

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

**Федеральное государственное
образовательное бюджетное учреждение
высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»**

**Н. Н. Кулева,
Е. Л. Федорова**

**Перспективные технологии
в инфокоммуникационных системах.
Архитектура SDN**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

СПб ГУТ)))

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2016**

УДК 621.316.5
621.395

Рецензенты:

кандидат технических наук, профессор кафедры Фотоники и Линий связи

Лев Николаевич Кочановский

кандидат технических наук, начальник центра управления сетью ЗАО «РАСКОМ»

Дмитрий Александрович Никитин

*Утверждено редакционно-издательским советом СПбГУТ
в качестве учебного пособия*

Кулева, Н. Н.

Перспективные технологии в инфокоммуникационных системах. Архитектура SDN: учебное пособие / Н. Н. Кулева, Е. Л. Федорова; СПбГУТ. – СПб., 2016. – 67 с.

Приведена архитектура транспортных сетей синхронной цифровой иерархии. Рассмотрены этапы мультиплексирования при формировании агрегатных сигналов STM-N, sSTM-2n, sSTM-1k и при организации конкатенированных трактов виртуальных контейнеров. Указаны ассоциации сетевых слоев при передаче сигналов контроля качества передачи и аварийных сигналов. Приведены алгоритмы функций адаптации, завершения трейла и соединения в сетевых слоях.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, профиль Оптические системы и сети связи, квалификация (степень) бакалавр.

Издание второе.

**УДК 621.316.5
621.395**

© Кулева Н. Н., Федорова Е. Л., 2016

© Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», 2016

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

A	(Adaptation) – адаптация;
A1, A2	- байты цикловой синхронизации для STM ;
A1-A4	- байты цикловой синхронизации для sSTM ;
ADM	(Add/Drop Multiplexer) – мультиплексор ввода-вывода;
AIS	(Alarm Indication Signal) - сигнал индикации аварийного состояния;
AMI	(Alternative Mark Inversion) – код с чередованием полярности;
AP	(Access Point) – точка доступа;
ATM	(Asynchronous Transfer Mode) – асинхронный режим передачи;
AU	(Administrative Unit) – административный блок;
AU-3	(Administrative Unit level 3) – административный блок третьего порядка;
AU-4	(Administrative Unit level 4) – административный блок четвертого порядка;
AU-AIS	(Administrative Unit Alarm Indication Signal) - сигнал индикации аварийного состояния административного блока;
AUG	(Administrative Unit Group) – группа административных блоков;
AU-LOP	(Administrative Unit Loss Of Pointer) - потеря указателя административного блока;
AU PTR	(Administrative Unit Pointer) – указатель административного блока;
B1	-байт контроля ошибок регенерационной секции;
B2	- байт контроля ошибок мультиплексной секции;
B3	- байт контроля ошибок трактов виртуальных контейнеров VC-3, VC-4 ;
B3ZS	(Bipolar with 3 Zero Substitution) - биполярный код с замещением трех нулей;
B8ZS	(Bipolar with 8 Zero Substitution) - биполярный код с замещением восьми нулей;
ВIP	(Bit Interleaved Parity) – проверка на четность чередующихся бит (проверка на четность);
ВIP-2	(Bit Interleaved Parity -2) – проверка на четность чередующихся бит с номерами 1 и 2 (контроль ошибок в слое трактов низкого порядка);
ВIP-8	(Bit Interleaved Parity - 8) – проверка на четность чередующихся бит с номерами 1, 2...8 (контроль ошибок в регенерационной секции и трактах высокого порядка);
ВIP-24xN	(Bit Interleaved Parity -24xN) – проверка на четность чередующихся бит с номерами 1, 2, 3...24xN (контроль ошибок в мультиплексной секции);
C	(Connection) – соединение;

C	(Container) – контейнер;
C2	- байт метки сигнала;
C-11	(Container of level 11) - контейнер первого уровня. Служит для размещения информации со скоростью 1544 кбит/с;
C-12	(Container of level 12) - контейнер первого уровня. Служит для размещения информации со скоростью 2048 кбит/с;
C-2	(Container of level 2) - контейнер второго уровня. Служит для размещения информации со скоростью 6312 кбит/с;
C-31	(Container of level 31) - контейнер третьего уровня. Служит для размещения информации со скоростью 34368 кбит/с; Служит для размещения информации со скоростью 34368 кбит/с;
C-32	(Container of level 32) - контейнер третьего уровня. Служит для размещения информации со скоростью 44736 кбит/с;
C-4	(Container of level 4) - контейнер четвертого уровня. Служит для размещения информации со скоростью 139264 кбит/с;
CP	(Connection Point) – точка соединения;
D1-D12	- байты встроенного канала управления;
DWDM	(Dance Wavelength Division Multiplexing) – плотное мультиплексирование с разделением по длинам волн;
E-11	- цифровой сигнал первого уровня плезиохронной цифровой иерархии в Северной Америке и Японии;
E-12	- цифровой сигнал первого уровня плезиохронной цифровой иерархии в Европе и Австралии;
E-2	- цифровой сигнал второго уровня плезиохронной цифровой иерархии в Северной Америке и Японии;
E-31	- цифровой сигнал третьего уровня плезиохронной цифровой иерархии в Европе и Австралии;
E-32	- цифровой сигнал третьего уровня плезиохронной цифровой иерархии в Северной Америке;
E-4	- цифровой сигнал четвертого уровня плезиохронной цифровой иерархии в Европе и Австралии;
F2, F3	- байты каналов пользователей тракта;
G1	- байт статуса или состояния тракта виртуального контейнера высокого порядка;
GFP	(Generic Framing Procedure) – основная процедура для формирования кадров, позволяющая осуществлять более эффективное отображение данных в сетях SDH;
H1, H2, H3	– байты указателя административного блока;
H4	- байт индикатора положения;
HDB-3	(High Density Bipolar-3) – код высокой плотности единиц с замещением четырех нулей;

HP PLM	(Higher Order Path Payload Mismatch) – несовпадение полезной нагрузки тракта высокого порядка;
HP TIM	(Higher Order Path Trace Identifier Mismatch) - несовпадение идентификатора трассы тракта высокого порядка;
HPA	(Higher order Path Adaptation) - адаптация тракта высокого порядка;
HPC	(Higher order Path Connection) – соединение тракта высокого порядка;
HPT	(Higher order Path Termination) - завершение тракта высокого порядка;
IP	(Interworking Protocol) – протокол взаимодействия (протокол сети Internet);
J0	- байт идентификатора трассы регенерационной секции;
J1	- байт идентификатора трассы тракта высокого порядка;
J2	- байт идентификатора трассы тракта низкого порядка;
K1 и K2	-байты каналов автоматического защитного переключения APS (Automatic Protection Switching) для защиты мультиплексной секции и индикации дефектов удаленного конца мультиплексной секции (MS RDI);
K3	- байт канала автоматического защитного переключения APS (Automatic Protection Switching) для защиты на уровне трактов VC-4/VC-3 ;
K4	- байт канала автоматического защитного переключения APS (Automatic Protection Switching) для защиты на уровне трактов низкого порядка;
LOF	(Loss Of Frame) – потеря цикла;
LOS	(Loss Of Signal) – потеря сигнала;
LPA	(Lower order Path Adaptation) - адаптация к слою тракта низкого порядка;
LPC	(Lower order Path Connection) - соединение тракта низкого порядка;
LP PLM	(Low order Path Payload Mismatch) – несовпадение полезной нагрузки тракта низкого порядка;
LPT	(Lower order Path Termination) - завершение тракта низкого порядка;
LP TIM	(Low order Path Trace Identifier Mismatch) – несовпадение идентификатора трассы тракта низкого порядка;
M1	- байт индикации ошибки удаленного конца мультиплексной секции (MS REI);
MSA	(Multiplex Section Adaptation) - адаптация к слою мультиплексной секции;
MS-AIS	(Multiplex Section Alarm Indication Signal) – индикация аварийного состояния мультиплексной секции;

MSON	(M ultiplex S ection O verheard) – заголовок мультиплексной секции;
MST	(M ultiplex S ection T ermination) - завершение мультиплексной секции;
N1	- байт оператора сети для обеспечения функции контроля тандемного соединения для транспортирования VC-4-Xc/VC-4/VC-4 ;
N2	- байт оператора сети для обеспечения функции контроля тандемного соединения для транспортирования VC-2/VC-12/VC-11 ;
NRZ	(N ot R eturn Z ero) – формат символов без возвращения к нулю;
OTM	(O ptical T ime M ultiplexing) – оптическое мультиплексирование с разделением во времени;
PDH	(P lesiochronous D igital H ierarchy) – плезиохронная цифровая иерархия;
PPI	(P DH P hysical I nterface) – физический интерфейс сигнала PDH ;
PPT	(P DH P hysical T ermination) – завершение тракта PDH ;
POH	(P ath O verhead) – трактовый заголовок;
PTR	(P ointer) – указатель;
RDI	(R emote D efect I ndication) – индикация дефектов удаленного конца;
REI	(R emote E rror I ndication) – индикация ошибок удаленного конца;
RSOH	(R egenerator S ection O verhead) – заголовок регенерационной секции;
RST	(R egenerator S ection T ermination) – завершение регенерационной секции;
S1	-байт статуса синхронизации;
SDH	(S ynchronous D igital H ierarchy) – синхронная цифровая иерархия;
SOH	(S ection O verhead) – секционный заголовок;
SP RING	(S hared P rotection R ing) – «кольцо» с совместно используемой защитой;
SPI	(S DH P hysical I nterface) – физический интерфейс синхронной цифровой иерархии;
STM-0	(S ynchronous T ransport M odule of level 0) – синхронный транспортный модуль нулевого уровня SDH (соответствует Sonet OC-1) со скоростью 51,840 Мбит/с;
sSTM-1k	(S ub S ynchronous T ransport M odule level 1k) – субсинхронный транспортный модуль уровня 1k, где k=1,2,4,8,16 (при k=1 скорость sSTM-11 равна 2880 кбит/с);

- sSTM-2n** (**Sub Synchronous Transport Module level 2n**) – субсинхронный транспортный модуль уровня 2n, где n=1,2,4 (при n=1 скорость **sSTM-21** равна 7488 кбит/с);
- STM-1** (**Synchronous Transport Module level 1**) – синхронный транспортный модуль первого уровня **SDH** со скоростью 155,520 Мбит/с;
- STM-4** (**Synchronous Transport Module level 4**) – синхронный транспортный модуль четвертого уровня **SDH** со скоростью 620,080 Мбит/с;
- STM-16** (**Synchronous Transport Module level 16**) – синхронный транспортный модуль шестнадцатого уровня **SDH** со скоростью 2488,320 Мбит/с;
- STM-64** (**Synchronous Transport Module level 64**) – синхронный транспортный модуль 64 уровня **SDH** со скоростью 9,95328 Гбит/с;
- STM-256** (**Synchronous Transport Module level 256**) – синхронный транспортный модуль 256 уровня **SDH** со скоростью 39,81312 Гбит/с;
- STM-N** (**Synchronous Transport Module level N**) – синхронный транспортный модуль **SDH** уровня **N**, где N=1, 4, 16, 64, 256;
- T** (**Termination**) – завершение;
- TC** (**Tandem Connection**) – тандемное соединение;
- TCP** (**Termination Connection Point**) – завершающая точка соединения;
- TM** (**Terminal Multiplexer**) – оконечный мультиплексор;
- TU-11** (**Tributary Unit level 11**) – трибутарный блок, соответствующий виртуальному контейнеру **VC-11** в схеме мультиплексирования **SDH**;
- TU-12** (**Tributary Unit level 12**) – трибутарный блок, соответствующий виртуальному контейнеру **VC-12** в схеме мультиплексирования **SDH**;
- TU-2** (**Tributary Unit level 2**) – трибутарный блок, соответствующий виртуальному контейнеру **VC-2** в схеме мультиплексирования **SDH**;
- TU-3** (**Tributary Unit level 3**) – трибутарный блок, соответствующий виртуальному контейнеру **VC-3** в схеме мультиплексирования **SDH**;
- TU-AIS** (**Tributary Unit Alarm Indication Signal**) – индикация аварийного состояния трибутарного блока;
- TUG-2** (**Tributary Unit Group level 2**) – группа трибутарных блоков второго порядка;
- TUG-3** (**Tributary Unit Group level 3**) – группа трибутарных блоков третьего порядка;

TU-LOP	(Tributary Unit Loss of Pointer) – потеря указателя трибутарного блока;
TU PTR	(Tributary Unit Pointer) – указатель трибутарного блока;
TU-n	(Tributary Unit level n) – трибутарный блок уровня n;
V1- V4	– байты указателя трибутарных блоков TU-11, TU-12, TU-2 ;
V5	- первый байт трактового заголовка виртуальных контейнеров VC-11, VC-12, VC-2 ;
VC-11	(Virtual Container level 11) - виртуальный контейнер первого уровня для размещения сигнала со скоростью 1544 кбит/с;
VC-11-Xc	(Virtual Container level 12-Xc) - конкатенированный виртуальный контейнер первого уровня для размещения сигнала со скоростью 1544 кбит/с увеличенной в X раз полезной нагрузкой, где X=2,...64;
VC-12	(Virtual Container level 12) - виртуальный контейнер первого уровня для размещения сигнала со скоростью 2048 кбит/с;
VC-12-Xc	(Virtual Container level 12-Xc) - конкатенированный виртуальный контейнер первого уровня для размещения сигнала со скоростью 2048 кбит/с увеличенной в X раз полезной нагрузкой, где X=2,...64;
VC-2	(Virtual Container level 2) - виртуальный контейнер второго уровня;
VC-2-Xc	(Virtual Container level 2-Xc) - конкатенированный виртуальный контейнер второго уровня с увеличенной в X раз полезной нагрузкой, где X=2...7;
VC-3	(Virtual Container level 3) - виртуальный контейнер третьего уровня;
VC-3-Xc	(Virtual Container level 3-Xc) - конкатенированный виртуальный контейнер третьего уровня для размещения сигнала с увеличенной в X раз полезной нагрузкой;
VC-4	(Virtual Container level 4) - виртуальный контейнер четвертого уровня;
VC-4-Xc	(Virtual Container level 4-Xc) - конкатенированный виртуальный контейнер четвертого уровня с увеличенной в X раз полезной нагрузкой, где X=2...256;
VC-n-Xc	(Virtual Container level n-Xc) - конкатенированный виртуальный контейнер n уровня с увеличенной в X раз полезной нагрузкой,
WDM	(Wavelength Division Multiplexing) – мультиплексирование с разделением по длинам волн;

1. АРХИТЕКТУРА И АССОЦИИ СЛОЕВ ТРАНСПОРТНЫХ ЦИФРОВЫХ СЕТЕЙ

Телекоммуникационные транспортные сети включают сети передачи информации, сети тактовой синхронизации и сети контроля и управления.

Непосредственно архитектура транспортных сетей имеет трехслойную структуру, состоящую из канального слоя, слоя трактов и слоя секций.

Архитектурное представление транспортных сетей позволяет рассматривать и анализировать процессы передачи сигналов, методы формирования трактов, работу мультиплексоров и другие сетевые проблемы в целом и по отдельным процедурам, и в этом случае все процессы, происходящие при функционировании сетей, представляются как элементарные или составные функции адаптации, завершения трейла и соединения, а границы слоев как типовые интерфейсы, либо контрольные точки.

Под элементарной функцией понимается функция, которая не может быть разделена на более простые функции; другими словами - она неделима в отношении сети.

Функция адаптации – это элементарная функция, которая передает собранную информацию от слоя к слою путем изменения ее представления.

Функция завершения трейла – также элементарная функция в пределах слоя, которая производит добавление и чтение служебной информации для наблюдения и контроля адаптированной информации.

Функция соединения – элементарная функция в пределах слоя, обеспечивающая маршрутизацию сигналов. Функция соединения не изменяет количество информации, однако в функциях соединения Международными Рекомендациями установлены ограничения на возможности соединений.

Понятие **составной функции** включает функции, которые представляют совокупность элементарных функций в пределах слоя. Например, комбинация нескольких элементарных функций адаптации в пределах слоя – это составная функция адаптации. Составной функцией может быть также комбинация функций адаптации и завершения.

Главной составной функцией называется функция, которая представляет совокупность элементарных или составных функций в пределах больше одного слоя.

Кроме того, при необходимости в любом слое может быть организован подслой. Так, например, при организации тандемных соединений (ТС) и при организации защиты вводятся подслои тандемного соединения и подслои защиты.

Прохождение компонентного сигнала по участку транспортной сети, включающему оконечные мультиплексоры (ТМ) или мультиплексоры ввода/вывода (ADM), с полным описанием элементов архитектуры сети представлено в Учебном пособии Н.Н.Кулевой и Е.Л.Федоровой «Транспортные технологии SDH и OTN».

Ассоциации (взаимосвязи) сетевых слоев, состоящих в отношениях клиент/сервер, позволяют оценить функционирование каждого слоя сети в отдельности и всю сеть как единое целое.

В табл. 1.1 приведены примеры ассоциаций сетевых слоев транспортных цифровых сетей с параметрами слоев клиента и ссылками на соответствующие рисунки.

Архитектура сети синхронной цифровой иерархии содержит сети слоев трактов виртуальных контейнеров низкого и высокого порядков, а также сети слоев секций (мультиплексных, регенерационных и физической среды передачи).

В сетях слоев трактов включаются функции адаптации, завершения трейла и соединения. Функции соединения реализуются на матрицах соединений. Процесс управления позволяет изменить маршрутизацию в сети. В сетях слоев трактов включаются функции соединения для обеспечения защиты (1:N).

В сетях слоев секций включаются функции адаптации и завершения трейла. В сетях слоев мультиплексных секций используются функции соединения для обеспечения защиты.

На рис. 1.1 показан фрагмент транспортной сети **SDH** с топологией «точка – точка». Компонентными сигналами являются потоки **E-4**. Слой **P-4**, как слой клиента, поддерживается слоем сервера – слоем тракта **VC-4**. Граница слоев **P-4 / VC-4** показана штрихпунктирной линией. Далее тракт **VC-4**, как клиент в следующей ассоциации, поддерживается сервером – мультиплексной секцией **STM-N**. Граница этих слоев также показана штрихпунктирной линией.

На рис. 1.2. показан фрагмент транспортной сети **SDH**, в которой компонентными сигналами являются потоки **E-n (n=11, 12, 2, 3)**. Слои мультиплексной и регенерационной секций декомпозированы в один слой. На рисунке показано четыре ассоциации слоев. Сервером для тракта низкого порядка **VC-n** является тракт высокого порядка **VC-4**.

На рис. 1.3 сервером для тракта низкого порядка **VC-n** является слой мультиплексной секции **sSTM-1k** или **sSTM-2n**.

