Digital Cross-Connect system - система общей синхронной коммутации/кросс-коммутации SDH потоков
SEMF	- Synchronous Equipment Management Function - функция управления синхронным оборудованием
SES	- Severely Errored Second - секунда с серьезными ошибками
SESR	- Severely Errored Second Ratio - коэффициент ошибок по секундам с серьезными ошибками
SETPI	- Synchronous Equipment Timing Physical Interface - физический интерфейс хронизирующего источника синхронного оборудования
SETS	- Synchronous Equipment Timing Source - хронизирующий источник синхронного оборудования
SF	- Subframe - субфрейм
SID	- System Identifier - идентификатор системы (поле в структуре NSAP адреса)
SIU	- Synchronous Interface Unit - блок синхронного интерфейса или блок линейного выхода
SL	- Synchronous Line link - синхронная (SDH) линия
SLM	- Signal Label Mismatch - несовпадение типа сигнала
	- Synchronous Line Multiplexer - синхронный линейный мультиплексор
SLR	- Synchronous Line Regenerator - синхронный линейный регенератор

SLX	- Synchronous Line Multiplexer - синхронный линейный мультиплексор
SM	- Synchronous Multiplexer - синхронный мультиплексор (например, SM-1/4 компании Siemens)
SMA	- Synchronous Multiplexer, Add-drop - SDH мультиплексор ввода-вывода (в обозначении компании GPT)
SMN	- SDH Management Network - сеть управления SDH
SMS	- SDH Management Sub-network - подсеть SMS сети управления SMN
	- Synchronous Multiplex System - синхронная мультиплексная система
SMUX	- SDH Multiplexor - мультиплексор SDH
	- Synchronous Multiplexer - синхронный мультиплексор
SNA	- System Network Architecture - системная сетевая архитектура
SNC-P	- Приемный блок самовосстанавливающегося двунаправленного двухволоконного кольца SDH компании Alcatel
SNDCF	- Sub-Network Dependent Convergence Function - функция сведения, зависящая от подсети
SNMP	- Simple Network Management Protocol - простой протокол управления сетью
SOH	- Section Overhead - секционный заголовок
SONET	- Synchronous Optical Network - синхронная оптическая сеть: - 1) синхронная сеть передачи данных по волоконно-оптическому кабелю - 2) синхронная цифровая иерархия, разработанная в США
SONET/SDH	- Synchronous Optical Network/Synchronous Digital Hierarchy - синхронная оптическая сеть/синхронная цифровая иерархия - единая синхронная технология или сеть SONET, использующая скорости передачи, совпадающие со скоростями иерархии SDH
SOS	- Service Operations System - система управления сервисом сети
SPI	- SDH Physical Interface - физический интерфейс сигнала SDH
SPIU	- Subrack Power Interface Unit - блок питания полки (кассеты) (аппаратура компании Nokia)
SR	- Synchronous Radio link - синхронная радиорелейная линия (SDH)
SRC	- Secondary Reference Clock - вторичный или ведомый эталонный генератор (ВЭГ)
SRT	- Synchronous Radio Trunk - синхронный радиотранк
SS7	- SS#7 - Signaling System No.7 - Система сигнализации по общему каналу № 7 (ОКС-7) для телефонных сетей
SSM	- Synchronization Status Message - сообщение о статусе синхронизации
SSW	- System Switch unit - блок системного кросс-коммутатора - центральный блок кросс-коммутатора типа DXC-4/4/1 (аппаратура компании Nokia)
ST	- Тип соединителя для BOC
STM	- Synchronous Time division Multiplexer/Multiplexing - синхронный мультиплексор с временным разделением - Synchronous Transport Module - синхронный транспортный модуль - основная единица иерархии SDH
STM-0	- Synchronous Transport Module of level 0 - синхронный транспортный модуль нулевого уровня иерархии SDH, соответствует SONET OC-1 - 51.840 Мбит/с (то же, что и STM-RR)
STM-1	- Synchronous Transport Module of level 1 - синхронный транспортный модуль первого уровня иерархии SDH - 155.520 Мбит/с - линейный оптический агрегатный блок 155 Мбит/с (аппаратура компании Nokia)
STM-1E	- линейный электрический агрегатный блок 155 Мбит/с (аппаратура компании Nokia)
STM-16	- Synchronous Transport Module of level 16 - синхронный транспортный модуль 16 уровня иерархии SDH - 2,488.320 Мбит/с
STM-256	- Synchronous Transport Module of level 256 - синхронный транспортный модуль 256 уровня иерархии SDH - 39,813.120 Мбит/с
STM-4	- Synchronous Transport Module of level 4 - синхронный транспортный модуль 4 уровня иерархии SDH - 622.080 Мбит/с - линейный оптический агрегатный блок 622 Мбит/с (аппаратура компании Nokia)
STM-64	- Synchronous Transport Module of level 64 - синхронный транспортный модуль 64 уровня иерархии SDH - 9,953.280 Мбит/с
