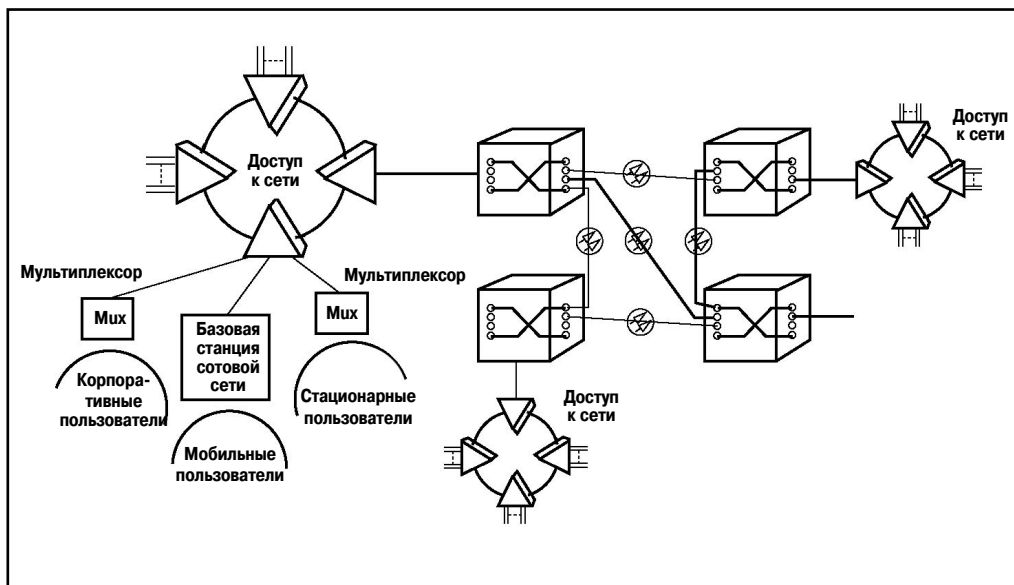

Синхронизация телекоммуникационных сетей:

Синхронизация сети SDH/SONET

Сообщение по применению 1264-2



Содержание

I.	Введение	4
II.	Основы передачи сигналов в сетях SDH и SONET	5
	Мультиплексирование в сети SDH	5
	Мультиплексирование в сети SONET	6
	Указатели и выравнивание указателей	8
	Размещение полезной нагрузки	8
III.	Эффективность синхронизации и источники	
	выравнивания указателей	11
	Идеальный режим и случайные отклонения фазы	11
	Напряженный режим	12
	Режим удержания частоты	12
IV.	Воздействие синхронизации SDH/SONET на полезные	
	нагрузки DS3	13
	Число выравниваний указателя в сети	13
	Джиттер полезных нагрузок DS3, вносимый сетью	
	SDH/SONET	14
	Требования к сети для поддержания трафика DS3 в	
	SDH/SONET	15
V.	Воздействие синхронизации SDH/SONET на полезные	
	нагрузки DS1 и E1	16
	Число выравниваний указателя DS1/E1	16
	Джиттер полезных нагрузок DS1 и E1, вносимый сетью	
	SDH/SONET	17
	Дрейф полезных нагрузок DS1 и E1, вносимый сетью	
	SDH/SONET	17
	Пригодность для передачи тактовых сигналов	18
	Услуга предоставления канала DS1/E1 частному	
	абоненту сети	19
	Требования к сетям SDH/SONET по поддержке	
	трафика DS1 или E1 в	19
VI.	Планирование синхронизации в сети SDH	21
	Распределение опорного сигнала	21
	Требования к источнику-размножителю	
	синхросигналов	21
	Требования к тактированию сетевого элемента SDH ...	22
VII.	Планирование синхронизации в сети SONET	23
	Распределение опорного сигнала	23
	Требования к источникам синхросигнала BITS	23
	Требования к тактированию сетевого элемента	
	сети SONET	24
VIII.	Заключение	25
	Литература	26

I. Введение

Синхронная цифровая иерархия (SDH) и синхронная оптическая сеть (SONET) являются новыми системами передачи данных, предназначенными для стандартизированной высокоскоростной связи по оптическим линиям. Технологии SDH и SONET упрощают построение сетей связи, обеспечивают совместимость средств различных изготовителей, имеют стандартизированные интерфейсы и стандартизированные заголовки для работы, администрирования, технического обслуживания и предоставления услуг абонентам.