Таблица 1.1

Примеры ассоциаций слоев клиент/сервер транспортных цифровых сетей

№	Слой клиента	Слой сервера	Характеристическая информация слоя клиента	См. рис.
1	2	3	4	5
1	Тракт 1544 кбит/с, асинхронный	Тракт VC-11	1544 кбит/с \pm 50 ppm	1.2, 1.3
2	Тракт 1544 кбит/с, синхронный по байтам	Тракт VC-11	1544 кбит/с, номин., структура цикла соответствует G.704	1.2, 1.3
3	Тракт 2048 кбит/с, асинхронный	Тракт VC-12	2048 кбит/с \pm 50 ppm	1.2, 1.3
4	Тракт 2048 кбит/с, синхронный по байтам	Тракт VC-12	2048 кбит/с, номин., структура цикла соответствует G.704	1.2, 1.3
5	Тракт 6312 кбит/с, асинхронный	Тракт VC-2	6312 кбит/с \pm 30 ppm	1.2, 1.3
6	Тракт 34368 кбит/с, асинхронный	Тракт VC-3	34368 кбит/с \pm 20 ppm	1.2
7	Тракт 44736 кбит/с, асинхронный	Тракт VC-3	44736 кбит/с \pm 20 ppm	1.2
8	Тракт 139264 кбит/с, асинхронный	Тракт VC-4	139264 кбит/с \pm 15 ppm	1.1
9	Виртуальные тракты ATM	Тракты VC-11, VC-12, VC-2, VC-3, VC-4, VC-4-Xc, VC-4-Xv	Ячейки 53 байта	
10	Ethernet	Тракты VC-11, VC-12, VC-2, VC-3, VC-4, VC-11-Xv, VC-12-Xv, VC-2-Xv, VC-3-Xv? VC-4-Xc, VC-4-Xv	Кадры GFP	
11	Тракт VC-11	Тракт VC-4	Сигнал VC-11 со смещенным циклом	1.2
12	Тракт VC-12	Тракт VC-4	Сигнал VC-12 со смещенным циклом	1.2
13	Тракт VC-2	Тракт VC-4	Сигнал VC-2 со смещенным циклом	1.2
14	Тракт VC-3	Тракт VC-4	Сигнал VC-3 со смещенным циклом	1.2
15	Тракт VC-11	Мультиплексная секция sSTM-2n или sSTM-1k	Сигнал VC-11 со смещенным циклом	1.3
16	Тракт VC-12	Мультиплексная секция sSTM-2n или sSTM-1k	Сигнал VC-12 со смещенным циклом	1.3
17	Тракт VC-2	Мультиплексная секция sSTM-2n	Сигнал VC-2 со смещенным циклом	1.3

18	Тракт VC-4	Мультиплексная секция STM-N, N=1, 4, 16, 64, 256	Сигнал VC-4 со смещенным циклом	1.1, 1.2, 1.4
19	Мультиплексная секция STM-N	Регенерационная секция STM-N	Сигналы STM-N, N=1, 4, 16, 64, 256	1.1, 1.4
20	Мультиплексная секция sSTM-2n	Регенерационная секция sSTM-2n	Сигналы sSTM-2n, n=1, 2, 4	1.3
21	Мультиплексная секция sSTM-1k	Регенерационная секция sSTM-1k	Сигналы sSTM-1k, k=1, 2, 4, 8, 16	1.3
22	Регенерационная секция STM-1	Слой секции физической среды STM-1, оптическое волокно	Скремблированный сигнал STM-1, формат NRZ	1.1
23	Регенерационная секция STM-1	Слой секции физической среды STM-1, коаксиальная пара, внутриузловое соединение	Скремблированный сигнал STM-1, код CMI, формат NRZ	1.1
24	Регенерационная секция STM-N	Слой секции физической среды STM-N, оптическое волокно	Скремблированный сигнал STM-N, формат NRZ	1.1, 1.4

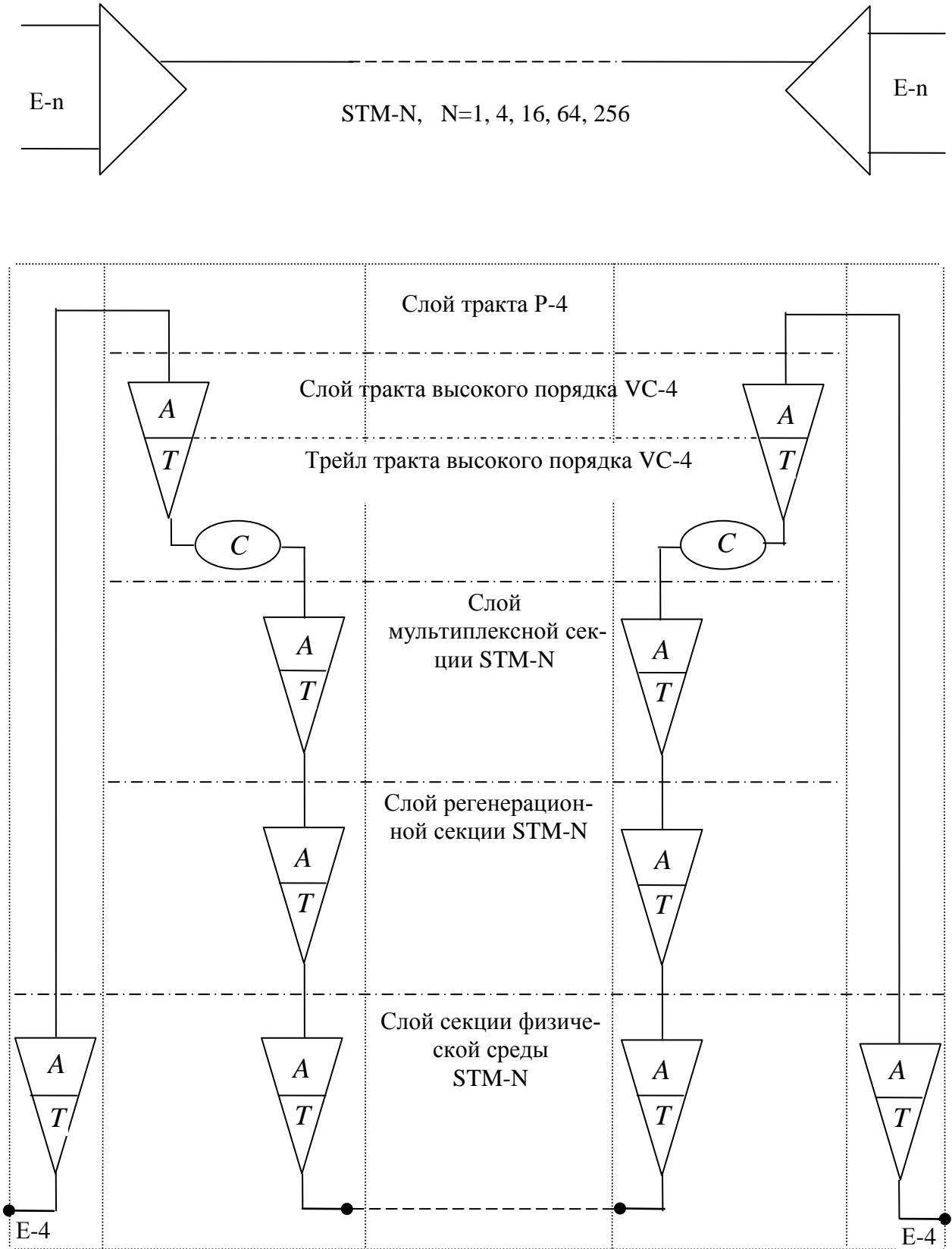


Рис. 1.1. Фрагмент транспортной сети синхронной цифровой иерархии с трактами виртуальных контейнеров высокого порядка VC-4

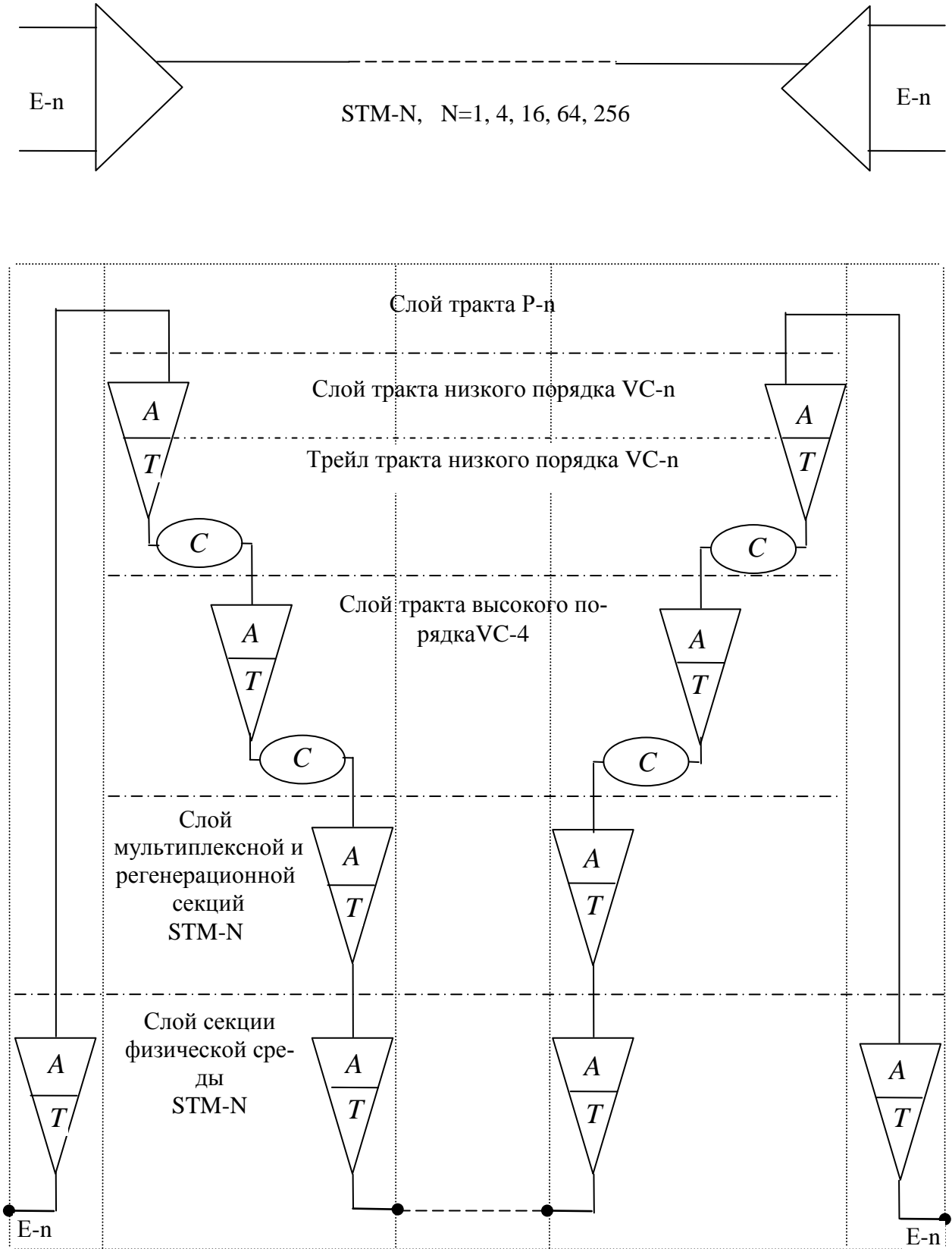


Рис. 1.2. Фрагмент транспортной сети синхронной цифровой иерархии с трактами виртуальных контейнеров низкого и высокого порядков, n = 11, 12, 2, 3

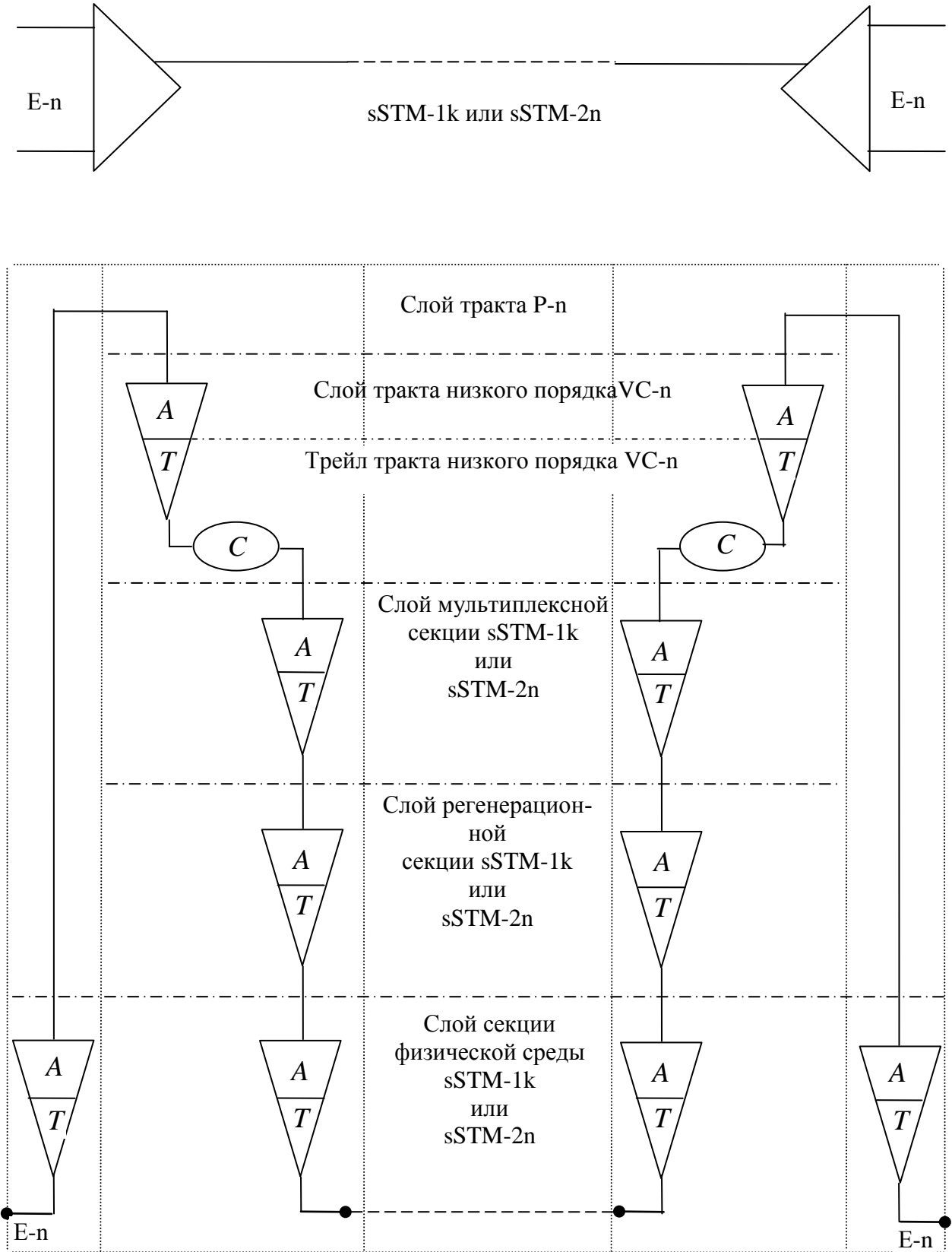


Рис. 1.3. Фрагмент транспортной сети синхронной цифровой иерархии с трактами виртуальных контейнеров низкого порядка и агрегатными сигналами sSTM-1k или sSTM-2n.

Примечание: в названиях виртуальных контейнеров $n = 11, 12, 2$,
в названиях агрегатных сигналов вида sSTM-2n, $n = 1, 2, 4$.

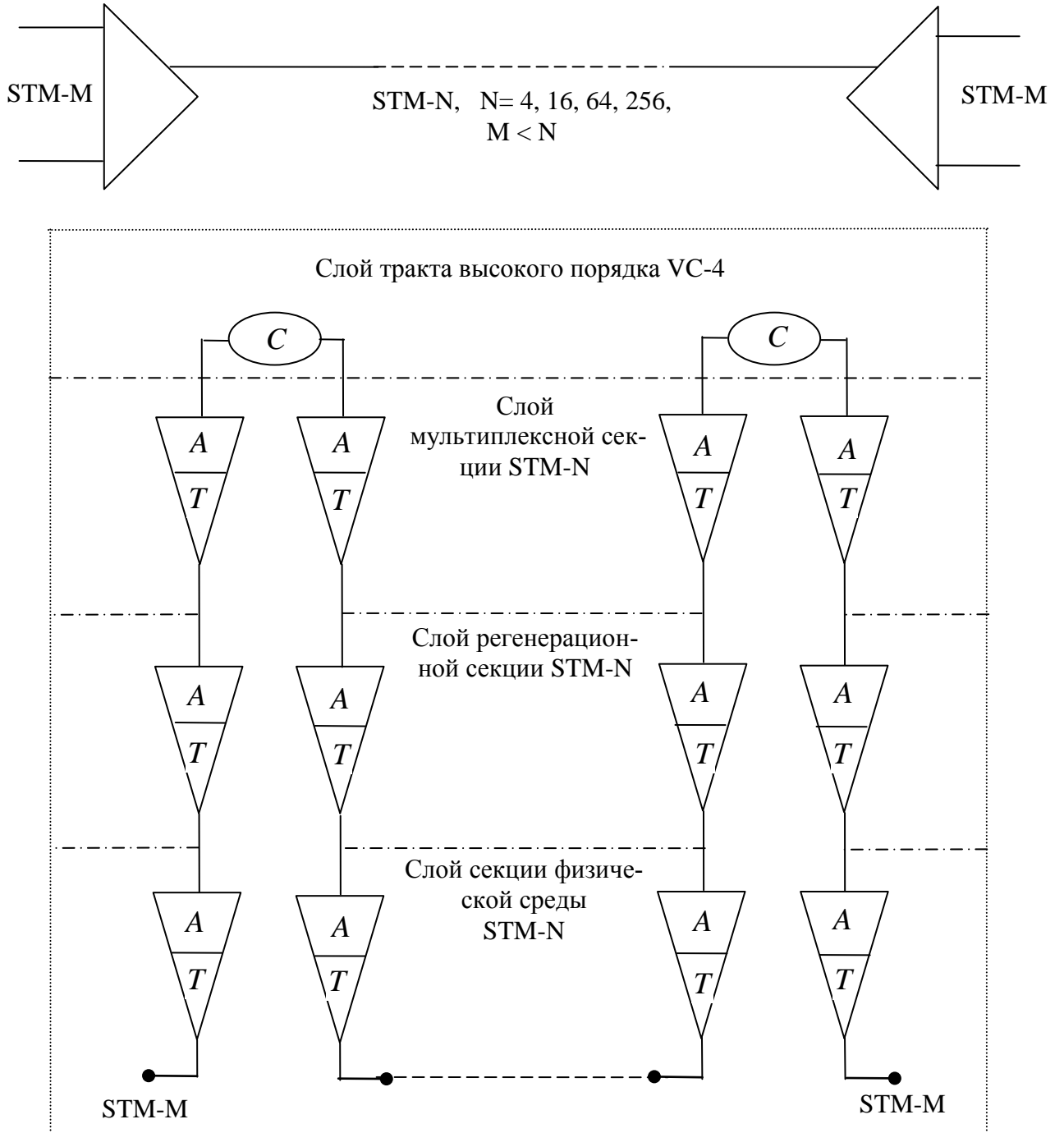


Рис. 1. 4. Фрагмент транспортной сети синхронной цифровой иерархии с трактами виртуальных контейнеров высокого порядка VC-4

Задачи

1. 1. Для транспортной сети с топологией «точка–точка» представить графически, используя элементы архитектуры сетевых слоев, прохождение заданного компонентного сигнала.