STM-RR	- Synchronous Transport Module for Radio Relay link - синхронный транспортный модуль для радиорелейных систем SDH, то же, что и STM-0 или OC-1
STM-N	- Synchronous Transport Module of level N - синхронный транспортный модуль SDH уровня N, где N = 1, 4, 16, 64, 256
STS	- Synchronous Transport Signal - синхронный транспортный сигнал - основная единица иерархии SONET
STS-1	- Synchronous Transport Signal of the 1-st level - синхронный транспортный сигнал первого уровня иерархии SONET - 51.84 Мбит/с (то же, что STM-0 в SDH)
STS-12	- Synchronous Transport Signal of the 12-th level - синхронный транспортный сигнал 12-го уровня иерархии SONET - 622.08 Мбит/с (то же, что STM-4 в SDH)
STS-192	- Synchronous Transport Signal of the 192-th level - синхронный транспортный сигнал 192-го уровня иерархии SONET - 9953.28 Мбит/с (то же, что STM-64 в SDH)
STS-3	- Synchronous Transport Signal of the 3-rd level - синхронный транспортный сигнал 3-го уровня иерархии SONET - 155.52 Мбит/с (то же, что STM-1 в SDH)
STS-48	- Synchronous Transport Signal of the 48-th level - синхронный транспортный сигнал 48-го уровня иерархии SONET - 2488.32 Мбит/с (то же, что STM-16 в SDH)

STS-n	- STS-N - Synchronous Transport Signal of level n - синхронный транспортный сигнал n-го уровня иерархии SONET
SU	- Service Unit - блок обслуживания интерфейсов (аппаратура компании Nokia)
SUN	- SUN Microsystems - компания - производитель рабочих станций SUN SPARC Stations и сетевых серверов
SVC	- Switched Virtual Circuit - коммутируемая виртуальная цепь
SW	- Switch - коммутатор
SXC	- Synchronous Cross-Connect - синхронный кросс-коммутатор
T	- Опорная точка источника синхронизации
T:DAX	- Универсальный кросс-коммутатор для сетей PDH/SDH/SONET компании ECI
T1	- Первичный цифровой канал со скоростью передачи 1544 кбит/с, стандартный в американской иерархии PDH (см. DS-1)
T2	- Вторичный цифровой канал со скоростью передачи 6312 кбит/с, стандартный в американской иерархии PDH (см. DS-2)
T3	- Третичный цифровой канал со скоростью передачи 44.736 кбит/с, стандартный в американской иерархии PDH (см. DS-3)
T4	- Четвертичный цифровой канал со скоростью передачи 274.176 кбит/с, de facto стандартный в американской иерархии PDH (см. DS-4)
TA	- Terminal Adapter - терминальный адаптер
TCI	- TIU Connection Interface - интерфейс связи с TIU
TCN	- Telecommunications Network - телекоммуникационная сеть
	- Threshold Crossing Notification - уведомление о пересечении границы/порога
TF	- Transmission Fail - сбой при передаче
TIM	- Trace Identifier Mismatch - несовпадение идентификатора трассировки
TIU	- Tributary Interface Unit - блок трибных интерфейсов
TM	- Terminal Multiplexer - терминальный мультиплексор
TMN	- Telecommunications Management Network - сеть управления телекоммуникациями (сеть управления электросвязью)
TMS	- Telecommunications Management System - система управления сетью связи
TN-1X, -4X	- SDH мультиплексор уровня STM-1, STM-4 компании Nortel
TNC	- Transit Node Clock - таймер транзитного узла
Token Ring	- Локальная сеть с кольцевой топологией и технологией типа "маркерное кольцо", стандарта IEEE 802.5
TP	- Transmission Path - маршрут передачи (тракт)
TP4	- TP-4 - Transport Protocol Class 4 - транспортный протокол 4-го класса - протокол, использующий обнаружение и коррекцию ошибок (используется в сетях без установления соединений)
TSW	- Terminal System Switch - терминальный блок системного кросс-коммутатора (аппаратура компании Nokia)
TTF	- Transport Terminal Function - функция начала/окончания транспортировки VC
TTI	- Trail Trace Identifier - идентификатор трассировки временного (текущего) маршрута
TU	- Tributary Unit - трибный блок (другие варианты: блок каналов доступа, субблок) - блок или элемент структуры мультиплексирования SDH, обеспечивает согласование между нижними и верхними уровнями иерархии
TU-11	- Tributary Unit-11 - трибный блок, соответствующий виртуальному контейнеру VC-11 в иерархии мультиплексирования SDH
TU-12	- Tributary Unit-12 - трибный блок, соответствующий виртуальному контейнеру VC-12 в иерархии мультиплексирования SDH
TU-2	- Tributary Unit-2 - трибный блок, соответствующий виртуальному контейнеру VC-2 в иерархии мультиплексирования SDH
TU-3	- Tributary Unit-3 - трибный блок, соответствующий виртуальному контейнеру VC-3 в иерархии мультиплексирования SDH (в старой схеме делился на подуровни TU-31, TU-32)