Введение технологий SDH и SONET выдвигает новые требования к синхронизации сети. Характеристики большинства существующих телекоммуникационных сетей требуют усовершенствования. В первую очередь это касается кратковременных характеристик (нестабильность частоты тактового генератора за время до 1000 секунд). Это обуславливает необходимость использования высококачественных тактовых генераторов. Долговременные характеристики также требуют внимательного изучения, так как многие администраторы сетей начинают использовать множество первичных источников опорных сигналов (PRS) и укорачивать цепи синхронизации для поддержания минимальной величины дрейфа. Все эти меры направлены на исключение ошибок при передаче сигналов DS1, E1 и DS3, которые проходят через сети SDH и SONET.

В разделе II данного сообщения по применению приводятся основные положения, касающиеся сетей SDH и SONET, необходимые для понимания некоторых вопросов синхронизации в каждой из них. В разделе III рассматривается работа синхронизации сети и ее влияние на функционирование сетей SDH и SONET. Влияние, которое SDH и SONET оказывают на передачу сигналов в существующей плезиохронной цифровой иерархии (PDH), рассматривается в разделах IV и V. В разделе IV внимание сосредоточено на проблемах транспортирования сигнала DS3 в системах SDH и SONET, а в разделе V описано влияние на транспортирование сигналов DS1 и E1. Требования к синхронизации, необходимые для поддержания сети SDH, обсуждаются в разделе VI, а для сети SONET – в разделе VII.

Основные принципы синхронизации в сетях SDH и SONET идентичны. Поэтому в данном сообщении по применению описание общих свойств будет относиться к обеим системам SDH и SONET. Однако существуют различия в архитектуре и применении сетей, использующих каждую из этих систем. Когда речь будет идти только об одной из систем, ясность будет вноситься указанием ее наименования.

Дополнительные сведения, касающиеся синхронизации сети, содержатся в двух отдельных сообщениях по применению HP [1, 2].

II. Основы передачи сигналов в сетях SDH и SONET

В этом разделе рассмотрены основные принципы передачи сигналов в сетях SDH и SONET, необходимые для понимания вопросов синхронизации. В обеих сетях осуществляется синхронное мультиплексирование сигналов. Это дает два основных преимущества: одноступенчатое мультиплексирование и возможность кросс-коммутации и мультиплексирования ввода-вывода.

В существующих асинхронных системах для достижения более высокой скорости передачи сигналов необходимо мультиплексировать сигнал на каждом уровне иерархии передачи. Например, сигналы DS1 мультиплексируются в DS2, затем DS2 в DS3, затем DS3 в высокоскоростные сигналы оптической линии. В SDH/SONET мультиплексирование выполняется за один шаг, так как сигнал синхронный.

Второе основное преимущество заключается в возможности кросс-коммутации и мультиплексировании ввода-вывода. Для получения сигнала DS1 или E1 в существующих асинхронных системах должен быть демultipлексирован полный сигнал. Высокоскоростной сигнал оптической линии должен быть демultipлексирован в DS3, DS3 в DS2, DS2 в DS1 или E1. Необходимо иметь все сигналы DS1 или E1, чтобы получить один из них. В SDH/SONET DS1 или E1 могут быть получены без демultipлексирования полного сигнала.

Мультиплексирование в сети SDH

Синхронный транспортный модуль уровня 1 (STM-1), имеющий скорость передачи 155,520 Мбит/с, обеспечивает базовую скорость потока для SDH [3]. Все менее скоростные полезные нагрузки, такие как DS1, E1 или DS3 упаковываются в STM-1 [4]. Более скоростные сигналы формируются путем мультиплексирования N транспортных модулей STM-1 в STM-N. Никаких дополнительных заголовков или дополнительной обработки при этом не требуется. Сигнал STM-1 состоит либо из сигналов трех административных блоков уровня 3 (AU-3), либо из сигнала одного блока AU-4.

Полезные нагрузки могут быть упакованы в SDH несколькими способами, как показано на рисунке 1. Сигналы DS1 или E1 сначала упаковываются в виртуальный контейнер (VC-11, VC-12, соответственно). Этот виртуальный контейнер VC содержит полезную нагрузку и информацию заголовка. VC-11 или VC-12 затем упаковываются в более скоростной виртуальный контейнер VC, такой как VC-3, который может быть также использован для переноса сигналов DS3. Сигнал VC-3 имеет дополнительную информацию заголовка. Более скоростной сигнал VC затем упаковывается в сигнал AU-3 или AU-4, которые входят в состав STM-1.