Номер варианта	Компонентные сигналы	Агрегатные сигналы	Тракты в сети VC-n
01	E-11	sSTM-11	VC-11
02	E-12	sSTM-116	VC-12
03	E-12	sSTM-28	VC-12
04	E-11	STM-1	VC-11
05	E-12	STM-4	VC-12
06	E-3	STM-16	VC-3
07	E-3	STM-0	VC-3
08	E-4	STM-256	VC-4
09	E-2	STM-64	VC-2
10	E-3	STM-16	VC-3

1.2. Для транспортной сети с топологией «точка–точка» представить графически, используя элементы архитектуры сетевых слоев, прохождение заданного компонентного сигнала.

Номер варианта	Компонентные сигналы	Агрегатные сигналы	Тракты в сети VC-n
01	sSTM-11	STM-0	VC-12
02	sSTM-116	STM-4	VC-12
03	sSTM-21	STM-1	VC-11
04	sSTM-24	STM-4	VC-2
05	STM-1	STM-4	VC-2
06	STM-4	STM-256	VC-4
07	STM-0	STM-16	VC-3
08	STM-16	STM-64	VC-3
09	STM-16	STM-256	VC-4
10	STM-64	STM-256	VC-4

2. СТРУКТУРА МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ

Телекоммуникационные транспортные сети синхронной цифровой иерархии строятся с использованием мультиплексоров и демультимплексоров. Структуры циклов сигналов соответствуют вариантам основной схемы мультиплексирования по данным Рекомендации МСЭ-Т G.707(01/2007) (рис. 2.1).

Основная структура мультиплексирования цифровых сигналов в **SDH** построена таким образом, что каждая следующая иерархическая скорость сигнала синхронного транспортного модуля **STM-N** ровно в четыре раза превышает предыдущую скорость (исключением является **STM-0**, скорость которого составляет третью часть от скорости **STM-1**). В табл. 2.1 приведены наименования агрегатных сигналов в сети, значения их скоростей передачи, а также число байтов заголовков и полезной нагрузки на интервале времени, равном длительности цикла 125 мкс. Кроме того, приведено максимальное количество виртуальных контейнеров **VC-12** для размещения в поле полезной нагрузки каждого из агрегатных сигналов.

Как известно, транспортные телекоммуникационные сети предназначены для организации типовых каналов и трактов. Типовыми трактами в сетях синхронной цифровой иерархии являются тракты виртуальных контейнеров **VC-n**.

Длительности циклов виртуальных контейнеров равны 125 мкс или 500 мкс. Начало циклов виртуальных контейнеров определяется временем передачи первого байта трактового заголовка.

В технологии **SDH** различают виртуальные контейнеры высокого и низкого порядков или уровней. Указатели административных и трибутарных блоков отмечают начало циклов **VC-n** относительно цикла **STM-N** или относительно цикла виртуального контейнера высокого порядка с целью выделения потоков **VC-n** при демультимплексировании без дополнительных промежуточных ступеней демультимплексирования, как это происходит в трактах **PDH**.

Если начало цикла **VC-n** отмечается в административных блоках, то такие тракты – тракты высокого порядка, если в трибутарных блоках то – низкого.

На схеме рис. 2.1 показано, что сигнал **STM-N** формируется из группы административных блоков (**AUG**), полученной побайтовым мультиплексированием сигналов административных блоков четвертого порядка **AU-4**, в которых отмечается начало циклов сигналов **VC-4**, поэтому **VC-4** – виртуальные контейнеры высокого порядка. Если сигнал **STM-N** формируется из группы административных блоков третьего порядка **AU-3**, в которых отмечается начало циклов **VC-3**, то такие **VC-3** также будут отнесены к виртуальным контейнерам высокого порядка.

Сигналы **VC-4** и **VC-3** могут формироваться также из групп трибутарных блоков **TUG-2** или **TUG-3**, полученных побайтовым мультиплексированием трибутарных блоков **TU-n**, которые отмечают начало циклов **VC-n**, и в этом случае эти виртуальные контейнеры называются контейнерами низкого порядка. Все **VC-n**, размещенные в левой части схемы рис. 2.1, **VC-4**, **VC-3** – виртуальные контейнеры высокого порядка, а размещенные в правой части этого рисунка **VC-3**, **VC-2**, **VC-12**, **VC-11** – виртуальные контейнеры низкого порядка. Таким образом, в сети **SDH** организуются типовые тракты виртуальных контейнеров высокого и низкого порядков **VC-n**.

Таблица 2.1

Иерархические скорости синхронной цифровой иерархии

Уровень SDH	Агрегатные сигналы STM-N	Заголовок, байты	Полезная нагрузка, байты	Скорость, кбит/с	Макс. количество VC-12
0 или 1/3	STM-0	27	783	51 840	21
1	STM-1	81	2 349	155 520	63
4	STM-4	324	9 396	622 080	252
16	STM-16	1 296	37 584	2 488 320	1 008
64	STM-64	5 184	150 336	9 953 280	4 032
256	STM-256	20 736	601 344	39 813 124	16 128

Таблица 2.2

Скорости сигналов sSTM-1k и sSTM-2n

k (Структура TU 12)	Агрегатные сигналы sSTM-1k, sSTM-2n	Заголовок, байты	Полезная нагрузка, байты	Скорость, кбит/с	Макс. количество VC-12
1	sSTM-11	9	36	2 880	1
2	sSTM-12	9	72	5 184	2
4	sSTM-14	9	144	9 792	4
8	sSTM-18	9	288	19 008	8
16	sSTM-116	9	576	37 440	16
n (Структура TUG 2)					
1	sSTM-21	9	108	7 488	3
2	sSTM-22	9	216	14 400	6
4	sSTM-24	9	432	28 224	12

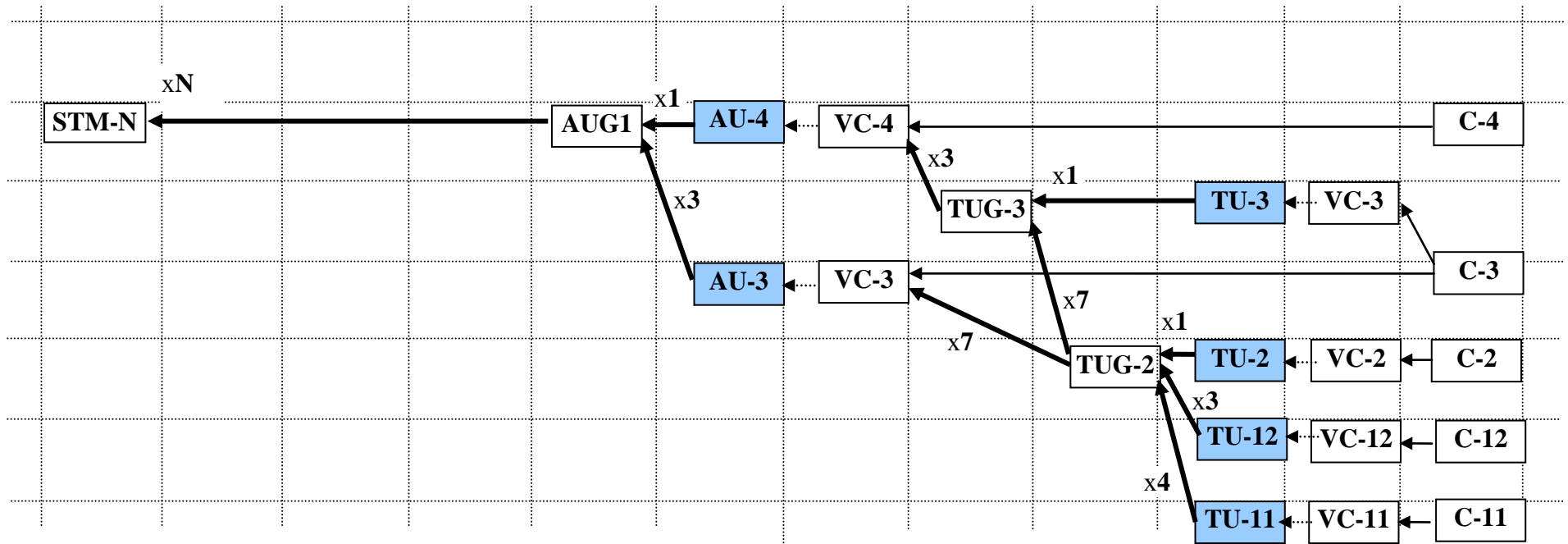


Рис. 2. 1. Структура мультиплексирования сигналов синхронной цифровой иерархии

Обозначения: \leftarrow мультиплексирование, \leftarrow отображение, \leftarrow цифровая коррекция по прямой линии,
 обработка указателей, $N = 1, 4, 16, 64, 256$

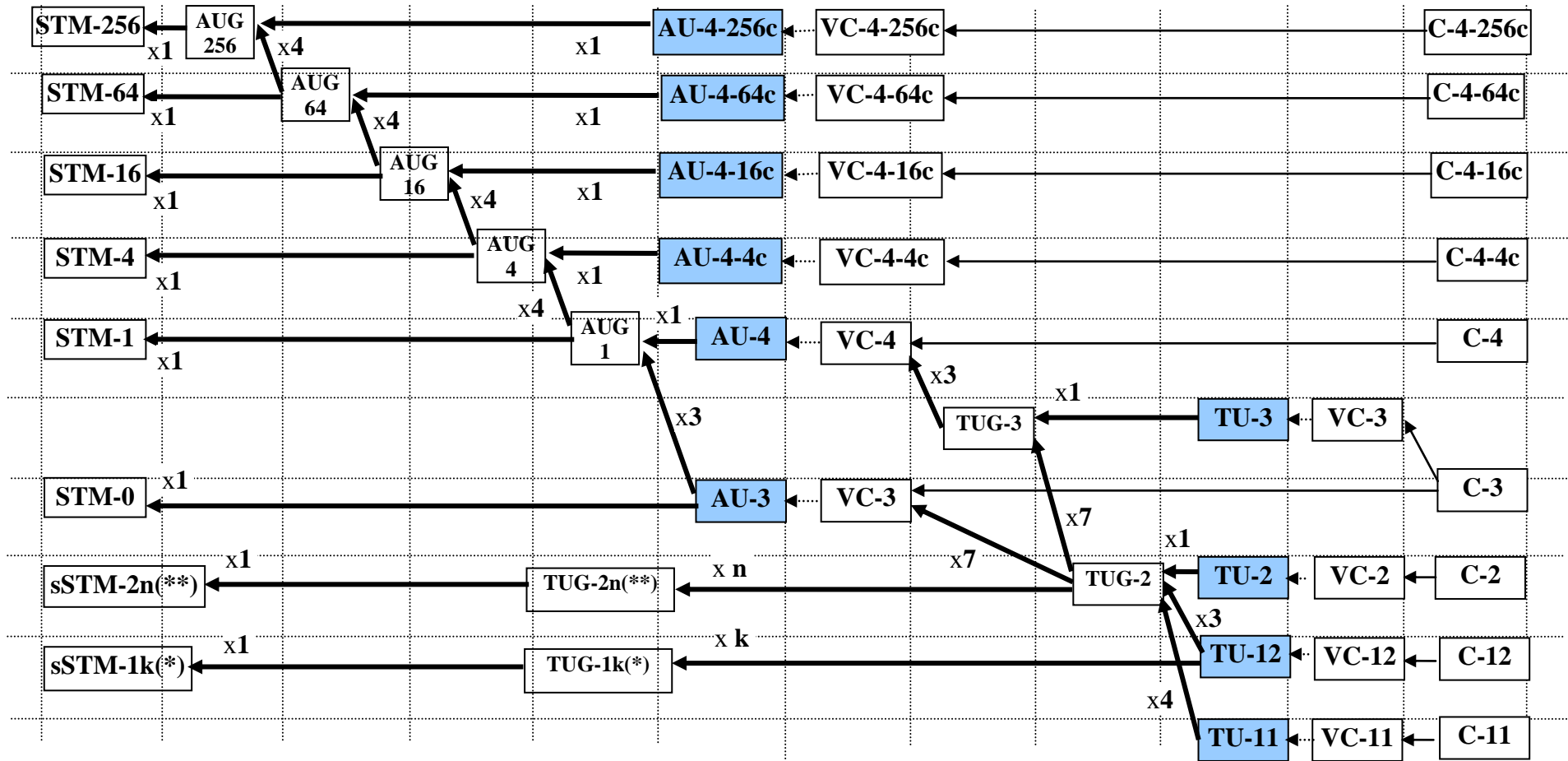


Рис. 2. 2. Интеграция сигналов форматов sSTM в структуру мультиплексирования сигналов синхронной цифровой иерархии (*) $k = 1, 2, 4, 8, 16$, (**) $n = 1, 2, 4$

Для сетей **SDH** была разработана структура мультиплексирования с использованием конкатенированных виртуальных контейнеров **VC-n-Xc**. Конкатенация или сцепка может быть непрерывной или виртуальной. Такие сцепки образуют тракты с пропускной способностью в **X** раз превышающей скорость одиночных виртуальных контейнеров, предельные скорости которых приведены выше. Непрерывные и виртуальные сцепки различаются процессами передачи сигналов между точками окончания тракта. При непрерывной сцепке тракт создается по всей трассе в каждом сетевом элементе. При виртуальной сцепке нагрузка разделяется и передается по отдельным **VC-n**, а затем она вновь объединяется в пункте назначения.

Например, при организации непрерывных сцепок для **VC-4** и **VC-2**, нагрузка размещается в **X** соседних административных блоках **AU-4** (для **VC-4**) или **TU-2** (для **VC-2**). Указатель первого блока обозначает начало сцепки, а указатели остальных блоков (все «единицы») сообщают о принадлежности к ней. Трактовый заголовок первого виртуального контейнера обслуживает всю сцепку.

В сцепках **VC-4-Xc** значение $X=N$. При этом пропускная способность меняется от 599 040 кбит/с при $N=4$ до 38 338 560 кбит/с при $N=256$.

В сцепках **VC-2-Xc** пропускная способность одиночного **VC-2**, равная 6 784 кбит/с, увеличивается в $X=2, \dots, 7$ раз. Эти сцепки меняют пропускную способность ступенями по 6 784 кбит/с до максимальной пропускной способности 47 488 кбит/с.

Виртуальные сцепки определены для всех **VC-n**. В таких сцепках каждый виртуальный контейнер имеет стандартный трактовый заголовок. Поскольку время передачи по сети отдельных **VC-n** может различаться, при восстановлении сигнала на конце тракта необходимо компенсировать разности задержек контейнеров и расставить их по местам в сцепке. Необходимая для этого информация передается в трактовых заголовках.

Пропускная способность виртуальных сцепок для **VC-4-Xc** равна $(149\,760 \times X)$ кбит/с, где **X** – любое целое число от 2 до 256.

Пропускная способность виртуальных сцепок **VC-2-Xc**, **VC-12-Xc** и **VC-11-Xc** увеличивается в **X** раз относительно 6 784 кбит/с, 2 176 кбит/с и 1 600 кбит/с, соответственно, где **X** – любое число от 2 до 64.

В сетевых топологиях «точка-точка» используются любые сцепки. Имеются ограничения на применения наиболее крупных смежных сцепок **VC-4-Xc** в сетевых топологиях «кольцо» с общей совместной защитой мультиплексных секций (**SP RING**).

Также разработана структура мультиплексирования сигналов **sSTM-1k** и **sSTM-2n**, формирующая тракты виртуальных контейнеров низкого порядка. На рис. 2.2. приведена структура мультиплексирования этих сигналов. В табл.

2.2. приведены наименования агрегатных сигналов в сети, скорости их передачи, размеры заголовков и полезной нагрузки на интервале времени, равном длительности цикла 125 мкс. С учетом относительно невысоких скоростей передачи нецелесообразно при побайтовом мультиплексировании увеличивать количество заголовочных байтов, так как это значительно снижает информационную скорость передачи относительно пропускной способности. Поэтому, как видно из табл. 2.2, число байтов в заголовках одинаково для всех сигналов **sSTM-1k** и **sSTM-2n** (при $k=1, 2, 4, 8, 16$ и $n=1, 2, 4$), и это приводит к тому, что скорости сигналов **sSTM-1k** и **sSTM-2n** не являются кратными.

На рис. 2.1 и 2.2 указаны функциональные процедуры для формирования агрегатных сигналов синхронных транспортных модулей из компонентных: отображение, цифровая коррекция по прямой линии при обработке указателей и мультиплексирование.

Для асинхронного побитового ввода в контейнеры используется цифровая коррекция с управляемыми вставками. Для ввода синхронных сигналов, например, сигналов сетей АТМ и кадров GFP используется синхронный побитовый ввод. Значения указателей не изменяются при синхронном режиме работы в сети.

Для сигналов синхронных транспортных модулей длительности циклов равны 125 мкс. Поэтому каждый байт в их циклах организует канал передачи информации со скоростью 64 кбит/с. В регенерационных секционных заголовках в начале цикла передаются сигналы цикловой синхронизации. Структура этих сигналов приведена в Рекомендациях МСЭ-Т G.707. Для сигнала **STM-0** этот сигнал составляет два байта **A1** и **A2**. Для сигнала **STM-1** шесть байтов (три байта **A1** и три байта **A2**). Для сигналов **STM-N** количество байтов в сигнале цикловой синхронизации в **N** раз больше, чем для сигнала цикловой синхронизации **STM-1**.

Циклы виртуальных контейнеров формируются на интервалах времени, равных 125 мкс или 500 мкс. Для определения начала циклов виртуальных контейнеров специальные сигналы цикловой синхронизации не вводятся. Началом цикла принято считать первый байт трактового заголовка. В табл. 2.3 приведены параметры сигналов виртуальных контейнеров.

Битовая скорость передачи сигналов виртуальных контейнеров может быть рассчитана по формуле

$$C = F_{\text{ц}} \cdot N_{\text{ц}} \cdot 8.$$

Таблица 2.3

Параметры сигналов виртуальных контейнеров

VC-n	Длительность цикла, мкс, $T_{\text{ц}}$	Количество байтов в цикле, $N_{\text{ц}}$
VC-4	125	2349
VC-3	125	765
VC-2	500	428
VC-12	500	140
VC-11	500	104
VC-4-Xc	125	2349 x X

В сети синхронной цифровой иерархии отсутствует фазирование по циклам между виртуальными контейнерами высокого порядка (**VC-3** и **VC-4**) и циклами синхронных транспортных модулей (**STM**). Положение начала циклов виртуальных контейнеров в циклах **STM-N** определяется указателями административных блоков.