TU-n	- Tributary Unit-n - трибный блок, соответствующий виртуальному контейнеру VC уровня n (n=1,2,3)
TUAP	- TU AP - Tributary Unit Access Point - точка доступа трибного блока
TUG-2	- Tributary Unit Group-2 - группа трибных блоков уровня 2 - элемент SDH, формируемый путем мультиплексирования трибных блоков TU-1,2; TUG-2 также, как и TU-1,2 имел в старой схеме 2 подуровня - TUG-21 и TUG-22, в новой схеме мультиплексирования подуровней не имеет
TUG-n	- Tributary Unit Group n - группа трибных блоков уровня n (n=2,3)
U	- Опорная точка доступа к заголовку SOH
UAS	- Unavailable seconds - недоступные секунды
UITS	- Unacknowledged Information Transfer Service - сервис: передача информации без подтверждения приема
UTC	- Universal Time, Coordinated - универсальное скоординированное время
V1-V4	- Заголовки, помещаемые перед фреймом в мультифрейме
V5	- Заголовок первого фрейма мультифрейма
VC	- Virtual Container - виртуальный контейнер - элемент структуры мультиплексирования SDH
VC-11	- Virtual Container 11 - виртуальный контейнер, соответствующий контейнеру C-11
VC-12	- Virtual Container 12 - виртуальный контейнер, соответствующий контейнеру C-12

VC-2	- Virtual Container 2 - виртуальный контейнер, соответствующий контейнеру C-2
VC-3	- Virtual Container 3 - виртуальный контейнер, соответствующий контейнеру C-3
VC-4	- Virtual Container 4 - виртуальный контейнер, соответствующий контейнеру C-4
VC-4-Xc	- Виртуальный контейнер такой же, как и VC-4, но имеющий расширенную емкость для транспортировки большей, чем VC-4 полезной нагрузки
VC-n	- Virtual Container of level n - виртуальный контейнер уровня n
WA, WB	- West A, West B - линейные агрегатные блоки "западного" направления: основной (A) и резервный (B)
WAN	- Wide Area Network - глобальная сеть
WDM	- Wavelength Division Multiplexing - мультиплексирование с разделением по длинам волн (спектральное уплотнение)
WS	- Workstation - рабочая станция - PC на одной из платформ (DEC, HP, Intel, SUN)
WSF	- Workstation Function - функция рабочей станции
X	- Интерфейс для связи DCN с "внешним миром", соответствует опорной точке x
x	- Опорная точка сети TMN между OSF, принадлежащих двум TMN
X.25	- Локальная сеть передачи данных по протоколу X.25
Xc	- Extended Capacity - суффикс, используемый в обозначениях технологии SDH для того, чтобы показать возможность расширения элемента структуры мультиплексирования SDH для передачи большей рабочей нагрузки
Y	- Опорная точка формирования статуса синхронизации
Z6	- Один из заголовков мультифрейма
Z7	- Один из заголовков мультифрейма

Русские сокращения

1+1	- Режим стопроцентного резервирования в сетях SDH с использованием основного и резервного сигналов
1:1	- Режим стопроцентного резервирования в сетях SDH с использованием основного или резервного сигналов
АИМ	- Амплитудно-импульсная модуляция
АКД	- Аппаратура окончания канала данных (DCE)
АМ	- Амплитудная модуляция
АС	- Американская схема иерархии PDH
АТС	- Автоматическая телефонная станция
АЦП	- Аналого-цифровой преобразователь (ADC)
ВЗГ	- Ведомый (вторичный) задающий генератор (то же, что SRC)
ВОС	- МВОС - Взаимодействие открытых систем или Модель взаимодействия открытых систем (OSI)
ВОК	- Волоконно-оптический кабель (FO cable)
ВОЛС	- Волоконно-оптические линии связи
ВСС	- Взаимоувязанная сеть связи РФ
ВЦК	- Вторичный цифровой канал (DS2)
ВЭГ	- Ведомый эталонный генератор (SRC)
ГСС	- Глобальная сеть связи (WAN)
ДИКМ	- Дифференциальная ИКМ (DPCM)
ЕС	- Европейская схема иерархии PDH
ИКМ	- Импульсно-кодовая модуляция (PCM)
КТЧ	- Канал тональной частоты (voice channel)
ЛВС	- ЛС - Локальная вычислительная сеть (LAN)
М	- Мбит/с (краткое обозначение, используемое, в основном, на схемах)
МСЭ	- Международный Союз Электросвязи (ITU)
н.д.	- нет данных
нм	- нанометр
нс	- наносекунда
ОБП-ПН	- модулирование несущей и поднесущих по амплитуде с подавлением одной боковой полосы ОБП (левой или правой) и подавлением несущей ПН
ОГС	- Общегородская сеть (MAN)
ОКС	- Общеканальная сигнализация (например, ОКС-7)
ООД	- Оконечное оборудование данных (DTE)
ООП	- Объектно-ориентированный подход
ОЦК	- Основной цифровой канал (basic rate digital signal, DS-0) - 64 кбит/с
ПЦИ	- Плезियोхронная цифровая иерархия (PDH)
ПЦК	- Первичный цифровой канал (DS1)
ПЭГ	- Первичный эталонный генератор (PRC)
РНИ	- Разнонаправленный (contradirectional) интерфейс.