Мультиплексирование в сети SONET

Сеть SONET аналогична сети SDH, но использует другие строительные блоки для транспортирования потоков [5]. Основным блоком SONET является синхронный транспортный сигнал уровня 1 (STS-1), имеющий скорость передачи 51,84 Мбит/с. Все менее скоростные полезные нагрузки упаковываются в STS-1. Несколько блоков STS мультиплексируются в STS-N.

В иерархии SONET полезные нагрузки DS1 сначала упаковываются в виртуальные компонентные потоки нагрузки, называемые VT1.5 (рисунок 2). Виртуальные компонентные потоки нагрузки VT подобны виртуальным контейнерам VC в SDH в том, что они также содержат полезную нагрузку и информацию заголовка. Виртуальные компонентные потоки нагрузки VT1.5 затем упаковываются в STS-1 SPE. Полезные нагрузки DS3 непосредственно упаковываются в STS-1 SPE.

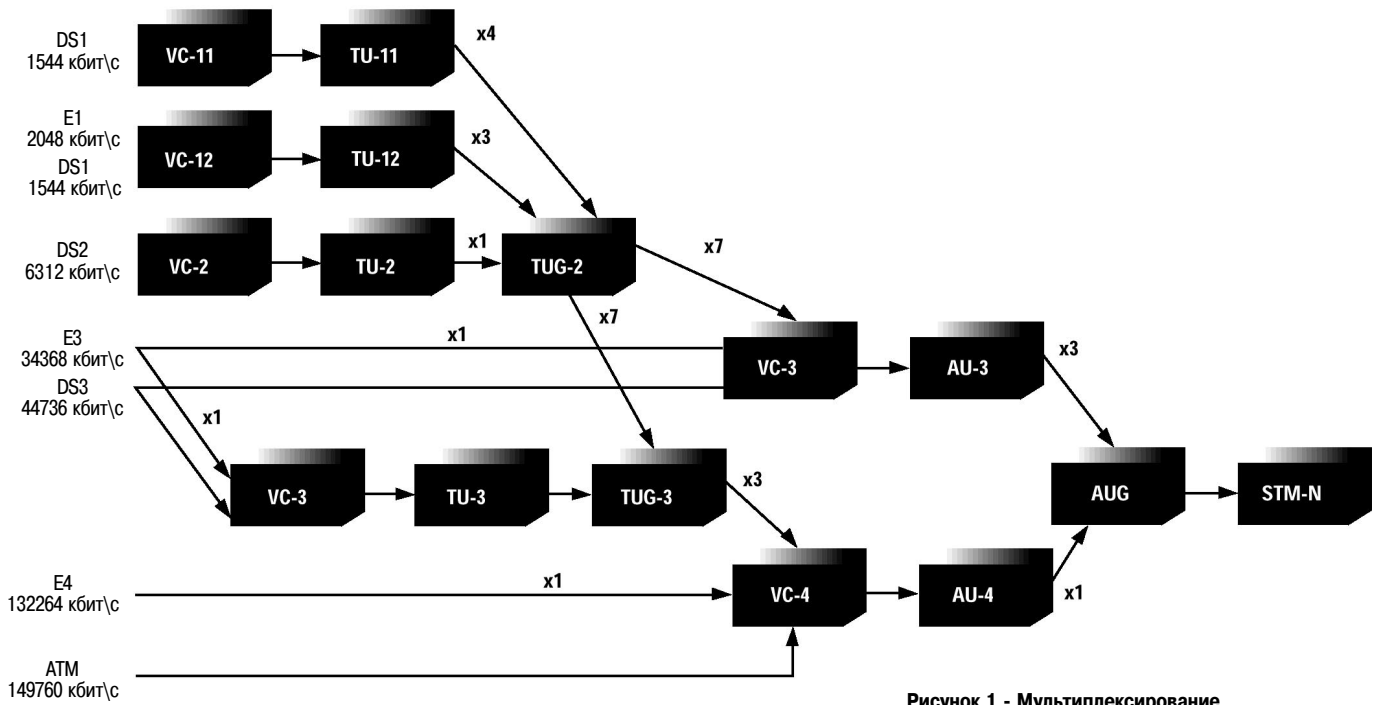


Рисунок 1 - Мультиплексирование в сети SDH

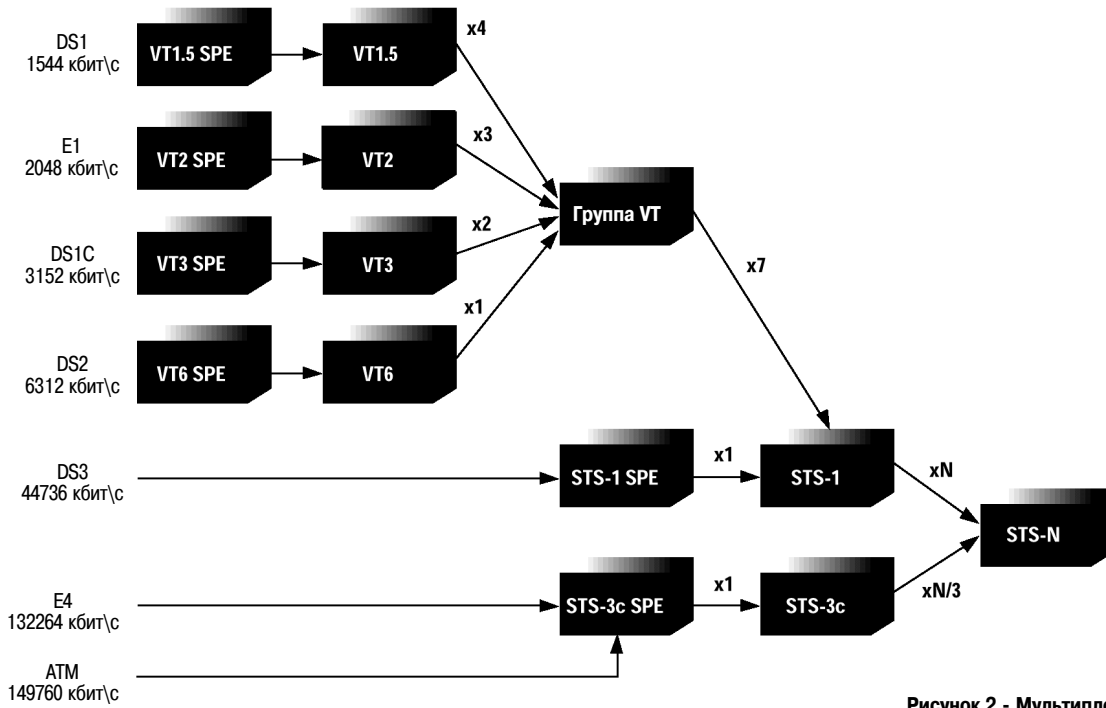


Рисунок 2 - Мультиплексирование в сети SONET

Указатели и выравнивание указателей

SDH и SONET для переноса сигнала используют указатели полезной нагрузки. Указатель содержит фактический адрес начала виртуального контейнера на карте поля, отведенного под полезную нагрузку в структуре SDH/SONET.