Сигналы **VC-2**, **VC-12** и **VC-11** формируются на интервалах времени 500 мкс, частота следования их циклов равна 2 кГц. Между циклами сигналов виртуальных контейнеров низкого порядка **VC-2**, **VC-12** и **VC-11** и циклами сигналов виртуальных контейнеров высокого порядка **VC-4** и **VC-3** также отсутствует фазирование. Поэтому сигналы **VC-4** и **VC-3** формируются двумя процедурами. Предварительно сигналы **VC-2** записываются в **TU-2**, сигналы **VC-12** в **TU-12**, сигналы **VC-11** в **TU-11** или в **TU-12** с использованием указателей. Байты сигналов трибутарных блоков нумеруются по отношению к началу цикла сигналов виртуальных контейнеров высокого порядка. Отметим, что сигнал **VC-3** может также записываться в **TU-3**. Далее сигнал **VC-4** формируется побайтовым мультиплексированием трех **TUG-3**. Сигнал **TUG-3** формируется побайтовым мультиплексированием семи сигналов **TUG-2**. Сигнал **TUG-2** – побайтовым мультиплексированием трех **TU-12** или четырех **TU-11**. Сигналы трибутарных блоков **TU-2**, **TU-12** и **TU-11** имеют длительности циклов, равные 500 мкс, то есть такие же, как и соответствующие им виртуальные контейнеры. При анализе сигналов с циклами различной длительности более длинный по времени цикл может быть назван сверхциклом. Побайтовое мультиплексирование сигналов с более продолжительным циклом в сигнал с более коротким циклом выполняется с использованием специального байта в трактовых заголовках **VC-4** и **VC-3** – байта **H4**. Этот байт получил название индикатора сверхцикла для сигналов **VC-2**, **VC-12** и **VC-11**.

Структуры циклов сигналов синхронных транспортных модулей и сигналов виртуальных контейнеров **VC-4**, **VC-3** и **VC-4-Xc** принято изображать в виде прямоугольников. В прямоугольнике указывается количество столбцов и количество строк. Количество строк равно девяти. Единицей площади является один байт, поэтому размерность в байтах указывается в прямоугольниках только по вертикали или по горизонтали, (рис. 2.3, 2.4, 2.6, 2.7). Байты секционных и трактовых заголовков размещаются в левой части прямоугольника. Передача сигналов в соответствии со структурой циклов осуществляется по строкам слева – направо. Четвертая строка в левой части цикла сигнала синхронного транспортного модуля используется для передачи значений указателя **AU-4**.

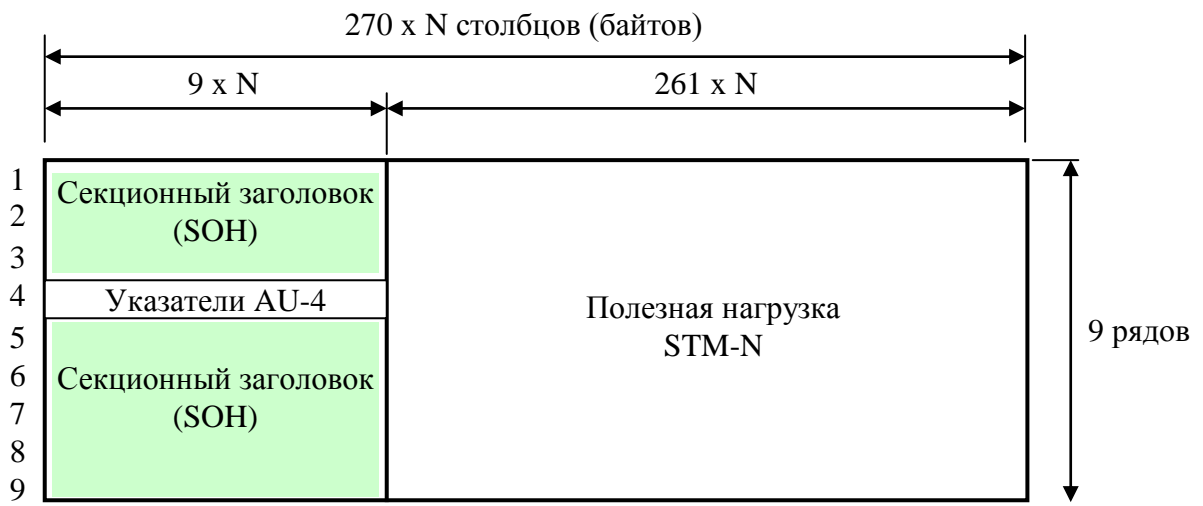


Рис. 2. 3. Структура цикла STM-N

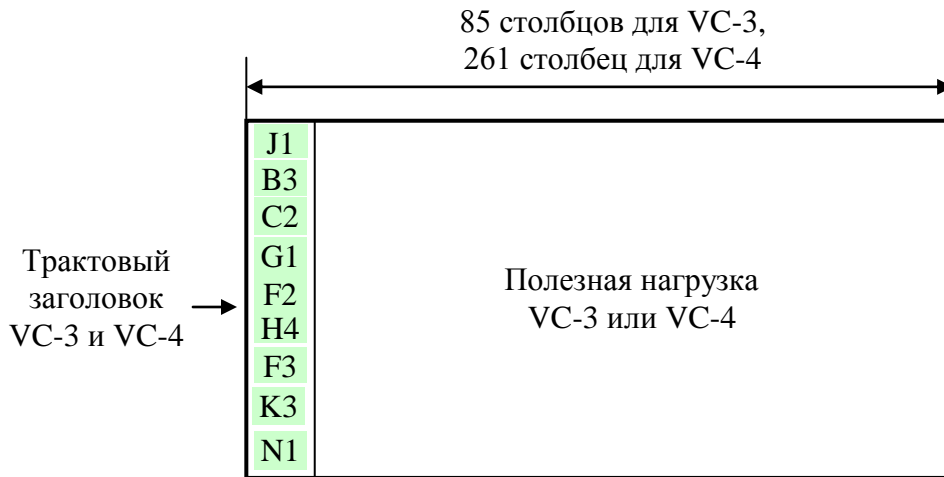


Рис. 2. 4. Структура цикла VC-3 и VC-4

Там же находятся байты **НЗ** возможности отрицательной цифровой коррекции по прямой линии.

Структуры циклов сигналов **VC-2**, **VC-12** и **VC-11** приведены на рис. 2.5.

Как было отмечено выше, структура цикла конкатенированного контейнера зависит от вида конкатенации или сцепки. В случае непрерывной конкатенации виртуальный контейнер имеет один трактовый заголовок, вместо трактовых заголовков остальных виртуальных контейнеров вводятся фиксированные вставки. Значения указателей одинаковы для всех виртуальных контейнеров в сцепке, но это значение передается только для первого **AU-4**, куда записывается первый **VC-4**, вместо остальных значений указателей передаются логические «единицы» – признак того, что виртуальный контейнер входит в сцепку. При этом все контейнеры, составляющие сцепку, передаются в одном сигнале синхронного транспортного модуля. При виртуальной конкатенации все **VC-4**, составляющие сцепку, сохраняют свои трактовые заголовки. При этом возможна передача сигналов таких виртуальных контейнеров в разных сигналах синхронных транспортных модулей. На рис. 2.6 приведена структура **VC-4-Xc** при непрерывной конкатенации, а на рис. 2.7 – при виртуальной.

На рис. 2.8 приведена структура цикла агрегатного сигнала **sSTM** на интервале 125 мкс. На этом интервале в сетях с сигналами **sSTM** организуется контроль качества передачи в сетевом слое мультиплексной секции. В байт **B2** записывается результат расчета процедуры **ВІР-8**, байт **M1** используется для индикации ошибок удаленного конца мультиплексной секции. Байт **D1** используется для подключения встроенного канала сети управления со скоростью 64 кбит/с

На рис. 2.9 приведена структура цикла (или сверхцикла) сигнала **sSTM** на интервале 500 мкс. Сигнал цикловой синхронизации распределен по циклу и составляет четыре байта, которые имеют вид

A_n (n=1, 2, 3, 4): A1=11110110, A2=00101000, A3=11110111, A4=00101001.

Байты **A_n** называют индикатором цикла и сверхцикла. Эти байты выполняют функции цикловой и сверхцикловой синхронизации. Аналогичное назначение имеет байт **H4** в трактовых заголовках виртуальных контейнеров **VC-4** и **VC-3**, который используется для идентификации фазы байтов сигналов **TU-2**, **TU-12** и **TU-11**, в которых передается значение указателя и обеспечивается возможность цифровой коррекции по прямой линии для сигналов **VC-2**, **VC-12** и **VC-11**. Остальные, указанные на рис. 2.9 байты секционных заголовки сигнала **sSTM** имеют назначение, аналогичное назначению байтов секционных заголовков сигналов **STM-N**:

J0 - идентификатор трассы регенерационной секции,

S1 – статус или состояние тактовой синхронизации, передается со скоростью 16 кбит/с.

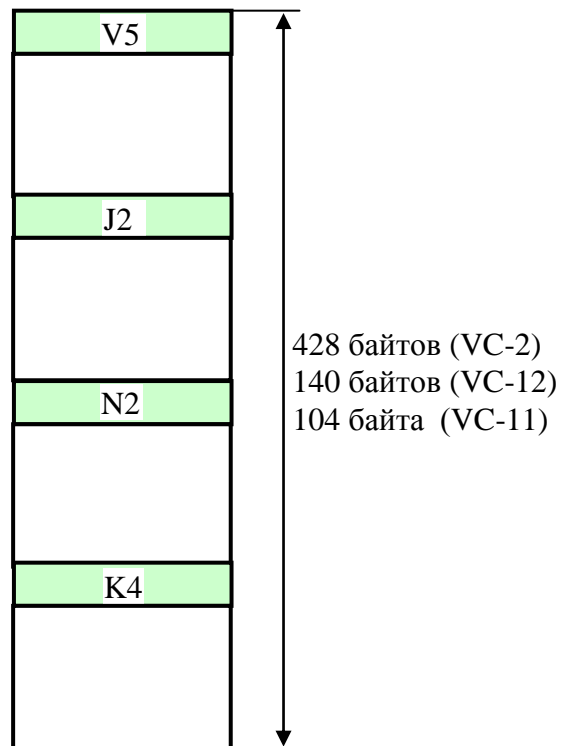


Рис. 2. 5. Структура цикла VC-2, VC-12 и VC-11.
Длительность цикла 500 мкс

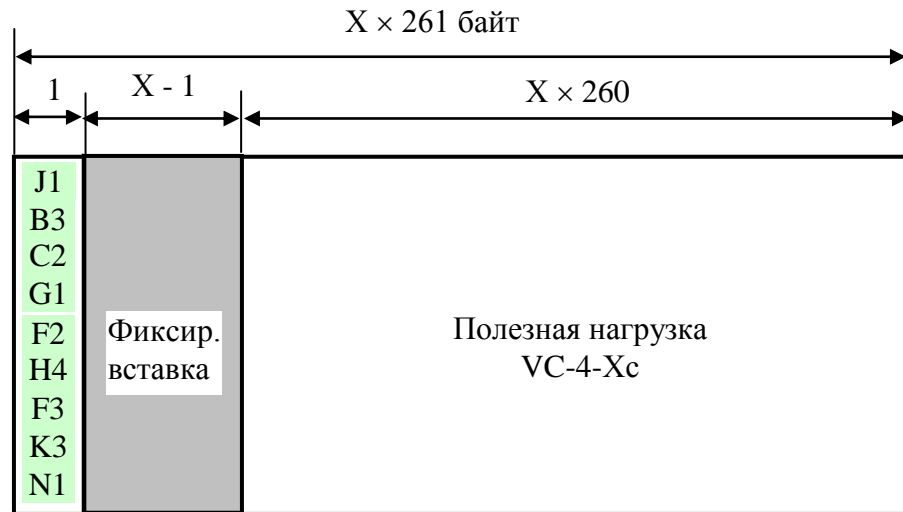


Рис. 2. 6. Структура цикла VC-4-Xc.
Последовательная конкатенация

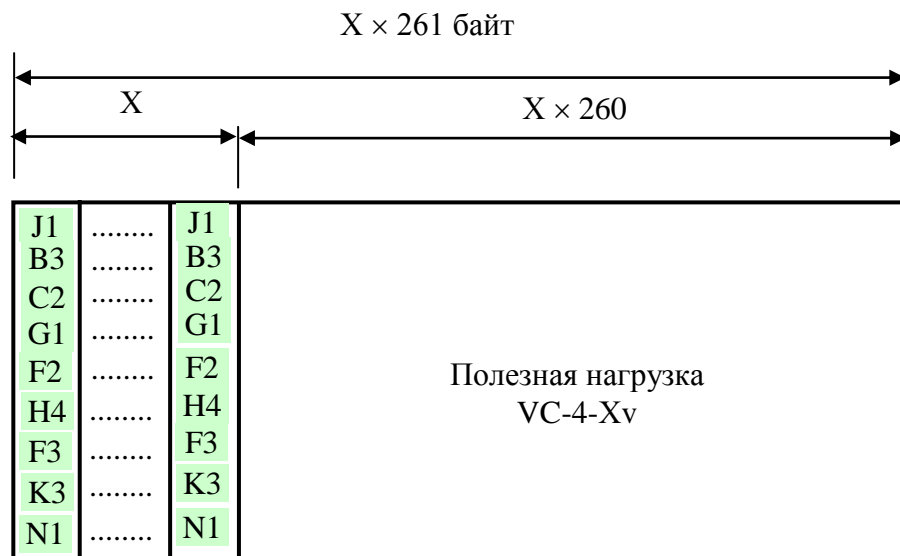


Рис. 2. 7. Структура цикла VC-4-Xv.
Виртуальная конкатенация

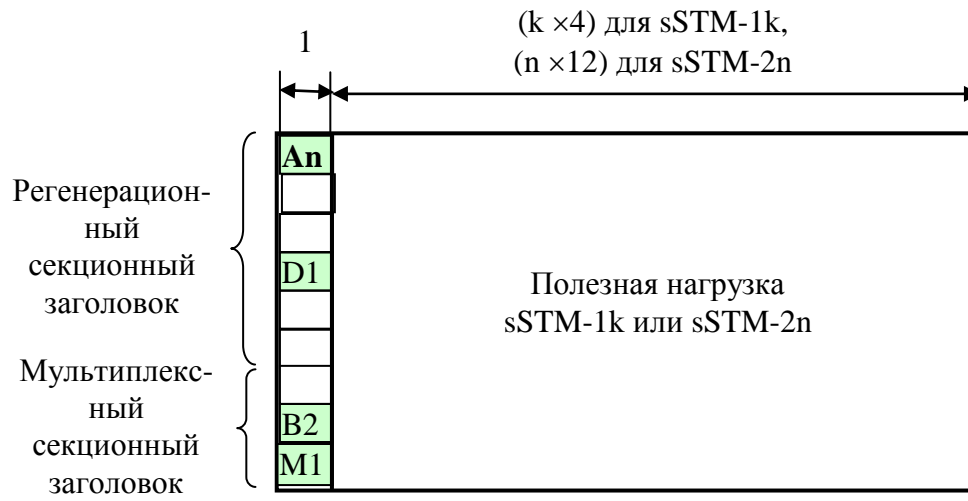


Рис. 2. 8. Структура сигналов sSTM-1k и sSTM-2n на интервале времени 125 мкс



Рис. 2. 9. Структура сигналов sSTM-1k, sSTM-2n
на интервале времени 500 мкс

Задачи

2.1. На участке сети синхронной цифровой иерархии с топологией «точка-точка» и заданными агрегатными сигналами организованы тракты виртуальных контейнеров одного вида.

Привести схему мультиплексирования.

Определить максимальное количество трактов виртуальных контейнеров в сети.

Указать на схеме мультиплексирования скорости передачи во всех точках.

Номер варианта	Агрегатные сигналы	Сигналы административных блоков	Тракты виртуальных контейнеров
01	STM-64	AU-4	VC-4
02	STM-16	AU-4	VC-3
03	STM-16	AU-4	VC-2
04	STM-16	AU-4	VC-12
05	STM-16	AU-4	VC-11
06	STM-4	AU-4	VC-4
07	STM-4	AU-4	VC-3
08	STM-4	AU-4	VC-2
09	STM-4	AU-4	VC-12
10	STM-4	AU-4	VC-11
11	STM-1	AU-4	VC-4
12	STM-0	AU-3	VC-3
13	STM-0	AU-3	VC-2
14	STM-0	AU-3	VC-12
15	STM-0	AU-3	VC-11
16	sSTM-21	-	VC-2
17	sSTM-22	-	VC-2
18	sSTM-24	-	VC-2
19	sSTM-21	-	VC-12
20	sSTM-22	-	VC-12
21	sSTM-24	-	VC-12
22	sSTM-21	-	VC-11
23	sSTM-22	-	VC-11
24	sSTM-24	-	VC-11
25	sSTM-11	-	VC-12
26	sSTM-12	-	VC-12
27	sSTM-14	-	VC-12
28	sSTM-18	-	VC-12
29	sSTM-116	-	VC-12
30	STM-64	AU-4-16c	VC-4-16c
31	STM-16	AU-4-4c	VC-4-4c
32	STM-4	AU-4-4c	VC-4-4c

2.2. В сети синхронной цифровой иерархии с топологией «кольцо» и заданным количеством узлов, в которых размещены мультиплексоры ввода/вывода, организованы тракты виртуальных контейнеров одного вида. Каждый узел с каждым обменивается одинаковым количеством трактов виртуальных контейнеров.

Определить требуемый уровень синхронных транспортных модулей в «кольце».

Определить количество интерфейсов компонентных сигналов в каждом мультиплексоре.

Номер варианта	Количество узлов в сети	Количество трактов для связи каждого узла с каждым	Тракты виртуальных контейнеров
01	4	2	VC-4
02	4	5	VC-3
03	4	50	VC-2
04	4	100	VC-12
05	4	120	VC-11
06	6	2	VC-4
07	6	5	VC-3
08	6	50	VC-2
09	6	100	VC-12
10	6	120	VC-11

2.3. В сети синхронной цифровой иерархии с топологией «кольцо», состоящее из трех узлов, в которых размещены мультиплексоры ввода/вывода, организованы тракты виртуальных контейнеров разного вида.

Определить уровень синхронных транспортных модулей в «кольце».

Определить количество интерфейсов компонентных сигналов в каждом мультиплексоре.

Номер варианта	Количество трактов для связи между узлами 1 - 2	Количество трактов для связи между узлами 1 - 3	Количество трактов для связи между узлами 2 - 3
01	6 VC-3	5 VC-4	3 VC-3
02	252 VC-12	2 VC-4	126 VC-12
03	1 VC-4-4с	1 VC-4	6 VC-3
04	1 VC-4-16с	1 VC-4	3 VC-3
05	12 VC-12	6 VC-12	1 VC-2
06	4 VC-11	1 VC-2	2 VC-2
07	2 VC-3	14 VC-2	21 VC-2
08	4 VC-3	42 VC-12	63 VC-12
09	5 VC-3	28 VC-11	112 VC-11
10	1 VC-4-16с	2 VC-4	1 VC-4

3. ФУНКЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

3.1. Функции адаптации

В дополнение к приведенным в разделе 1 определениям, можно отметить, что функции адаптации – это процессы преобразования информации от слоя клиента к слою сервера.