РРЛ	- Радиорелейная линия
РТМ	- Руководящий технический материал
с/ш	- Сигнал/шум
СНИ	- Сонаправленный (codirectional) интерфейс

СОС
СПД
СЦИ
ТЦК
ТЧ
ЦГИ
ЦСИО
ЧМ
ЧЦК
ЭМ
ЯС

- синхронная оптическая сеть (SONET)
- Систем передачи данных
- Синхронная цифровая иерархия (SDH)
- Третичный цифровой канал (DS3)
- Тональная частота (voice frequency)
- Интерфейс с центральным тактовым генератором (centralized clock interface)
- Цифровая сеть интегрированного обслуживания (ISDN)
- Частотная модуляция (FM)
- Четвертичный цифровой канал (DS4)
- Элемент менеджер (EM)
- Японская схема иерархии PDH

ЛИТЕРАТУРА

1. Robert Techo. Data Communications: An Introduction to Concepts and Design. Plenum Press, New York and London, 1980. 304 pp.
2. John Ronayne. Introduction to Digital Communications Switching. Pitman, London, 1986. 212 pp.
3. Synchronous Transmission Systems. Editor Christopher Newall. Northern Telecom Europe Ltd., Doc-GH9, Issue 3.1, 1992. 112 pp.
4. Сифоров В.И. и другие. Теория импульсной радиосвязи. Л.: ЛКВВИА, 1951. 512 с.
5. Ким Л.Т. Синхронная цифровая иерархия. "Электросвязь", 1991, №3. с. 2-5.
6. Ким Л.Т. Линейные тракты синхронной цифровой иерархии. "Электросвязь", 1991, №6. с. 5-8.
7. Ким Л.Т. Создание транспортной системы на сети связи России. "Электросвязь", 1993, №11. с. 20-23.
8. Гордон Г.И. Аппаратура синхронной цифровой иерархии. "Электросвязь", 1993, №12. с. 43-46.
9. Быховский В.А. Ускорение развития сети связи России на базе сетей СЦИ компаний Макомнет, Метроком и Раском. "Электросвязь", 1994, №12. с.32-37.
10. Дегтярев В.В., Коромысличенко В.Н., Шмытинский В.В. Сеть синхронной цифровой иерархии в Санкт-Петербурге. "Электросвязь", 1995, №5.
11. Нетес В.А. Основные принципы организации самозалечивающихся сетей на основе синхронной цифровой иерархии. 1995, №12. с. 9-11.
12. РТМ по применению систем и аппаратуры синхронной цифровой иерархии на сети связи РФ. М.: ЦНИИС, Первая редакция, 1994. - 50 с.
13. ITU-T Recommendation G.702. Digital Hierarchy Bit Rates (1984, 88).
14. ITU-T Recommendation G.703. Physical/Electrical Characteristics of Hierarchical Digital Interfaces. (1972 last amended in 1991).
15. ITU-T Recommendation G.704. Synchronous Frame Structures Used at Primary and Secondary Hierarchical Levels (1984, 88, 90).
16. ITU-T Recommendation G.707. Synchronous Digital Hierarchy Bit Rates (1988, 91, 93).
17. ITU-T Recommendation G.708. Network Node Interface for the Synchronous Digital Hierarchy (1988, 91, 93).
18. ITU-T Recommendation G.709. Synchronous Multiplexing Structure (1988, 91, 93).
19. ITU-T Recommendation G.774. Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Management Information Model for the Network Element View (1992, 11.96).
20. ITU-T Recommendation G.781. Structure of Recommendations on Equipment for the Synchronous Digital Hierarchy (SDH) (1990, Revised 1.94).