Разность фаз и частот между двумя сетевыми элементами (NE) в SDH/SONET может быть компенсирована с помощью указателей полезной нагрузки. Если передающий NE SDH/SONET работает быстрее приемного, последний будет создавать отрицательное выравнивание указателя и сдвигать полезную нагрузку вперед на один байт или восемь бит, как показано на рисунке 3. Таким образом приемный NE будет подстраиваться под передающий без потери информации. Аналогично, если передающий NE более медленный, чем приемный, возникнет положительное выравнивание указателя на один байт, как показано на рисунке 4.

Размещение полезной нагрузки

Сигналы DS3 размещаются в SDH/SONET с использованием вставки битов (стаффинга) для компенсации расхождения в тактировании между DS3 и SDH/SONET.

Сигналы DS1 и E1 могут размещаться одним из четырех методов [4, 5, 6]: асинхронное размещение, плавающее байт-синхронное размещение, фиксированное байт-синхронное размещение и бит-синхронное размещение.

При асинхронном размещении сигнал DS1 или E1 размещаются в VT1.5 или VC-12/13 асинхронно с использованием вставки битов для устранения расхождений в тактировании. Для определения начала кадра VT/VC используются указатели. При асинхронном размещении сигналы DS1 или E1 транспортируются без проскальзывания и без повторного тактирования. Однако система будет подвержена действию выравнивания указателей, которое будет происходить из-за возможной разности частот между сетевыми элементами в тракте передачи.