Функция адаптации источника – процесс преобразования характеристической информации (информации с известными и наблюдаемыми параметрами) слоя клиента к виду, который позволяет транспортировать эту информацию в слое сервера.

Функция адаптации стока является комплементарной функцией и позволяет восстановить переданную характеристическую информацию.

Функции адаптации могут быть составными или элементарными. В некоторых слоях клиент/сервер функции адаптации могут быть не определены. В качестве примера в различных сетевых слоях к элементарным функциям адаптации могут быть отнесены следующие функции:

- скремблирование/дескремблирование,
- кодирование/декодирование,
- процедура создания и обработки указателя с возможностью цифровой коррекции по прямой линии,
- мультиплексирование/демультиплексирование,
- процесс размещения информации в цифровых контейнерах путем асинхронного побитового ввода с цифровой коррекцией с управляемыми вставками, синхронного побитового ввода или синхронного побайтового ввода,
- генерация сигнала цикловой синхронизации на передаче и подтверждение состояния циклового синхронизма на приеме,
- поиск сигнала цикловой синхронизации при выходе из циклового синхронизма,
- процесс восстановления тактовой синхронизации,
- сглаживание фазовых дрожаний,
- идентификация полезной нагрузки.

Скремблирование/дескремблирование

Скремблирование изменяет статистику информационного цифрового потока без введения избыточности с целью появления достаточного для выделения сигнала тактовой синхронизации количества переходов от «нулей» к

«единицам». Скремблер «разрушает» длинные последовательности символов одного знака. В скремблированном сигнале вероятности появления «единиц» и «нулей» одинаковы. Для скремблированного сигнала может быть рассчитана вероятность появления последовательных символов одного вида, что позволяет рассчитать параметры выделителей тактовой частоты в регенераторах.

Процесс дескремблирования восстанавливает первоначальный цифровой поток из скремблированного потока.

На рис. 3.1 приведена функциональная схема скремблера сигналов **STM-N** ($N=1, 4, 16, 64, 256$). Аналогичным образом осуществляется скремблирование для сигналов **sSTM-2n** и **sSTM-1k**.

Образующий полином скремблера имеет вид

$$X^7 + X^6 + 1.$$

Период скремблирующей последовательности равен

$$(2^7 - 1) \cdot T_T,$$

где T_T - длительность тактового интервала.

Сигнал цикловой синхронизации и вся первая строка заголовка регенерационной секции в цикле **STM-N** не скремблируется, так как в функции завершения трейла регенерационной секции перед дескремблированием необходимо установить цикловую синхронизацию для оценки качества передачи и других параметров передачи сигналов по физической среде с помощью заголовка регенерационной секции. По окончании цикла скремблер отключается и устанавливается в исходное состояние. В циклах **sSTM-1k** и **sSTM-2n** не скремблируются 9 байтов секционных заголовков.

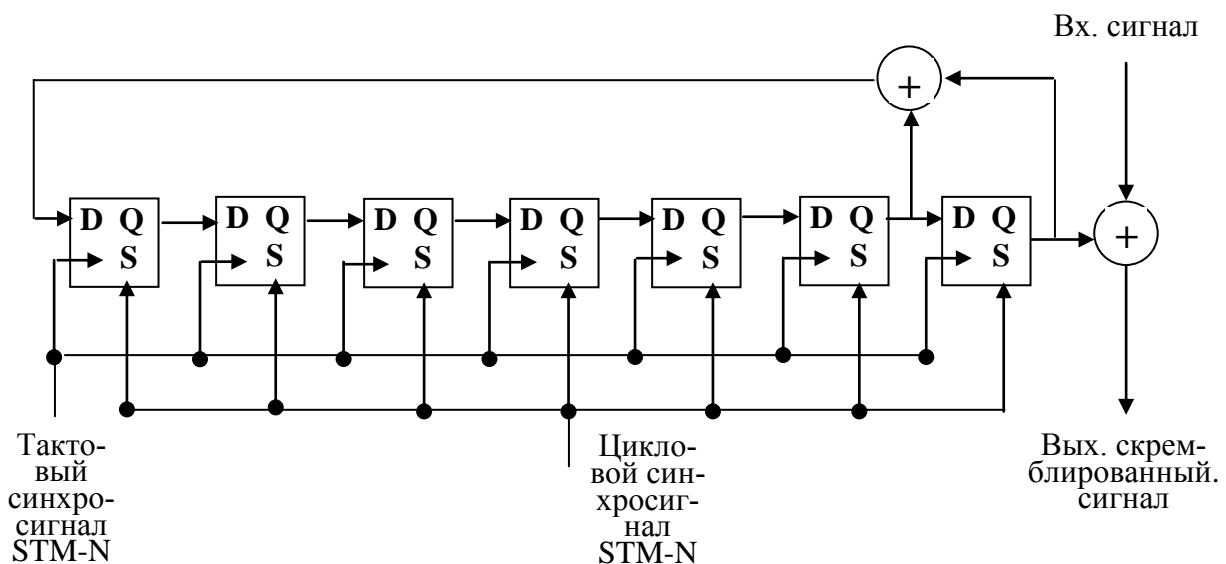


Рис. 3. 1. Функциональная диаграмма скремблера.
Скремблер синхронизируется цикловой синхронизацией
STM-N

Кодирование/декодирование

Процесс линейного кодирования адаптирует цифровой информационный поток к передаче по физической среде. Процесс декодирования восстанавливает первоначальный цифровой поток на приеме. Для физических интерфейсов транспортных сетей, использующих металлические пары и оптические волокна, разработаны и применяются специальные интерфейсные коды. В табл. 3.1. приведены параметры сигналов в сетевых интерфейсах транспортных сетей, включающие скорости передачи, допустимые отклонения тактовых частот и интерфейсные коды. Таким образом, функции, выполняющие кодирование/декодирование – это элементарные функции адаптации в слое физической среды.

Для основного цифрового канала со скоростью передачи 64 кбит/с возможно применение трех сетевых интерфейсов. В табл. 3.1 приведены их названия, а количество симметричных пар и коды сигналов приведены ниже.

*) Одна симметричная пара для каждого направления передачи. Информационный сигнал кодируется в три этапа: «единица» передается кодовой группой «1100», «ноль» - «1010», затем подобно коду АМТ, все импульсы каждой кодовой группы поочередно меняют полярность. Для обеспечения байтовой синхронизации – на восьмом такте осуществляется нарушение чередования полярности.

***) Для каждого направления передачи используются две симметричные пары. Информационные сигналы передаются в коде АМТ при коэффициенте заполнения 100%, а тактовый сигнал синхронизации - биполярным кодом при коэффициенте заполнения 50%, информация о фазе октета (8 кГц) передается введением нарушения в правило чередования на восьмом такте. При этом направление передачи составного сигнала синхронизации (тактовая и октетная синхронизация) по этим цепям одинаково: от ведущей аппаратуры к ведомой.

****) Двухнаправленная передача сигналов обеспечивается с использованием передачи составного сигнала синхронизации от центральной станции на подчиненные. Коды информационных сигналов и сигналов синхронизации такие же, как и для противонаправленного интерфейса.

Таблица 3.1

Интерфейсы цифровых сетей
по данным Рекомендации МСЭ-Т G.703 и G.707

Скорость, кбит/с	Доп. откл. скор. (parts per million, ppm), знак откл. плюс и минус	Код	Физическая среда для одного. направл. пе- редачи	Примечание
64	100	*)		Интерфейс сонапр.
64	100	**)		Интерф. противонапр.
64	100	***)		Интерфейс с центр. гене- ратором
1544	32	Скрембл. AMI, B8ZS		Alternate Mark Inversion AMI, Bipolar with eight-Zero Substitution B8ZS – 000VB0VB
6312	30	B6ZS B8ZS	симм.пара, коакс. пара	B6ZS - 0VB0VB
32064	10	Скрембл. AMI		
44736	20	B3ZS (HDB2)		
2048	50	HDB3	симм. пара, коакс. пара	High Density Bipolar of order 3 – HDB3
8448	30	HDB3	коакс. пара	
34368	20	HDB3	коакс. пара	
139264	15	CMI		Coded Mark Inversion – CMI, NRZ
2048 кГц	50	Прямоуг. импульсы	симм. пара коакс. пара	Интерфейс тактовой син- хронизации
97728	10	Скрембл. AMI		Скрем- блер $X^5 + X^3 + 1$
155520	20	Скрембл.С MI	коакс. пара	Скремблер $X^7 + X^6 + 1$, NRZ
6312		Синус. форма		Интерфейс тактовой син- хронизации
155520		Скрембл.	ОВ	$X^7 + X^6 + 1$, NRZ
622080		Скрембл.	ОВ	$X^7 + X^6 + 1$, NRZ
2488320		Скрембл.	ОВ	$X^7 + X^6 + 1$, NRZ
9953280		Скрембл.	ОВ	$X^7 + X^6 + 1$, NRZ

**Процедура создания и обработки указателя
с возможностью цифровой коррекции по прямой линии.
Мультиплексирование/демультиплексирование**

Эти функции являются составными функциями адаптации. Они необходимы для обеспечения возможности непосредственного выделения потока компонентного сигнала из цикла **STM-N**. Для этого используются указатели (**PTR**), показывающие начало цикла виртуального контейнера в цикле

STM-N. Между циклами сигналов виртуальных контейнеров высокого порядка и циклами сигналов мультиплексных секций, а также между циклами виртуальных контейнеров низкого порядка и циклами виртуальных контейнеров высокого порядка отсутствует фазирование по циклам. Это означает, что первый байт входного сигнала может быть записан в байт с любым номером в цикле выходного сигнала. Номер этого байта получает далее название значение указателя. В сети синхронной цифровой иерархии предусмотрена возможность изменения режимов тактовой синхронизации. При таком изменении длительности циклов входных и выходных сигналов будут изменяться, что приводит к смещению начала цикла входного потока относительно выходного. Для правильного выделения цифровых потоков при демультиплексировании в этих случаях используется метод кодирования скорости и, так как входной сигнал имеет цикловую структуру, этот метод цифрового выравнивания называется **цифровой коррекцией по прямой линии**.

На рис. 3.2 приведены схемы устройства, выполняющего функции создания указателя с возможностью его изменения вследствие смены режима тактовой синхронизации, и устройства, осуществляющего процедуру обработки указателя в демультиплексоре.

Входной цифровой сигнал имеет байтовую структуру и характеризуется циклом. Цифровой канал также имеет байтовую структуру и характеризуется циклом. Генераторы тактовых частот могут быть синхронизированы или не синхронизированы. На рис. 3.2 синхронизация между генераторами отсутствует.

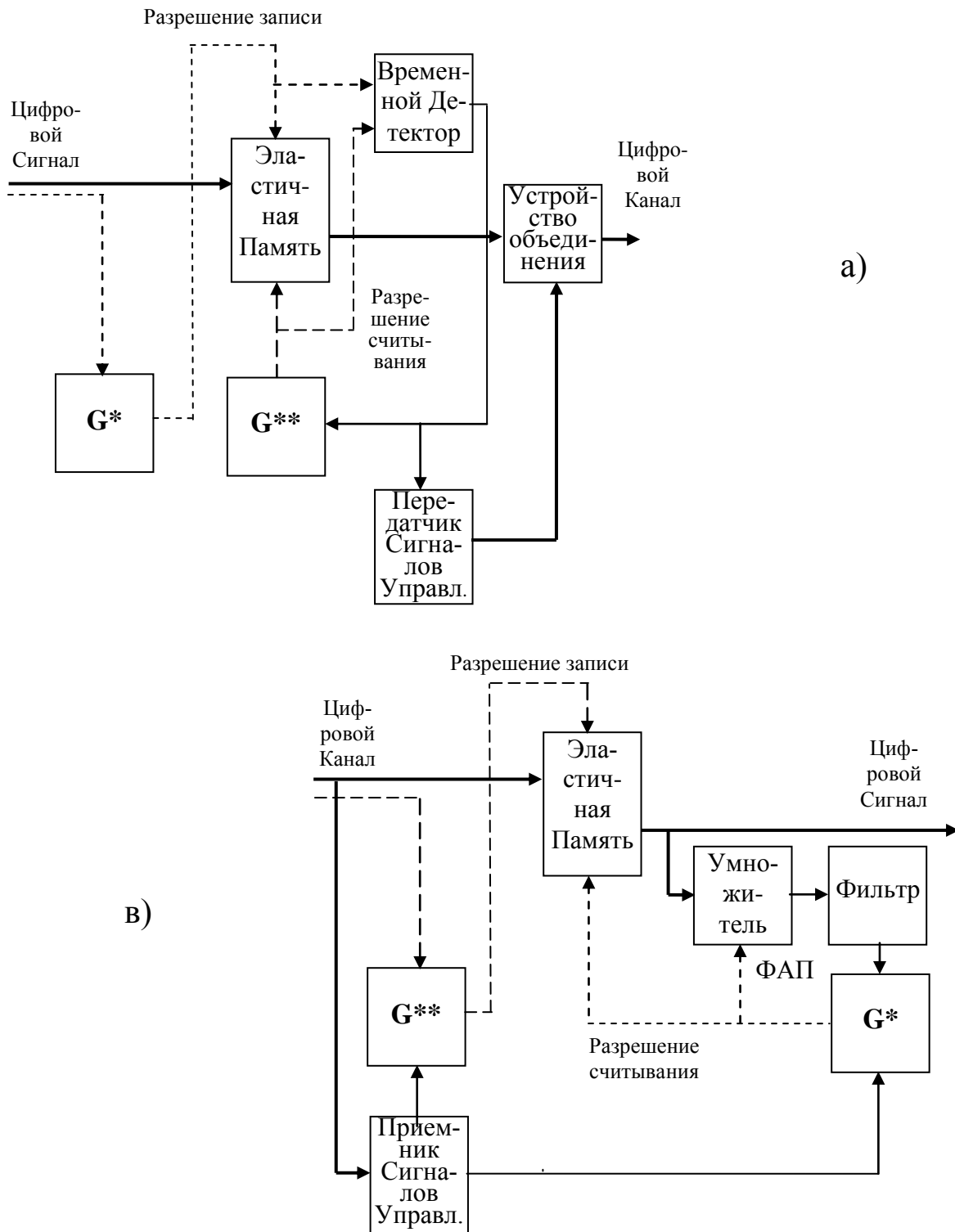


Рис. 3. 2. Устройство ввода (а) и вывода (в) цифровых сигналов при передаче по цифровым каналам с использованием метода кодирования скорости.

Входные сигналы записываются в эластичную память. Временной детектор оценивает разность длительностей считывания и записи и сравнивает ее с двумя пороговыми значениями, которые соответствуют состояниям «опустошения» или «переполнения» эластичной памяти. Номер байта в цикле выходного цифрового канала, в который записывается первый байт цикла входного сигнала, называется **значением указателя**. Значение указателя в передатчике сигналов управления кодируется и передается в демультиплексор на приеме. В устройстве обработки указателя демультиплексора также используется эластичная память, запись осуществляется с частотой входного потока, а считывание информации из ее ячеек выполняется с тактовой частотой генератора с цепью фазовой автоподстройки частоты, то есть со средней частотой с учетом действий, произведенным по полученным командам согласования.

Функция адаптации в слое мультиплексной секции STM-N позволяет записать сигнал VC-4 в сигнал мультиплексной секции STM-N.

Это составная функция. Предварительно с использованием цифровой коррекции по прямой линии сигнал каждого из виртуальных контейнеров четвертого порядка **VC-4** записывается в пронумерованный по три байта цикл сигнала административного блока **AU-4**. Далее для получения сигнала **STM-N** выполняется побайтовое синхронное мультиплексирование $N \times AU-4$. Структура административного блока **AU-4** на интервале времени, равном двум циклам, показана на рис.3.3. Байты в цикле административного блока **AU-4** нумеруются, при этом каждые три байта имеют одинаковые номера от 0 до 782. Первые из трех байтов указателя **H1** и **H2** (биты 7 и 8 байта **H1** и все биты байта **H2** – 10 битов **ID**) используются для передачи значения указателя (рис.3.4). Три байта **H3** необходимы для обеспечения возможности отрицательной цифровой коррекции по прямой линии и три байта с номерами «0» - положительной цифровой коррекции. Сигнал управления цифровой коррекцией формируется инверсией битов в значении указателя: инверсия битов «**I**» - сигнал управления положительной цифровой коррекцией, инверсия битов «**D**» - сигнал управления отрицательной цифровой коррекцией. Прием сигнала управления – по большинству или мажоритарный.

В табл. 3.2 приведены примеры изменения значений указателя. Предположим, значение указателя равно четырем. При нулевой коррекции значение указателя кодируется двоичным кодом и передается на позициях десяти битов в байтах **H1** и **H2**. В цикле сигнала **VC-4** количество байтов равно 2349. Байты сигнала **VC-4** записываются с его тактовой частотой в ячейки эластичной памяти, из ячеек эластичной памяти они считываются с частотой административного блока **AU-4**. В три байта административного блока **AU-4** с номерами

четыре будут записаны 1, 2 и 3 байты **VC-4** и т.д. Для передачи всех байтов сигнала **VC-4** необходим интервал времени, равный длительности цикла административного блока **AU-4**, но начало цикла виртуального контейнера **VC-4** может быть смещено по отношению к началу цикла сигнала административного блока, и это смещение записывается, как значение указателя.

Значение указателя формально может иметь величину от 0 до 782. В примере табл. 3.2 значение указателя равно 4, поэтому при нулевой коррекции последние байты одного цикла сигнала **VC-4**, а именно байты с номерами 2347, 2348 и 2349 будут записаны в три байта с номерами 3. Если частота записи **VC-4** увеличивается относительно частоты считывания, то поток **VC-4** в цикле **STM-N** сдвинется, и, для его правильного демультимплексирования, необходимо осуществить отрицательную цифровую коррекцию по прямой линии.