21. ITU-T Recommendation G.782. Types and General Characteristics of Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Equipment (1990, Revised 1.94).
22. ITU-T Recommendation G.783. Characteristics of Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Multiplexing Equipment. Functional Blocks (1990, Revised 1.94).
23. ITU-T Recommendation G.784. Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Management (Requirements of Multiplexer Equipment) (1990, Revised 1.94).
24. ITU-T Recommendation G.957. Optical Interfaces for Equipments and Systems Relating to the Synchronous Digital Hierarchy (SDH) (Revised 7.95).
25. ITU-T Recommendation G.958. Digital Line Systems based on the Synchronous Digital Hierarchy (SDH) for Use on Optical Fibre Cables (Revised 11.94).
26. Слепов Н.Н. Интерфейс G.703. "Сети", 1995, № 8, с.74-78.
27. Слепов Н.Н. Принципы плейзохронной и синхронной цифровых иерархий (PDH и SDH). "Сети", 1995, № 9, с.90-101.
28. Слепов Н.Н. Аппаратура и функциональные модули сетей SDH. "Сети и системы связи", 1996, № 1, с. 88-96.
29. Слепов Н.Н. Обзор аппаратуры SDH. "Сети и системы связи", 1996, № 5, с.58-63, <http://www.ritmprint.ru> (ComputerWeek-OnLine).
30. ITU-T Recommendation G.711. Pulse Code Modulation (PCM) of Voice Frequencies (1972, last amended in 1993).
31. ITU-T Recommendation G.733. Characteristics of Primary PCM Multiplex Equipment Operating at 1544 kbps (1972, last amended in 1993).
32. ITU-T Recommendation G.732. Characteristics of Primary PCM Multiplex Equipment Operating at 2048 kbps (1972, last amended in 1993).
33. Волоконно-оптические системы передачи и кабели. Справочник. Под ред И.И.Гроднева. М.: "Радио и связь", 1993. 265 с.
34. ANSI T1.101 - Synchronisation Interface Standards for Digital Networks.
35. ANSI T1.102 - Digital Hierarchy - Electrical Interfaces.
36. ANSI T1.105 - Digital Hierarchy - Optical Interface Rates and Formats Specification (1988).
37. ANSI T1.106 - Digital Hierarchy - Optical Interface Specifications (Single Mode) (1988).
38. ANSI T1X9.4 - (SONET Standard).
39. TA-NWT-000253 - Synchronous Optical Network (SONET) Transport Systems: Common Generic Criteria, Issue 6 (1990, 91).
40. TR-TSY-000253 - Synchronous Optical Network (SONET) Transport Systems: Common Generic Criteria, Issue 1 (9.89. A module of TSGR, FR-NWT-000440), Issue 6 (9.90, plus Bulletin No.1, 8.91).
41. TR-TSY-000496 - SONET Add-Drop Multiplex Equipment (SONET/ADM) Generic Criteria, Issue 2 (9.89).
42. TR-TSY-000499 - Transport Systems Generic Requirements (TSGR): Common Requirements, Issue 3 (12.89. A module of TSGR, FR-NWT-000440).

43. Uyless Black. ATM: Foundation for Broadband Networks. Prentice Hall PTR, Englewood Cliff, N.J., 1995.
44. Nikolai N. Slepov. Acronyms & Abbreviations. A Dictionary for Communications, Computers and Information Sciences. M.: "Radio i Svyaz", 1996. 496 pp.
45. ETS 300 147 - ETSI TC-TM, 1992 (SDH, European Version of the ITU-T Rec. G.708-709).
46. Тилеке К. Синхронная цифровая иерархия - новый перспективный стандарт передачи информации. "Электросвязь", № 10, 1994, с.38-40.
47. Gordon Rhind. The Test Challenge of Synchronous Digital Hierarchy. H.-P. Telecommunications Supplement, pp.53-60.
48. TN-1X, Technical Handbook, Issue 2, Northern Telecom, 1993.
49. SMA-4. 2-622 Mbit/s Synchronous Multiplexer. GPT Data Sheet, 1994.
50. AT&T Network Systems International. Каталоги и проспекты производимой аппаратуры. 1995-1996.
51. Syncom. SDM-4 General Description. ECI Telecom, 1996.
52. Haque I., Kremer W., Raychaudhuri K., "Self-healing Rings in a Synchronous Environment." IEEE LTS: The Magazine of Lightwave Telecommunication Systems, vol.3, no.4, pp.30-37, 1991.
53. Применение синхронных мультиплексоров SM-1/4. Краткое техническое описание, Siemens, 1995.