Плавающее байт-синхронное размещение отличается от асинхронного тем, что не использует вставки битов для устранения расхождения в тактировании полезных нагрузок и сетевых элементов. Такое размещение обеспечивает прямой доступ к сигналам DS0. Однако при этом необходимо, чтобы DS1 или E1 были синхронизированы с сетевым элементом SDH/SONET. Любое расхождение в частотах между входной полезной нагрузкой и первым сетевым элементом SDH/SONET в тракте передачи ведет к появлению проскальзываний.

Фиксированное байт-синхронное размещение не допускает использования какой бы то ни было вставки битов или указателей в процессе размещения. Следовательно, DS1 или E1 должен быть синхронизирован с сетевым элементом SDH/SONET. Для

согласования тактирования по всему тракту транспортировки сигнала должен быть предусмотрен буфер проскальзывания.

Бит-синхронное размещение аналогично фиксированному байт-синхронному размещению, за исключением того, что при этом не предполагается, что структура DS1 или E1 организована в составе DS0. DS1 или E1 пересылаются в виде одиночного битового потока с кадрами DS0 или DS1/E1 или без них.

Предполагается, что большинство сетей будут использовать асинхронное размещение для транспортирования сигналов DS1 и E1.

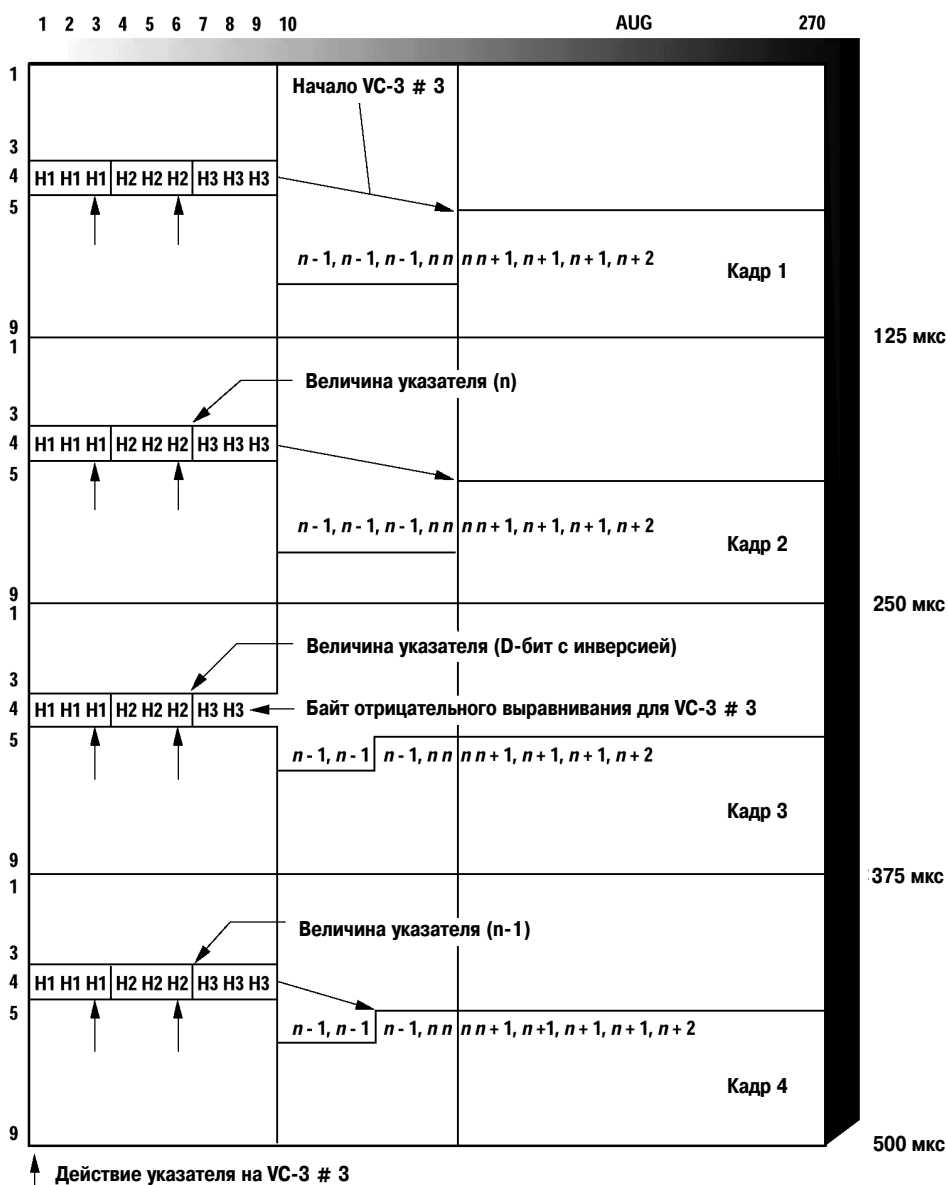


Рисунок 3 - Операция выравнивания указателя AU-3 - отрицательное выравнивание

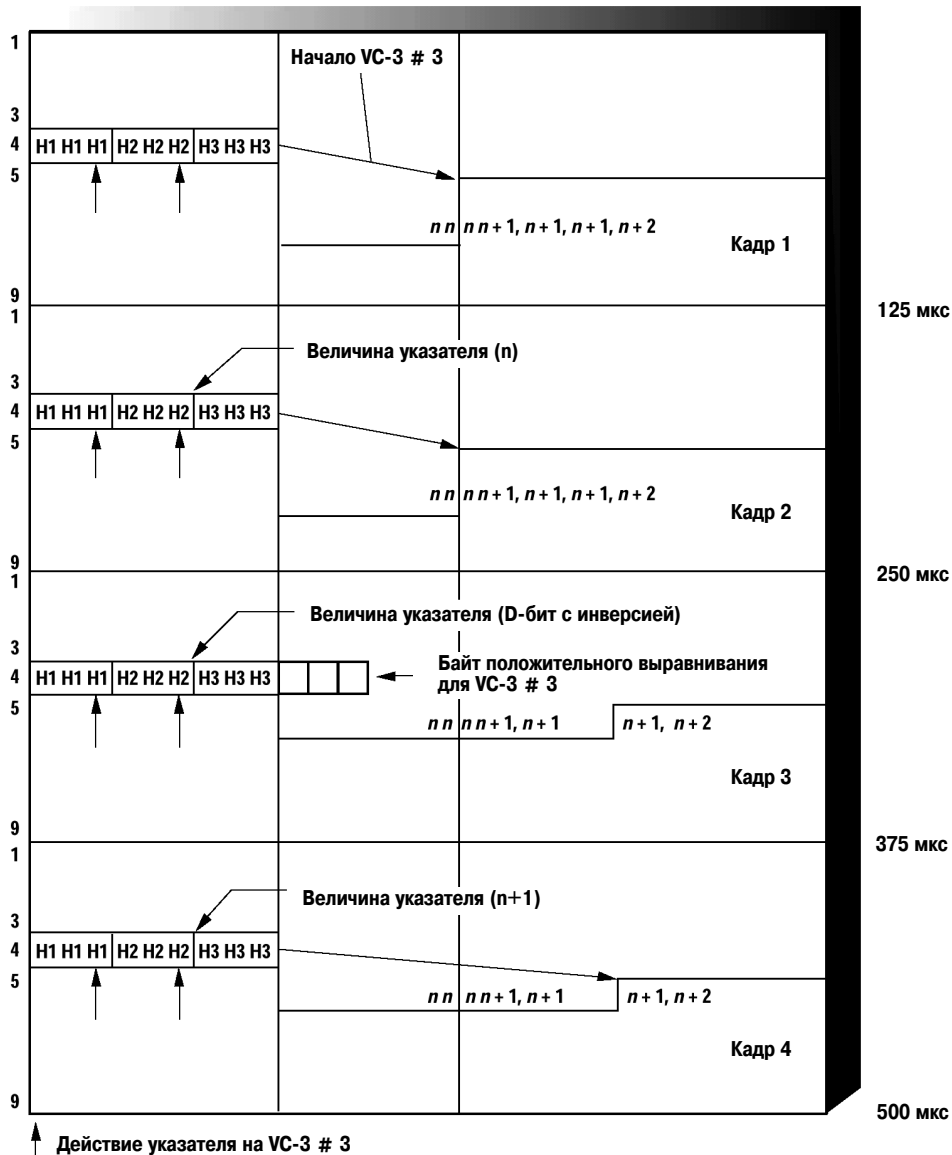


Рисунок 4 - Операция выравнивания указателя AU-3 - положительное выравнивание

III. Эффективность синхронизации и источники выравнивания указателей

Выравнивание указателей происходит, когда тактовые частоты передающих сетевых элементов SDH/SONET отличаются от тактовых частот приемных сетевых элементов. Качество работы системы синхронизации каждого элемента в сети типично характеризуется тремя составляющими: точностью задающего тактового генератора, характеристиками оборудования, распределяющего опорный сигнал, и характеристиками тактовых генераторов приемников, получающих опорный сигнал от соответствующего оборудования [1]. Погрешность синхронизации задающего генератора синхросигналов обычно вносит малый вклад в погрешность тактирования сети синхронизации [1]. Основным вкладом обуславливают характеристики распределительного оборудования и тактового генератора приемника.