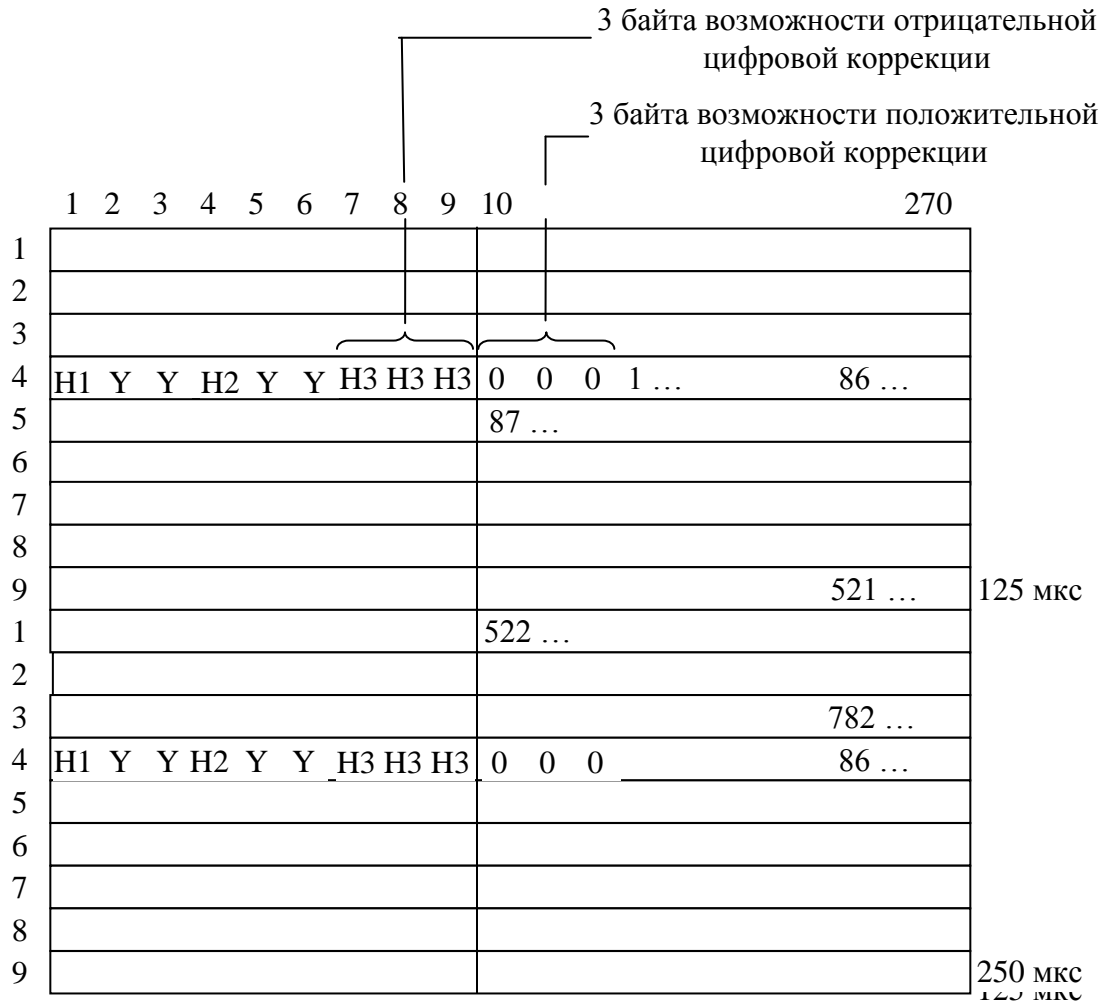


Рис. 3. 3. Нумерация и обозначения байтов в AU-4



I Increment (Увеличение)
 D Decrement (Уменьшение)
 N New data flag (Новый флаг данных)

Рис. 3.4. Размещение и назначение битов указателя в AU-4

Таблица 3.2

Примеры изменения значений указателя
 (предположим, значение указателя кодируется натуральным арифметическим кодом)

Номер цикла VC-4	Указатель (PTR)	Байты AU-4, в которые записывается сигнал VC-4*)	Вид коррекции
i	0000000100	4 - 782, 0 - 3	Нулевая
$i + 1$	0101010001	4 - 782, H3, 0 - 2	Отрицательная
$i + 2$	0000000011	3 - 782, 0 - 2	Нулевая
i	0000001111	15 - 782, 0 - 14	Нулевая
$i + 1$	1010100101	15 - 782, 1 - 15	Положительная
$i + 2$	0000010000	16 - 782, 0 - 15	Нулевая

*) Указаны первые из трех байтов в цикле административного блока AU-4, которые имеют одинаковые номера.

В ($i + 1$) цикле, в котором выполняется отрицательная цифровая коррекция по прямой линии, 1, 2 и 3 байты VC-4 будут записаны в три байта AU-4 с номерами четыре, 4, 5 и 6 байты VC-4 - в три байта AU-4 с номерами пять и т.д. Затем, после того, как байты сигнала VC-4 будут записаны в три байта

AU-4 с номерами 782, следующие три байта **VC-4** будут записаны в три байта **H3** и последние байты **VC-4** с номерами 2347, 2348 и 2349 будут записаны в три байта **AU-4** с номерами 2. При этом в кодовом слове для передачи значения указателя инвертируются «**D**» биты. В следующем ($i + 2$) цикле **VC-4** 1, 2 и 3 байты будут записаны в три байта административного блока **AU-4** с номерами три и т.д. Значение указателя для данного цикла **VC-4** будет равно трем. Это значение кодируется и передается десятью битами «**ID**» как указатель административного блока **AU-4**.

В табл. 3.2 рассмотрен также пример выполнения положительной цифровой коррекции по прямой линии. Значение указателя в примере равно 15. При нулевой коррекции это значение кодируется и передается на позициях десяти битов в тех же байтах **H1** и **H2**. В три байта административного блока **AU-4** с номерами 15 записываются 1, 2 и 3 байты **VC-4** и т.д., последние байты (2347, 2348 и 2349) **VC-4** будут записаны в три байта административного блока **AU-4** с номерами 14. В цикле **VC-4** в момент осуществления положительной коррекции, первые байты **VC-4** будут записаны в три байта **AU-4** с номерами 15 и т.д., но после записи в три байта **AU-4** с номерами 782 будет выполнена запись сигнала виртуального контейнера сразу в три байта **AU-4** с номерами один. Тогда последние байты **VC-4** с номерами 2347, 2348 и 2349 будут записаны в три байта **AU-4** с номерами 15. При этом в кодовом слове для передачи значения указателя **AU-4** инвертируются «**I**» биты. В следующем цикле **VC-4** его 1, 2 и 3 байты будут записаны в три байта **AU-4** с номерами 16 и т.д. Значение указателя для данного цикла **VC-4** равно 16.

Таким образом, при нулевой коррекции все 2349 байты сигнала **VC-4** передаются в течение цикла административного блока **AU-4**. При выполнении отрицательной цифровой коррекции по прямой линии для передачи этих 2349 байтов используется время, меньше длительности цикла **AU-4** на величину длительности передачи трех байтов, а при выполнении положительной цифровой коррекции по прямой линии - больше на длительность трех байтов.

После цифровой коррекции выполняется побайтовое мультиплексирование **N** сигналов **VC-4**.

Если в сети не происходит смена источника тактовой синхронизации, то значения указателей в таких сетях не изменяются.

Функция адаптации к слою виртуального контейнера четвертого порядка (слой тракта высокого порядка) позволяет записать в сигнал VC-4 сигналы различных виртуальных контейнеров со смещенными циклами.

Возможны следующие варианты заполнения сигнала **VC-4**:

- 1) 3 **VC-3**;
- 2) 21 **VC-2**;

- 3) 63 VC-12;
- 4) 63 VC-11;
- 5) 84 VC-11.

Это составная функция адаптации. Сигнал каждого из указанных виртуальных контейнеров вводится в цикл сигнала VC-4 и начало его собственного цикла отмечается указателем трибутарного блока (TU).

Байты сигналов трибутарных блоков имеют нумерацию полезной нагрузки по отношению к трактовому заголовку виртуального контейнера четвертого порядка. Сигнал VC-4 формируется побайтовым мультиплексированием трибутарных блоков одного порядка.

На рис. 3.5 приведена нумерация и обозначения байтов в цикле виртуального контейнера четвертого порядка VC-4 для записи в этот сигнал трех сигналов трибутарных блоков третьего порядка 3xTU-3. Сигнал виртуального контейнера третьего порядка VC-3 со смещенным циклом записывается в сигнал трибутарного блока третьего порядка TU-3. В сигнале VC-3 содержится 765 байтов. Для каждого сигнала трибутарных блоков третьего порядка TU-3 байты в цикле виртуального контейнера четвертого порядка VC-4 имеют нумерацию от 0 до 764. Байты H1 и H2 используются для передачи значения указателя, байт H3 – для выполнения отрицательной цифровой коррекции по прямой линии. Для выполнения положительной цифровой коррекции используется байт с номером ноль. В табл. 3.3 приведены примеры изменения значений указателей и номеров байтов TU-3 в цикле VC-4 для нулевой, отрицательной и положительной цифровых коррекций. Длительность времени передачи байтов одного цикла сигнала виртуального контейнера третьего порядка VC-3 при нулевой коррекции равна длительности цикла VC-4. При отрицательной цифровой коррекции время передачи уменьшается на длительность передачи одного байта, при положительной – увеличивается также на длительность передачи одного байта. После цифровой коррекции выполняется побайтовое синхронное мультиплексирование трех сигналов TU-3.

На рис. 3.6 показана нумерация и обозначения байтов сигналов трибутарных блоков, которые используются для записи сигналов виртуальных контейнеров низкого порядка. На интервале 500 мкс сигнал VC-2 содержит 428 байтов, VC-12 – 140 байтов, VC-11 – 104 байта. Сигналы трибутарных блоков для записи сигналов виртуальных контейнеров имеют такое же количество байтов, но нумерация их байтов начинается с нуля. Десять битов «ID» байтов V1 и V2 используются для передачи в демультимплексор значения указателя и сигнала управления цифровой коррекцией аналогично битам в байтах H1 и H2. Байт V3 используется для выполнения отрицательной коррекции, байт после V3 – возможность положительной цифровой коррекции по прямой ли-

нии (в **TU-2** байт 107, в **TU-12** байт 35, в **TU-11** байт 26). Байт **V4** является резервным.

Таким образом, цифровая коррекция по прямой линии для виртуальных контейнеров низкого порядка со смещенным циклом по отношению к циклу виртуального контейнера четвертого порядка **VC-4** выполняется на интервале времени, равном 500 мкс. Поэтому при нулевой коррекции время передачи байтов виртуальных контейнеров низкого порядка равно длительности четырех циклов **VC-4**. При отрицательной цифровой коррекции время передачи уменьшается на время передачи одного байта, при положительной цифровой коррекции по прямой линии увеличивается также на время передачи одного байта. Интервал времени, равный четырем циклам **VC-4**, может быть назван сверхциклом. Сверхцикловая синхронизация обеспечивается с помощью байта **H4** в трактовом заголовке виртуального контейнера четвертого порядка. Байт **H4** называется также индикатором положения полезной нагрузки, два бита которого кодируют номера циклов в сверхцикле.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	261							
1	J1	×	×	H1	H1	H1											
2	B3	×	×	H2	H2	H2											
3	C2	×	×	H3	H3	H3	0	0	0	1	1	1	84	84	84		
4	G1	×	×	×	×	×	85	85	85								
5	F2	×	×	×	×	×											
6	H4	×	×	×	×	×											
7	F3	×	×	×	×	×											
8	K3	×	×	×	×	×											
9	N1	×	×	×	×	×								594	594	594	125 мкс
1	J1	×	×	H1	H1	H1	595	...									
2	B3	×	×	H2	H2	H2								764	764	764	
3	C2	×	×	H3	H3	H3	0	0	0	1	1	1	84	84	84		
4	G1	×	×	×	×	×	85	85	85								
5	F2	×	×	×	×	×											
6	H4	×	×	×	×	×											
7	F3	×	×	×	×	×											
8	K3	×	×	×	×	×											
9	N1	×	×	×	×	×								594	594	594	250 мкс

Рис. 3. 5. Нумерация и обозначения байтов в $VC-4 = 3 \times TU-3$ (TUG-3)

Таблица 3.3

Примеры изменения значений указателя
(предположим, значение указателя кодируется натуральным арифметическим кодом)

Номер цикла VC-3	Указатель (PTR)	Байты TU-3, в которые записывается сигнал VC-3	Вид коррекции
i	0 0 0 0 0 0 0 1 1 1	7 - 764, 0 - 6	Нулевая
$i + 1$	0 1 0 1 0 1 0 0 1 0	7 - 764, НЗ, 0 - 5	Отрицательная
$i + 2$	0 0 0 0 0 0 0 1 1 0	6 - 764, 0 - 5	Нулевая
i	0 0 0 0 0 0 1 0 1 1	11 - 764, 0 - 10	Нулевая
$i + 1$	1 0 1 0 1 0 0 0 0 1	11 - 764, 1 - 11	Положительная
$i + 2$	0 0 0 0 0 0 1 1 0 0	12 - 764, 0 - 11	Нулевая

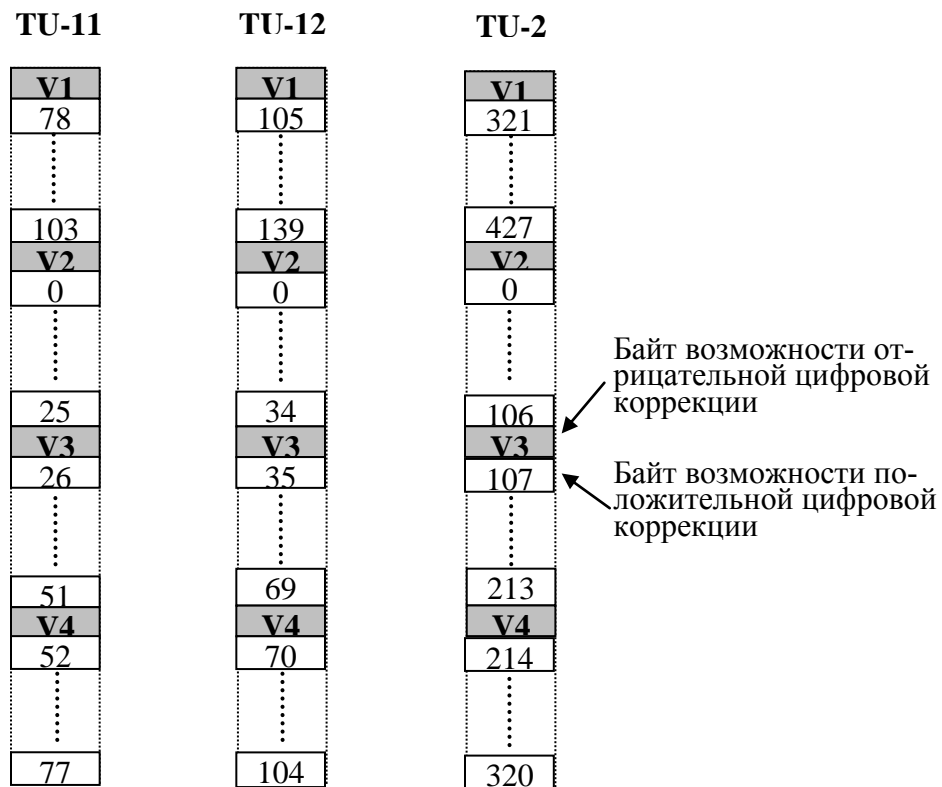


Рис. 3. 6. Нумерация и обозначения байтов в TU-11, TU-12 и TU-2 на интервале длительности цикла 500 мкс

Процессы размещения информации в цифровых контейнерах. Асинхронный побитовый ввод с возможностью цифровой коррекции с управляемыми вставками

Для ввода в виртуальные контейнеры компонентных или нагрузочных сигналов используются такие **функции адаптации**, как функции размещения или отображения. Назначение байтов и их нумерация в виртуальном контейнере зависят от того, для организации тракта какого компонентного потока используется виртуальный контейнер и каким способом осуществляется ввод в него компонентного сигнала. На рис. 3.7 и 3.8 показаны назначение и нумерация байтов виртуального контейнера четвертого порядка **VC-4** при асинхронном побитовом вводе четверичного цифрового потока **E-4** европейской плезиохронной цифровой иерархии. Этот сигнал, как и другие сигналы плезиохронных цифровых иерархий при асинхронном вводе характеризуется как сплошной поток данных, то есть как поток без цикловой структуры.

В цикле **VC-4** в каждой строке имеется один символ управляемой вставки (**S**) и сигнал управления этой вставкой, который состоит из пяти битов (**ССССС**). На месте этой вставки (**S**) может передаваться информационный символ, в этом случае формируется сигнал управления, состоящий из пяти «нулей», или неинформационный (балластный), тогда сигнал управления состоит из пяти «единиц». Прием сигналов управления мажоритарный.

Схемы устройств, осуществляющие процедуры цифровой коррекции со вставками на передаче и приеме имеют такой же вид, как и для цифровой коррекции по прямой линии (рис. 3.2), но запись сигнала компонентного потока в эластичную память и считывание из эластичной памяти побитовые. При вводе асинхронного потока в сигнал виртуального контейнера возможно «переполнение» или «опустошение» эластичной памяти. В схему на передающей стороне входит временной детектор, который контролирует разность длительностей считывания и записи. Во временном детекторе установлено два пороговых значения, соответствующие, возможностям «переполнения» или «опустошения» эластичной памяти.

Анализ структуры сигнала **VC-4** позволяет рассчитать минимальное и максимальное количество информационных битов в цикле виртуального контейнера для размещения асинхронного сигнала **E-4**. В зависимости от использования управляемых вставок различают 10 состояний виртуального контейнера. Эти состояния можно назвать картами виртуального контейнера и предложить названия карт по количеству балластных вставок в цикле виртуального контейнера. Например, **МАР0** – количество балластных вставок равно нулю, все управляемые вставки используются для информационных символов. **МАР9** – количество балластных вставок равно числу управляемых вставок и

равно девяти. Для **МАР0** общее число информационных символов в цикле максимально и равно 17415 (табл. 3.4), для **МАР9** - минимально и равно 17406.

При «переполнении» эластичной памяти по команде временного детектора для размещения компонентного сигнала будут использованы карты с большим числом информационных битов, при «опустошении» будут использованы карты с меньшим числом информационных битов в цикле.

Переход к карте виртуального контейнера с большим числом информационных символов называют «отрицательной» цифровой коррекцией, а переход к карте с меньшим числом информационных символов – «положительной» цифровой коррекцией. На приемной стороне в эластичную память записываются информационные символы, а для их считывания используется генератор с фазовой автоподстройкой частоты. Частота генератора изменяется по сигналу управления цифровой коррекцией таким образом, чтобы количество считывающих импульсов было равно количеству информационных символов компонентного сигнала в цикле виртуального контейнера.