54. SDH SMS-600 - Transmission System of STM-4 Level. Booklet, Cat. No. E34348-1, NEC, 1995.
55. Syncom. General Catalog. ECI Telecom, 1995.
56. Alcatel 1641 SX. Synchronous 4-3-1 Cross-Connect-System. 1995.
57. Alcatel 1651 SM. 622 Mbit/s (STM-4), Synchronous Add Drop Multiplexer. 1995.
58. Synfonet STM-1/4, Release C2.1/3.0. Network Configuration. Nokia. 1995.
59. Data Communications Products. Catalog. RAD Data Communications. 1996.
60. ITU-T Recommendation M.3010. Principles for a Telecommunications Management Network (1992, заменяет рекомендацию M.30).
61. ITU-T Recommendation M.3020. TMN Interface Specification Methodology (1995).
62. ITU-T Recommendation M.3100. Generic Network Information Model (1995).
63. ITU-T Recommendation M.3101. Managed Object Conformance Statements for the Generic Network Information Model (1995).
64. ITU-T Recommendation M.3180. Catalogue of TMN Management Information (1992).
65. ITU-T Recommendation M.3200. TMN Management Services: Overview (1992).
66. ITU-T Recommendation M.3300. TMN Management Facilities Presented at the F Interface (1992, вместо рекомендаций M.250 и M.251).
67. ITU-T Recommendation M.3400. TMN Management Functions (1992).
68. Keith Miller. British Telecom's Direction in Communications Management. Proceedings of the First Frost & Sullivan European Conference on Network Management, May 1989.
69. Klaus Jäger. Management of Public Transmission Networks in the Integrated TMN. Philips, "Innovation", 1991, n.2, p.33-40.
70. ITU-T Recommendation X.701. System Management Overview (1992, 95).
71. ITU-T Recommendation X.711. Common Management Information Protocol Specification (1991).
72. ITU-T Recommendation X.710. Common Management Information Service Definitions (1991).
73. ITU-T Recommendation Q.811. Low Layer Protocol Profiles for the Q₃ Interface (1993).
74. ITU-T Recommendation Q.812. Upper Layer Protocol Profiles for the Q₃ Interface (1993).
75. ITU-T Recommendation G.826. Errors Performance Parameters and Objectives for International, Constant Bit Rate Digital Paths at or Above the Primary Rate (1993).
76. ITU-T Recommendation M.20. Maintenance Philosophy for Telecommunications Networks (1992).
77. ITU-T Recommendation M.2100. Performance Limits for Bringing-into-Service and Maintenance of International PDH Paths, Sections and Transmission Systems (1995).
78. ITU-T Recommendation M.2120. Digital Path, Section and Transmission System Fault Detection and Localization Procedures (1992).
79. ITU-T Recommendation Q.921. ISDN User-Network Interface - Data Link Layer Specification (1993).
80. ITU-T Recommendation Q.922. ISDN Data Link Layer Specification for Frame Mode Bearer Services (1992).
81. ISO 8473. Information Processing Systems - Data Communications - Protocol for Providing the Connectionless-mode Network Service (1988).
82. ISO 8073/AD2. Information Processing Systems - Open Systems Interconnection - Connection Oriented Transport Protocol Specification - Addendum 2: Class 4 Operation over Connectionless Network Service (1989).
83. ISO 9596. Information Processing Systems - Open Systems Interconnection - Common Management Information Protocol Specification (CMIP) (1992).
84. ISO 8208. Data Communications - X.25 Packet Level Protocol for Data Terminal Equipment (1987).
85. ISO 7498.
86. ISO 8648. Data Communications - Internal Organization of the Network Layer (1988).
87. ISO DTR 10172.
88. CCITT Recommendation G.771. Q-Interfaces and Associated Protocols for Transmission Equipment in the Telecommunications Management Network (TMN) (1988).
89. ITU-T Recommendation G.773. Protocol Suites for Q-Interfaces for Management of Transmission Systems (1990, 93).
90. ISO 8482. Data Communications - Twisted Pair Multipoint Interconnection (1988).
91. EIA-485. Electrical Characteristics of Generators and Receivers for Use in Balanced Digital Multipoint Systems (1983).

92. ISO 3309. Information Processing Systems - Data Communication - High-Level Data Link Control Procedures - Frame Structure (1988).
93. ISO 4335. Information Processing Systems - Data Communication - High-Level Data Link Control Procedures - Consolidation of Elements of Procedures (1987).
94. ISO 7809. Data Communications - High-Level Data Link Control Procedures - Consolidation of Classes of Procedures (1984).
95. ISO 8802-2. Information Processing Systems - Local Area Network - Part 2: Logical Link Control (1988) (то же, что ANSI/IEEE STD.802.2 - 1989).
96. ISO 8802-2/DAD2. Logical Link Control; Addendum 2: Acknowledged Connectionless-mode Service and Protocol, Type 3 Operation (1988).