Тактовый генератор приемника характеризуется качеством его работы в трех режимах [7]:

- идеальный режим
- напряженный режим
- режим удержания частоты

Идеальный режим характеризует кратковременное поведение тактового генератора, что имеет важное значение с точки зрения управления выравниванием указателей в сетях SDH и SONET. Напряженный режим является типичным режимом работы, при котором предполагается, что тактовый генератор синхронизируется общим для всего оборудования источником опорного сигнала, который имеет кратковременные нарушения работы. Режим удержания частоты характеризует работу тактового генератора в том редком случае, когда могут быть потеряны все поступающие на него опорные сигналы синхронизации.

Основные источники выравнивания указателя связаны с этими режимами работы тактового генератора. В идеальном режиме сигнал тактового генератора имеет случайные отклонения фазы, которые существенно влияют на выравнивание указателя DS3. В напряженном режиме работы происходит накопление фазовых ошибок в сети, которые могут быть главной причиной выравнивания указателей DS1 и E1. В режиме удержания частоты образуется непрерывный поток периодических указателей DS3, E1 и DS1.

Идеальный режим и случайные отклонения фазы

В идеальном режиме работы тактового генератора приемника не происходит пропадания поступающего на него опорного сигнала синхронизации. Хотя этот режим и не является типичным для реальных условий работы сети, понимание работы тактового генератора в этом режиме позволяет оценить его предельные возможности. В этом режиме также проявляются кратковременные шумы тактового генератора, которые обуславливают появление выравниваний указателя DS3 в сетях SDH/SONET, в результате чего возникает джиттер полезной нагрузки DS3.

Напряженный режим