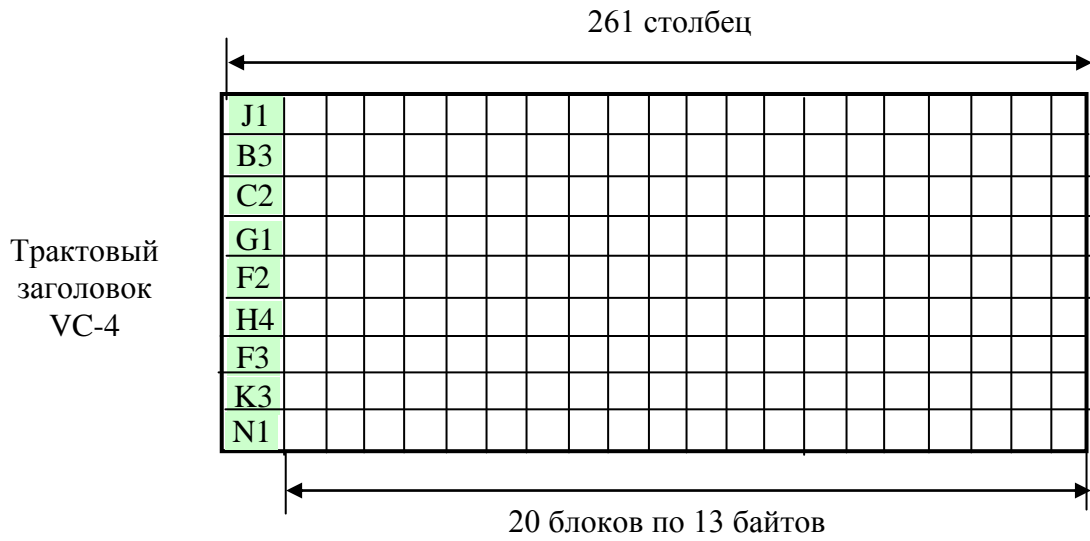


Рис 3. 7. Структура VC-4 для асинхронного отображения цифрового потока E-4

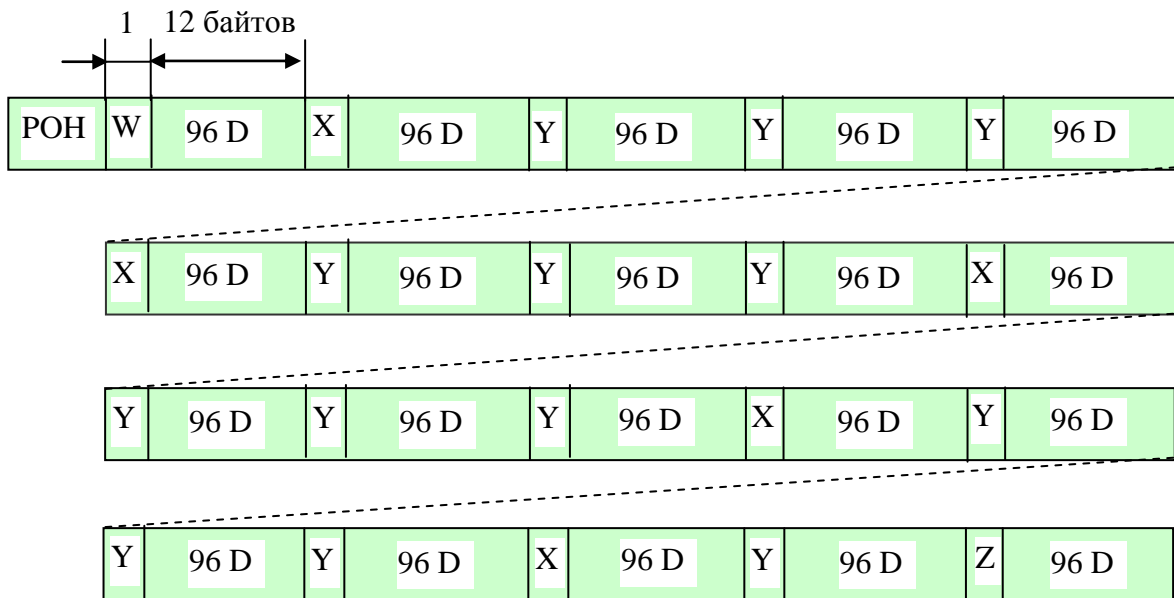


Рис 3. 8. Структура одной строки VC-4 для асинхронного отображения цифрового потока E-4.
 W = DDDDDDDD, X = CRRRRROO, Y = RRRRRRRR, Z = DDDDDDSR

В табл. 3.4 приведены параметры всех виртуальных контейнеров при асинхронном вводе потоков плезиохронных иерархий. Отображение компонентных потоков выполняется с использованием схем рис. 3.2. При этом цифровая коррекция для **VC-4** и **VC-3** выполняется на интервале длительности цикла 125 мкс, а для **VC-2**, **VC-12** и **VC-11** на интервале 500 мкс.

На рис. 3.9 приведена структура и обозначение битов **VC-12**. В цикле виртуального контейнера предусмотрено две управляемые вставки S_1, S_2 . Сигналы управления содержат по три бита $(C_1, C_1, C_1), (C_2, C_2, C_2)$, их индексы совпадают с индексами управляемых вставок. Размещение компонентного сигнала в виртуальном контейнере выполняется по одной из трех карт. Максимальное количество информационных символов равно 1025 при заполнении по карте **MAP0**, минимальное – 1023 при заполнении по карте **MAP2**.

Синхронный побитовый ввод

В цифровых транспортных сетях в настоящее время используются общие сети тактовой синхронизации. Компонентный цифровой поток, для формирования которого используется первичный эталонный генератор общей сети тактовой синхронизации, будет синхронным по отношению к цифровым потокам виртуальных контейнеров. В этом случае возможен синхронный побитовый ввод такого потока в виртуальный контейнер.

Синхронный побитовый ввод используется для отображения ячеек сети **ATM** и кадров **GFP**.

Во всех контейнерах предусмотрены карты для размещения компонентных сигналов с номинальной скоростью (табл. 3. 5).

Синхронный побайтовый ввод

Синхронный побайтовый ввод используется для размещения в виртуальных контейнерах **VC-11** и **VC-12** первичных плезиохронных цифровых потоков со скоростями 1544 кбит/с и 2048 кбит/с. Структура цикла первичных цифровых потоков должна соответствовать G.704. На рис. 3.10 приведена структура и назначение байтов **VC-12** для синхронного по байтам отображения сигналов 31x64 кбит/с.

Таблица 3.4

Параметры сигналов виртуальных контейнеров при отображении в них асинхронных сигналов E-n

E-n, асинхр.	VC-n	Миним. количество битов инф. в цикле VC-n	Максим. количество битов инф. в цикле VC-n	Биты сигналов управления вставками	Биты управляемых вставок
E-4	VC-4	17406	17415	9(C,C,C,C,C)	9 S
E31	VC-3	4293	4299	3(C ₁ ,C ₁ ,C ₁ , C ₁ ,C ₁), 3(C ₂ ,C ₂ ,C ₂ , C ₂ ,C ₂)	3 S ₁ , 3 S ₂
E-32	VC-3	5589	5598	9(C,C,C,C,C)	9 S
E-2	VC-2	3152	3160	4(C ₁ ,C ₁ ,C ₁), 4(C ₂ ,C ₂ ,C ₂)	4 S ₁ , 4 S ₂
E-12	VC-12	1023	1025	C ₁ ,C ₁ ,C ₁ , C ₂ ,C ₂ ,C ₂	S ₁ , S ₂
E-11	VC-11	771	773	C ₁ ,C ₁ ,C ₁ , C ₂ ,C ₂ ,C ₂	S ₁ , S ₂

Таблица 3.5

Параметры сигналов виртуальных контейнеров при отображении в них сигналов с использованием синхронного побитового ввода

Скорость сигнала АТМ, Мбит/с	VC-n	Количество байтов инф. в цикле VC-n
149760	VC-4	2340
48184	VC-3	756
6,784	VC-2	424
2,176	VC-12	136
1,600	VC-11	100
X x 149760	VC-4-Xc	X x 2340

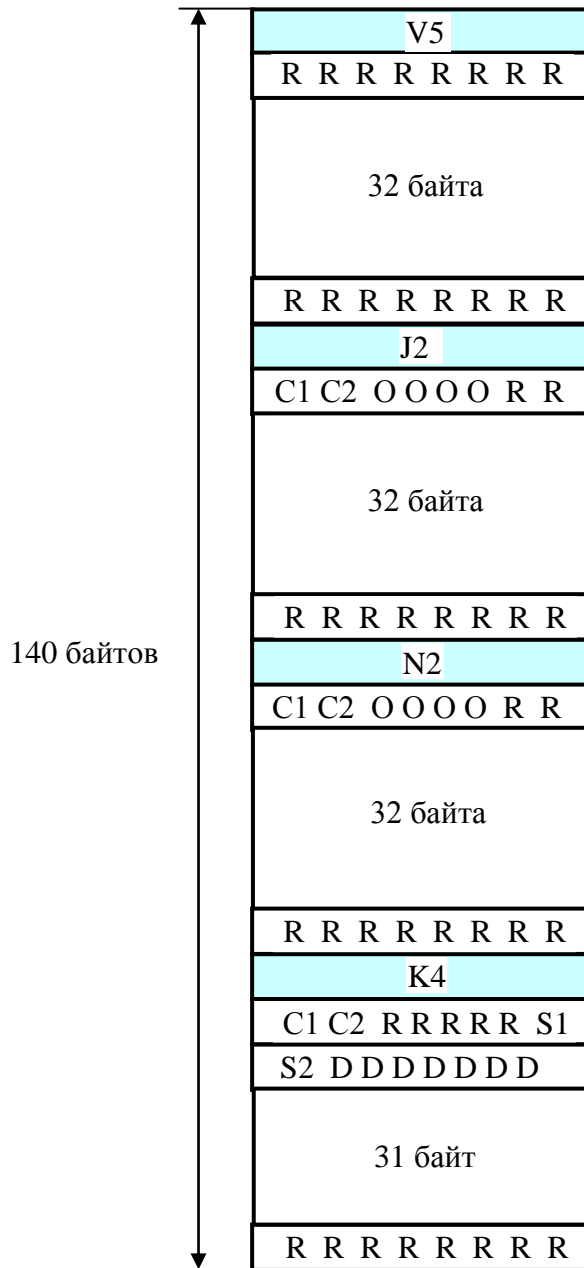


Рис. 3. 9. Асинхронное отображение компонентного сигнала со скоростью 2048 кбит/с с виртуальный контейнер VC-12 на интервале времени 500 мкс

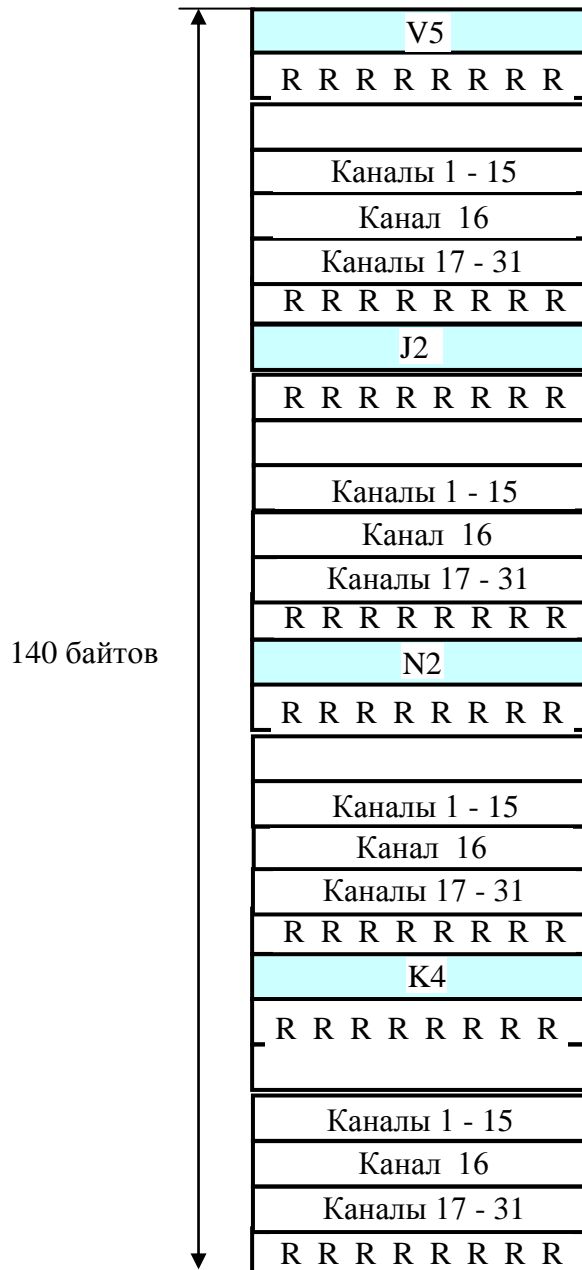


Рис. 3. 10. Синхронное по байтам отображение 31 сигнала со скоростью 64 кбит/с в виртуальный контейнер VC-12 на интервале времени 500 мкс

3.2. Функции завершения трейла

Функции завершения трейла обеспечивают контроль качества и транспортирования характеристической информации в слое. С этой целью используются специальные процедуры. Результаты применения таких процедур кодируются и записываются в байты секционных и трактовых заголовков. Функции завершения трейла на приеме обеспечивают интерпретацию сигналов заголовков. Другими словами, функции завершения трейла в каждом слое – это процедуры создания и чтения заголовков. Для слоев трактов виртуальных контейнеров низкого и высокого порядков, а также для слоев секций функции завершения приведены в материалах G.707.

Существует взаимосвязь между функциями завершения в различных архитектурных слоях транспортной сети. На рис. 3.11. приведена такая взаимосвязь в случае возникновения аварийных ситуаций. Так например, потеря сигнала цикловой синхронизации (**LOF**), обнаруживается в функции завершения регенерационной секции (**RST**), а сама регенерационная секция является сервером для слоя клиента - мультиплексной секции. При этом сервер слой формирует сигнал, состоящий из логических единиц, который и передается в слой клиента. В свою очередь слой мультиплексной секции – сервер слой для слоя клиента - трактов виртуальных контейнеров высокого порядка формирует аналогичный сигнал для слоя клиента и т.д.

На рис. 3.11 используются следующие обозначения транспортных функций:

- HPA** (Higher order path adaptation) - адаптация тракта высокого порядка;
- HPC** (Higher order path connection) – соединение тракта высокого порядка;
- HPT** (Higher order path termination) - завершение трейла тракта высокого порядка;
- LPA** (Lower order path adaptation) - адаптация тракта низкого порядка;
- LPC** (Lower order path connection) - соединение тракта низкого порядка;
- LPT** (Lower order path termination) - завершение трейла тракта низкого порядка;
- MSA** (Multiplex section adaptation) - адаптация мультиплексной секции;
- MST** (Multiplex section termination) - завершение трейла мультиплексной секции;
- RST** (Regenerator section termination) - завершение трейла регенерационной секции.

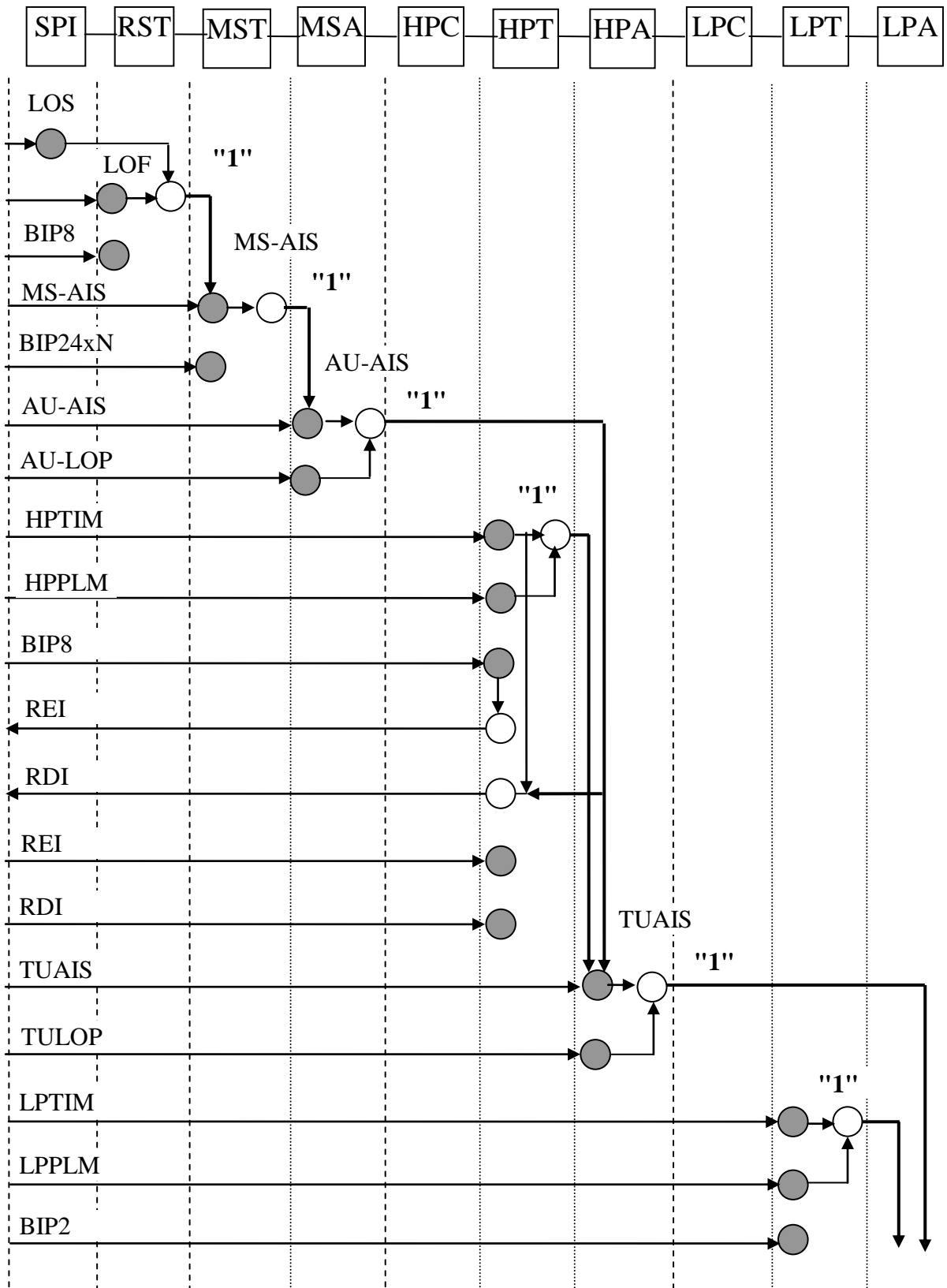


Рис. 3. 11. Взаимодействие сигналов контроля в сетевых слоях

Сигналы аварий и дефектов

LOS	(Loss Of Signal) – потеря сигнала;
LOF	(Loss Of Frame) – потеря цикла;
BIP-8	(Bit Interleaved Parity-8) - код битового чередуемого паритета -8;
MS-AIS	(Multiplex Section Alarm Indication Signal) – индикация аварийного состояния мультиплексной секции;
BIP-24xN	(Bit Interleaved Parity -24xN) код битового чередуемого паритета -24xN;
AU-AIS	(Administrative Unit Alarm Indication Signal) - индикация аварийного состояния административного блока;
AU-LOP	(Administrative Unit Lost Of Pointer) - потеря указателя административного блока;
HP PLM	(Higher Order Path Payload Mismatch) – несовпадение полезной нагрузки тракта высокого порядка;
HP TIM	(Higher Order Path Trace Identifier Mismatch) – несовпадение идентификатора трассы тракта высокого порядка;
REI	(Remote Error Indication) – индикация ошибок удаленного конца;
RDI	(Remote Defect Indication) – индикация дефектов удаленного конца;
TU-AIS	(Tributary Unit Alarm Indication Signal) – индикация аварии трибутарного блока;
TU-LOP	(Tributary Unit Lost Of Pointer) – потеря указателя трибутарного блока;
LPPLM	(Low Order Path Payload Mismatch) – несовпадение полезной нагрузки тракта низкого порядка;
LPTIM	(Low Order Path Trace Identifier Mismatch) - несовпадение идентификатора трассы тракта низкого порядка;
BIP-2	(Bit Interleaved Parity -2) - код битового чередуемого паритета -2.