97. ISO 8802-3. Information Processing Systems - Local Area Network - Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD). Access Method and Physical Layer Specifications (1990) (то же, что ANSI/IEEE 802.3-1990).
98. ISO 8473/AD3. Information Processing Systems - Data Communication - Protocol for Providing the Connectionless-mode Network Service Addendum 3: Provision of the Underlying Service Assumed by ISO 8473 over Point-to-Point Subnetworks which Provide the OSI Data Link Service (1989).
99. CCITT Recommendation X.217. Association Control Service Definition for Open System Interconnection for CCITT Applications (то же, что ISO 8649) (1988).
100. CCITT Recommendation X.227. Association Control Protocol Specification for Open System Interconnection for CCITT Applications (то же, что ISO 8650) (1988).
101. CCITT Recommendation X.219. Remote Operations: Model, Notation and Service Definition (то же, что ISO 9072-1) (1988).
102. CCITT Recommendation X.229. Remote Operations: Protocol Specification (то же, что ISO 9072-2) (1988).
103. ISO 9595 - Information Processing Systems - Open Systems Interconnection - Common Management Information Service Definition (CMIS) (1992).
104. ISO 2110. Data Communications - 25-pin DTE/DCE Interface Connector and Pin Assignments (1989).
105. ISO 2593. Data Communications - 34-pin DTE/DCE Interface Connector and Pin Assignments (1984).
106. ISO 9542. Telecommunications and Information Exchange between Systems - End System to Intermediate System Routing Exchange Protocol for Use in Conjunction with the Protocol for Providing the Connectionless-Mode Network Service (1988).
107. ISO 10589. Telecommunications and Information Exchange between Systems - Intermediate System to Intermediate System Intra-Domain Routing Information Exchange Protocol (1991).
108. ISO 8348/AD2.
109. ITU-T Recommendation X.214. Information technology - Open Systems Interconnection -Transport Service Definition (1993).
110. ITU-T Recommendation X.224. Protocol for Providing the OSI Connection-mode Transport Service (1993).
111. ITU-T Recommendation X.215. Information technology - Open Systems Interconnection - Session Service Definition (1994).
112. ITU-T Recommendation X.225. Information technology - Open Systems Interconnection - Connection-oriented Session Protocol: Protocol Specification (1994).
113. ITU-T Recommendation X.216. Information technology - Open Systems Interconnection - Presentation Service Definition (1994).
114. ITU-T Recommendation X.226. Information technology - Open Systems Interconnection - Connection-oriented Presentation Protocol: Protocol Specification (1994).
115. Synfonet STM-1/4, Release C2.1/3.0. Application Planning. Nokia. 1995.
116. CCITT Recommendation G.810. Considerations on Timing and Synchronization Issues (1988).
117. Greg A Wolff. Network Synchronization: Getting the Best out of SDH. *Telecommunications*, Jan. 1995, pp.43-48.
118. CCITT Recommendation G.811. Timing Requirements at the Outputs of Primary Reference Clocks Suitable for Plesiochronous Operation of International Digital Links (1988).
119. CCITT Recommendation G.812. Timing Requirements at the Outputs of Slave Clocks Suitable for Plesiochronous Operation of International Digital Links (1988).
120. Bellcore GR-2830-CORE (Generic Requirements document for Primary Reference Sources relevant to SONET).
121. Synfonet STM-1/4, Release 3.0. Product Description. Nokia. 1995.
122. Syncom. eNM. General Description. ECI Telecom, 1996.
123. ITU-T Recommendation G.831. Management Capabilities of Transport Networks Based on the Synchronous Digital Hierarchy (SDH) (1993, 8.96).
124. ITU-T Recommendation G.832. Transport of SDH Elements on PDH Networks: Frame and Multiplexing Structures (1993, 11.95).
125. ITU-T Recommendation G.841. Types and Characteristics of SDH Network Protection Architectures (7.95).
126. ITU-T Recommendation G.861. Principles and Guidelines for the Integration of Satellite and Radio Systems in SDH Transport Networks (8.96).
127. Першиков В.И., Савинков В.М. Толковый словарь по информатике. - 2-е изд. - М.: Финансы и статистика, 1995. - 544 с.
128. Вычислительная техника и новые информационные технологии. Русско-английский терминологический словарь. Госстандарт России. Изд. ВНИИКИ. М.: 1992. - 132 с.
129. МСЭ-Т. Рекомендация I.432. Цифровая сеть с интеграцией служб (ЦСИС). Стыки "пользователь-сеть" в ЦСИС. Стык "пользователь-сеть" в Ш-ЦСИС - спецификация физического уровня (Редакция 3/93).

130. Webster's Third New International Dictionary of the English Language, Unabridged. Merriam-Webster Inc. Publishers, Springfield, 1981. 2663 pp.