Этот режим соответствует реальным условиям работы тактового генератора приемника, когда возможны кратковременные пропадания опорного сигнала синхронизации. Число пропаданий может находиться в пределах от 1 до 100 за сутки.

Все пропадания сигнала синхронизации будут воздействовать на тактовый генератор приемника. Во время пропадания сигнала его нельзя использовать. Когда сигнал синхронизации восстанавливается или его пропадание сохраняется, но тактовый генератор переключается на синхронизацию от другого источника опорного сигнала, возникает некоторый сдвиг во времени между сигналом местного тактового генератора приемника и вновь восстановленным опорным сигналом. Эта временная ошибка появляется при каждом пропадании сигнала синхронизации и зависит от конструкции тактового генератора. Величина ошибки не должна превышать 1 микросекунды [8, 9].

Величина ошибки в 1 микросекунду может вызвать до семи выравниваний указателя DS3, которые могут происходить за очень короткий интервал времени. Сетевой элемент SDH/SONET выполняет эту операцию без появления ошибок в полезной нагрузке DS3.

Однократное пропадание опорного сигнала не будет влиять на транспортировку DS1 или E1 в системе SDH/SONET, так как выравнивания указателей DS1 или E1 начинаются при ошибке по времени в 4,6 и 3,5 микросекунды, соответственно. К сожалению, ошибка по времени, обусловленная пропаданием опорного сигнала, накапливается [1]. Это является основной причиной влияния на указатели DS1 или E1.

Режим удержания частоты

Тактовый генератор приемника переходит в режим удержания частоты в том редком случае, когда все опорные сигналы синхронизации теряются на значительный интервал времени. В режиме удержания частоты отслеживаются два параметра: начальное смещение частоты и частотный дрейф. Начальное смещение частоты определяется точностью установки частоты местного гетеродина тактового генератора и уровнем шума в опорном синхросигнале, когда тактовый генератор впервые входит в режим удержания частоты. Частотный дрейф обусловлен старением кварца гетеродина.