3.3. Функции соединения

Функции соединения обеспечивают возможность маршрутизации, защиты, восстановления и коммутации с перегруппированием в пределах слоя. Функции соединения осуществляются на индивидуальных матрицах соединений в мультиплексорах. Матрицы выполняются как пространственные или пространственно-временные переключатели. Функции соединений определяются между наборами контрольных точек **ТСР** (завершающая точка соединения) и **СР** (точка соединения), **СР** и **СР**. Они описываются как матрицы на один, два, три или четыре набора портов. Примеры элементарных матриц соединений приведены на рис. 3.12 – 3.15 и в табл. 3.6 – 3.9.

Телекоммуникационные сети синхронной цифровой иерархии имеют сложную конфигурацию, но в основе построения любой сети используются топологии:

1. "Точка – точка".
2. Кольцо.
3. Линейная цепь с функциями ввода- вывода.

В сети с топологией "точка-точка" в качестве мультиплексоров используются терминальные мультиплексоры, матрицы соединений которых имеют два набора портов.

В сети с топологией "кольцо" используются мультиплексоры ввода-вывода, матрицы соединений которых имеют три набора портов.

В качестве промежуточных мультиплексоров в сети "линейная цепь с функциями ввода-вывода" применяются мультиплексоры ввода-вывода, матрицы соединений которых имеют четыре набора портов.

На рис. 3.12 – 3.15 и в табл. 3.6 – 3.9 с агрегатной или линейной стороны матриц соединений включаются контрольные точки **СР**, а с компонентной или трибутарной стороны контрольные точки **ТСР**.

Количество контрольных точек с агрегатной или линейной стороны должно соответствовать полному заполнению сигнала синхронного транспортного модуля данного уровня сигналами виртуальных контейнеров заданного порядка. При отсутствии входной контрольной точки с компонентной стороны (при отсутствии сигнала) к выходной контрольной точке с агрегатной стороны подключается генератор сигнала необорудованного контролируемого виртуального контейнера, который формирует сигнал с трактовым заголовком и нагрузкой, заполненной символами определенной структуры, в частности, это могут быть нулевые символы. На приеме ко входной контрольной точке с агрегатной стороны, куда поступает сигнал необорудованного контейнера, подключается процедура наблюдения трактового заголовка необорудованного виртуального контейнера.

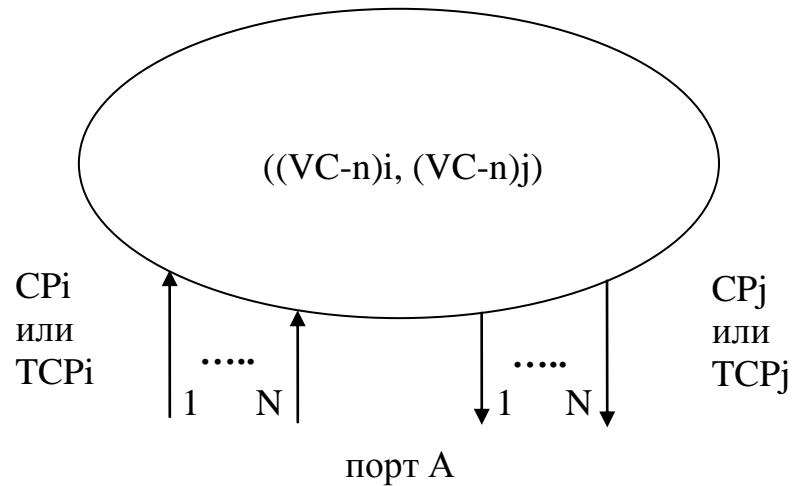


Рис. 3. 12. Пример матрицы соединений для одного порта

Таблица 3.6

Пример матрицы соединений для одного порта

		ВХОД
		A_i
ВЫХОД	A_j	X

Обозначение:

(X) – указывает соединения (T)CP_i – (T)CP_j, возможные для любых значений *i* и *j*.

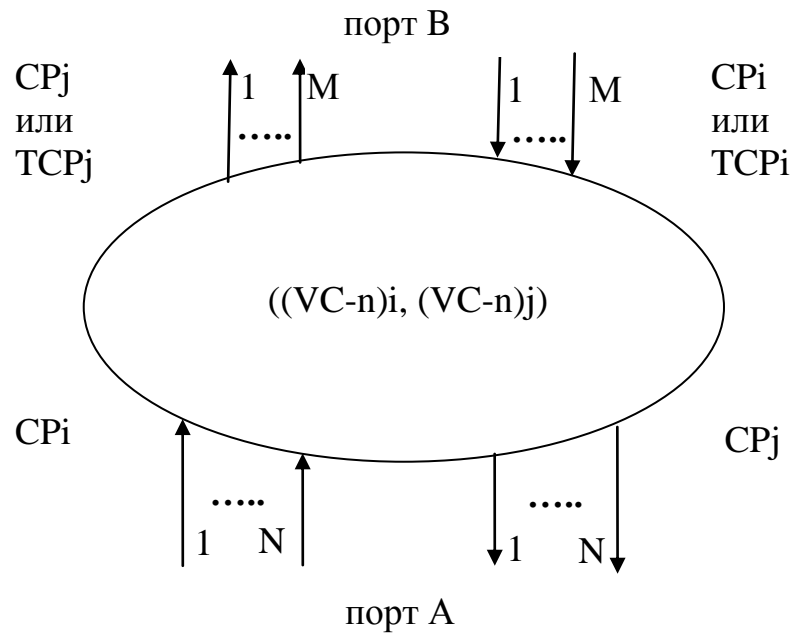


Рис. 3. 13. Пример матрицы соединений для двух портов

Таблица 3.7

Пример матрицы соединений для двух портов

		ВХОД	
		A _i	B _i
ВЫХОД	A _j	i = j	X
	B _j	X	i = j

Обозначения:

(X) - указывает соединения (T)CP_i – (T)CP_j, возможные для любых значений *i* и *j*;

(i = j) - указывает соединения (T)CP_i – (T)CP_j, возможные только в случае *i* = *j*, например, при организации шлейфа.

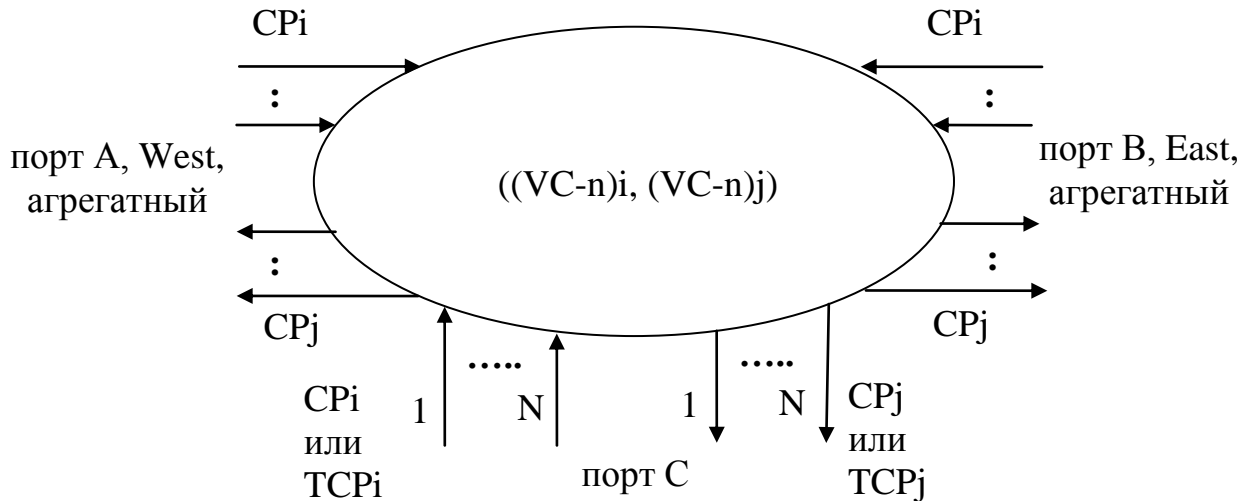


Рис. 3. 14. Пример матрицы соединений для трех портов

Таблица 3.8

Пример матрицы соединений для трех портов

		ВХОД		
		A_i	B_i	C_i
ВЫХОД	A_j	$i = j$	X	X
	B_j	X	$i = j$	X
	C_j	X	X	$i = j$

Обозначения:

(X) - указывает соединения $(T)CP_i - (T)CP_j$, возможные для любых значений i и j ;

$(i = j)$ - указывает соединения $(T)CP_i - (T)CP_j$, возможные только в случае $i = j$, например, при организации шлейфа.

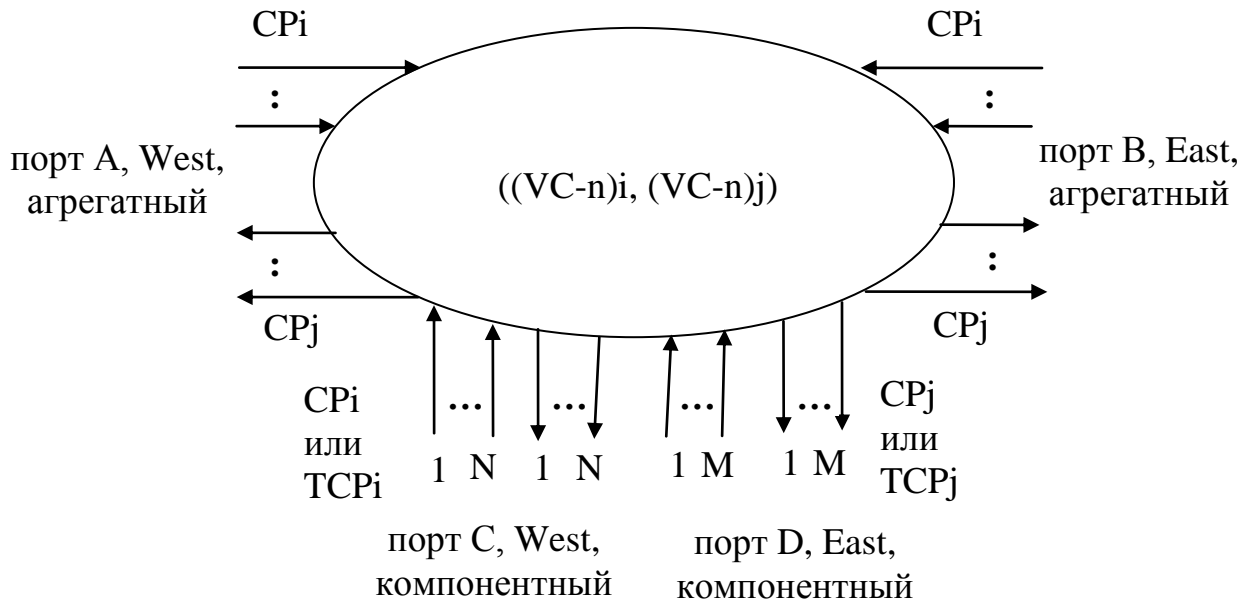


Рис. 3. 15. Пример матрицы соединений для четырех портов

Таблица 3.9

Пример матрицы соединений для четырех портов

		ВХОД			
		A_i	B_i	C_i	D_i
ВЫХОД	A_j	-	$i = j$	X	-
	B_j	$i = j$	-	-	X
	C_j	X	-	-	-
	D_j	-	X	-	-

Обозначения:

(X) - указывает соединения $(T)CP_i - (T)CP_j$, возможные для любых значений i и j ;

$(i = j)$ - указывает соединения $(T)CP_i - (T)CP_j$, возможные только в случае $i = j$, например, при отсутствии тактовой синхронизации;

(-) - указывает на невозможность соединения.

Задачи

3.1. Известны сигналы в интерфейсах цифровых сетей. Привести для заданного сигнала параметры цифровых интерфейсов:

скорости передачи с допустимыми отклонениями от номинальных значений,

коды, их алгоритмы,

фрагмент кодирования двоичного сигнала в коде в данном интерфейсе.

Оценить вероятность появления символов одного знака в цифровом сигнале.

Оценить количество последовательных символов одного знака. Рассчитать избыточность кода.

Номер варианта	Сигнал	Номер варианта	Сигнал
01	Е-0, противонапр. интерфейс	11	Е-0, сонанпр. интерфейс
02	Е-11	12	STM-64
03	Е-12, симм. пара	13	97728 кбит/с
04	Е-21, симм. пара	14	Е-21, коакс. пара
05	Е-22	15	STM-16
06	Е-31	16	STM-1, коакс. пара
07	Е-0, интерфейс с центр. ген.	17	STM-1, опт. волокно
08	Е-4	18	Е-12, коакс. пара
09	Е-21, коакс. пара	19	Е-32
10	STM-4	20	Е-12, симм. пара

3.2. Определить байтовые позиции начала и конца цикла **VC-4** в цикле **STM-N**, если в указателе административного блока была произведена инверсия пяти символов в битах 7 и 8 байта **H1** и в байте **H2**.

Номер варианта	STM-N	Первоначальное значение указателя (в натуральном арифм. коде)	Инверсия пяти битов
01	STM-1	00 00001011	I
02	STM-4	00 00010001	I
03	STM-16	00 00100001	I
04	STM-64	00 00001111	I
05	STM-256	00 00000110	I
06	STM-1	00 00000111	D
07	STM-4	00 10000000	D
08	STM-16	00 00000001	D
09	STM-64	00 00000101	D
10	STM-256	00 00101000	D

3.3. Определить байтовые позиции начала и конца цикла виртуального контейнера низкого порядка **VC-n** в цикле виртуального контейнера высокого порядка, если в указателе трибутарного блока была произведена инверсия пяти символов в битах 7 и 8 байта **V1** и в байте **V2**.

Номер варианта	Виртуальный контейнер низкого порядка	Виртуальный контейнер высокого порядка	Первоначальное значение указателя (в натур. коде)	Инверсия пяти битов
01	VC-11	VC-4	00 00001111	I
02	VC-12	VC-4	00 00000101	I
03	VC-12	VC-3	00 00001000	I
04	VC-2	VC-4	00 00001100	I
05	VC-3	VC-4	00 00001001	I
06	VC-11	VC-4	00 00000111	D
07	VC-12	VC-4	00 00000011	D
08	VC-12	VC-3	00 00001011	D
09	VC-2	VC-4	00 00000100	D
10	VC-3	VC-4	00 11000000	D

3.4. Насколько изменится информационная скорость передачи в тракте виртуального контейнера высокого порядка относительно номинальной при выполнении максимальной (отрицательной или положительной) цифровой коррекции с управляемыми вставками в процессе асинхронного побитового ввода одного из заданных компонентных потоков в виртуальный контейнер низкого порядка.

Привести общее количество и структуру сигналов управления цифровой коррекцией.

Номер варианта	Компонентный сигнал	Виртуальный контейнер низкого порядка	Виртуальный контейнер высокого порядка	Цифровая коррекция
01	E-11	VC-11	VC-4	Отрицательная
02	E-12	VC-12	VC-4	Отрицательная
03	E-2	VC-12	VC-4	Отрицательная
04	E-31	VC-3	VC-4	Положительная
05	E-32	VC-3	VC-4	Отрицательная
06	E-11	VC-11	VC-3	Положительная
07	E-12	VC-12	VC-3	Положительная
08	E-2	VC-2	VC-3	Положительная
09	E-4	-	VC-4	Отрицательная
10	E-4	-	VC-4	Положительная

3.5. Известна топология цифровой сети синхронной цифровой иерархии. Известны компонентные потоки. В мультиплексорах в качестве виртуальных контейнеров высокого порядка используются **VC-4**.

Привести, какие функции соединения используются в сетевых слоях трактов виртуальных контейнеров заданной сети.

Номер варианта	Компонентные сигналы	Топология сети
01	E-11	«точка – точка»
02	E-12	«кольцо»
03	E-2	«линейная цепь с функциями ввода-вывода»
04	E-31	«точка – точка»
05	E-32	«кольцо»
06	E-11	«линейная цепь с функциями ввода-вывода»
07	E-12	«точка – точка»
08	E-2	«кольцо»
09	E-4	«линейная цепь с функциями ввода-вывода»
10	E-4	«кольцо»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулева, Н. Н. Теория построения инфокоммуникационных сетей и систем. Функциональная архитектура транспортных сетей: учебное пособие / Н. Н. Кулева, Е. Л. Федорова; Федеральное агентство связи, ФГОБУВПО «СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича». – СПб. СПбГУТ, 2013. – 56 с.
2. Кулева, Н. Н. Транспортные технологии SDH и OTN: учебное пособие/ Н. Н. Кулева, Е. Л. Федорова; Федеральное агентство связи, ГОУВПО «СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича». – СПб. СПбГУТ, 2009. – 96 с.
3. Бакланов, И. Г. SDH→NGSDH : практический взгляд на развитие транспортных сетей. Современный язык систем эксплуатации связи / И. Г. Бакланов. – М. : Метротек, 2006. – 736 с
4. Беллами, Дж. Цифровая телефония: пер. с англ./ Дж. Беллами; ред.: А.Н. Берлин, Ю. Н. Чернышов. – 3-е изд. – М. : Эко-Трендз, 2004. – 639 с.
5. Слепов, Н. Н. Англо-русский толковый словарь сокращений в области связи и новых информационных технологий : Около 42000 терминов и словарь русских сокращений около 7400 терминов / Н. Н. Слепов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Техносфера, 2013. – 793 с
6. ITU-T Recommendation G.707/Y.1322. Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH), 2007.
7. ITU-T Recommendation G.800. Unified functional architecture of transport networks, 2012.

СОДЕРЖАНИЕ

Список сокращений.....	3
1. Архитектура и ассоциации слоев транспортных цифровых сетей	9
<i>Задачи</i>	17
2. Структура мультиплексирования	18
<i>Задачи</i>	31
3. Функции транспортной сети.....	33
<i>3.1. Функции адаптации</i>	33
<i>3.2. Функции завершения трейла</i>	55
<i>3.3. Функции соединения</i>	58
<i>Задачи</i>	63
Список литературы.....	66

**Кулева Наталия Николаевна,
Федорова Елена Леонтьевна**

**Перспективные технологии
в инфокоммуникационных системах.
Архитектура SDN**

Учебное пособие

Ответственный редактор
К. т. н., доцент кафедры Сетей связи и передачи данных СПбГУТ
Е. Л. Федорова

Редактор
Компьютерная верстка

План издания 201__ г., п. __
Подписано к печати _____
Объем 4,25 усл.-печ. л. Тираж __ экз. Заказ _____
Редакционно-издательский отдел СПбГУТ