131. Глоссарий МККТТ - Синяя книга, том I - выпуск 1.3 "Термины и определения. Сокращения и акронимы". ЦНИИС, 1993.
132. Современный англо-русский словарь по вычислительной технике. Изд. "Лори", 1996. - 588с.
133. ITU-T Recommendation B.13. Terms and Definitions. Appendix 11 (1988, 93).
134. ITU-T Recommendation G.100. Definitions Used in Recommendations on General Characteristics of International Telephone Connections and Circuits (1993).
135. ITU-T Recommendation G.701. Vocabulary of Digital Transmission and Multiplexing, and Pulse Code Modulation (PCM) Terms (1988, 93).
136. CCITT Recommendation E.163. Numbering Plan for the International Telephone Service (1988).
137. Концепция развития связи Российской Федерации. Под ред. В.Б.Булгака и Л.Е.Варакина. М.: Радио и Связь, 1995. - 224 с.
138. Советский энциклопедический словарь. Изд. 4-е. М.: "Сов. энциклопедия", 1989. - 1632 с.
139. ITU-T Recommendation E.164. Numbering Plan for the ISDN Era (включает рекомендацию CCITT E.163, см. [136]) (1991).
140. Блэк Ю. Сети ЭВМ: протоколы, стандарты, интерфейсы. М., "Мир", 1990, с.144.
141. ITU-T Recommendation G.650. Definition and Test Methods for the Relevant Parameters of Single-Mode Fibres (3.93).
142. ITU-T Recommendation G.652. Characteristics of a Single-Mode Optical Fibre Cable (3.93).
143. ITU-T Recommendation G.653. Characteristics of a Dispersion-shifted Single-Mode Optical Fibre Cable (3.93).
144. ITU-T Recommendation G.654. Characteristics of a 1550 nm Wavelength Loss-minimized Single-Mode Optical Fibre Cable (3.93).
145. ITU-T Recommendation G.655. Characteristics of a Non-Zero Dispersion Single-Mode Optical Fibre Cable (10.96).
146. ITU-T Recommendation G.661. Definition and Test Methods for the Relevant Generic Parameters of Optical Fibre Amplifiers (11.96).
147. ITU-T Recommendation G.662. Generic Characteristics of Optical Fibre Amplifier Devices and Sub-systems (7.95).
148. ITU-T Recommendation G.663. Application Related Aspects of Optical Fibre Amplifier Devices and Sub-systems (10.96).
149. ITU-T Recommendation G.681. Functional Characteristics of Interoffice and Long-haul Line Systems Using Optical Amplifiers, Including Optical Multiplexers (10.96).
150. ITU-T Recommendation G.707. Network Node Interface for the Synchronous Digital Hierarchy (SDH) (3.96). Replaces G.707, G.708, G.709.
151. ITU-T Recommendation G.774.1. Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Performance Monitoring for the Network Element View (11.96).
152. ITU-T Recommendation G.774.2 Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Configuration of the Payload Structure for the Network Element View (11.96).
153. ITU-T Recommendation G.774.3. Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Management of Multiplex-section Protection for the Network Element View (11.96).
154. ITU-T Recommendation G.774.4. Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Management of the Subnetwork Connection Protection for the Network Element View (11.96).
155. ITU-T Recommendation G.774.5. Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Management of Connection Supervision Functionality (HCS/LCS) for the Network Element View (11.96).
156. ITU-T Recommendation G.774.7. Synchronous Digital Hierarchy (SDH) - G.774 Implementor's Guide (11.96).
157. ITU-T Recommendation G.780. Vocabulary of Terms for Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Networks and Equipment (11.94).
158. ITU-T Recommendation G.785. Characteristics of a Flexible Multiplexer in a Synchronous Digital Environment (11.96).
159. ITU-T Recommendation G.803. Architectures of the Transport Networks Based on the Synchronous Digital Hierarchy (SDH) (3.93)
160. РТМ по построению тактовой сетевой синхронизации (ТСС) на цифровой сети связи Российской Федерации. М.: ЦНИИС, 1995.
161. ITU-T Recommendation G.804. ATM Cell Mapping into Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH) (11.93).
162. Слепов Н.Н. Введение в технологию АТМ. "Мир ИТ", 1997, №2 (подготовлена к публикации).
163. ITU-T Recommendation G.813. Timing Characteristics of SDH Equipment Slave Clocks (SEC) (8.96).
164. ITU-T Recommendation G.825. The Control of Jitter and Wander within Digital Networks which are Based on the Synchronous Digital Hierarchy (SDH) (3.93).
165. Семенов Н.Н., Шмалько А.В.. Терминология сетей синхронной цифровой иерархии. "Сети и системы связи", 1996, №8, с.58-63.
166. ГОСТ 22348-86. Система связи автоматизированная единая. Термины и определения.