Когда сетевой элемент SDH/SONET находится в режиме удержания частоты или синхронизирован другим тактовым генератором, находящимся в режиме удержания частоты, происходит непрерывное накопление фазовых ошибок. В этом случае образуется непрерывный поток выравниваний указателя. Темп этого процесса увеличивается по мере дрейфа частоты тактового генератора, находящегося в режиме удержания частоты.

IV. Воздействие синхронизации SDH/SONET на полезные нагрузки DS3

SDH/SONET может влиять на транспортировку сигнала DS3, даже если он асинхронный [1]. Это обусловлено выравниванием указателей полезной нагрузки. Изменение указателя полезной нагрузки отражает изменение ее положения на один байт или 8 UI (UI - единичный интервал, представляющий период времени, необходимый для пересылки одиночного бита). Это несовместимо с существующими системами DS3, поскольку они допускают только 5 UI джиттера. Только 5 UI отклонения фазы допускается на входе оборудования DS3. Если предел 5 UI превышен, оборудование DS3 может оказаться не в состоянии считывать входные данные, что приведет к ошибке передачи.

Чтобы приемное оборудование DS3 могло принимать сигнал без ошибки, в SDH и SONET необходимо замедлить (профильтровать) фазовые отклонения, вызванные выравниванием указателя. Однако если это замедление окажется слишком большим, может возникнуть перекрытие с фазовыми отклонениями, вызванными следующим выравниванием указателя. Технология сети SDH/SONET требует, чтобы ограничение выравнивания указателей было сбалансировано с ограничением требований к фильтрации. Первое обстоятельство определяет требования к эффективности работы синхронизации сети и затраты на их выполнение; второе – требования и расходы на оборудование сети SDH/SONET.

В плане общей тенденции ANSI (Американский национальный институт стандартов) выполнил работы по специфицированию технологии SONET с целью ее использования в существующих сетях с минимальными изменениями. Это наложило больше требований на оборудование SONET. ETSI (Европейский институт стандартов в области связи) и ITU (Международный институт электросвязи) приняли несколько другой подход и установили меньшие требования по синхронизации оборудования SDH и более жесткие – к сети синхронизации.

Число выравниваний указателя в сети

Число выравниваний указателя в сети можно определить, рассмотрев работу в трех режимах, которые обсуждались в разделе III: идеальный, напряженный и режим удержания частоты.

В идеальном режиме работы все тактовые генераторы в сети синхронизации имеют некоторые случайные фазовые отклонения. Модели, построенные на основе использования характерных случайных фазовых отклонений, измеренных в телекоммуникационных сетях, показали, что выравнивание указателей полезных нагрузок DS3 может происходить каждые 20-100 секунд. Число выравниваний указателя DS3 существенно зависит от кратковременной (менее 1000 секунд) нестабильности тактовой частоты в сети. Кроме того, было установлено, что может происходить до трех выравниваний указателя одновременно.

Второй основной причиной погрешности тактирования является работа тактовых генераторов в напряженном режиме и результирующие восстановления синхронизации. Ошибка тактирования, вызванная восстановлением синхронизации, ограничена 1 микросекундой [8, 9]. Однако такие фазовые отклонения могут вызывать до семи выравниваний указателя DS3. Эти семь выравниваний могут происходить за очень короткий интервал времени. Сетевой элемент SDH/SONET должен обладать способностью разнести эти выравнивания так, чтобы полезная нагрузка DS3, выходящая из сетевого элемента, не подвергалась джиттеру более чем в 5 UI. Число таких событий может быть от 1 до 100 за сутки, в зависимости от архитектуры сети и качества работы оборудования.

Режим удержания частоты создает разность частот между тактовыми генераторами, что является третьей причиной погрешности тактирования. В этом режиме частота тактового генератора дрейфует относительно тактовой частоты сети. Это приводит к появлению непрерывного потока событий выравнивания указателя полезной нагрузки. Для сетевых элементов SONET в этом режиме выравнивание указателя может происходить каждые 34 миллисекунды. Для SDH – каждые 320 миллисекунд.

Джиттер полезных нагрузок DS3, вносимый сетью SDH/SONET

Для поддержания джиттера полезных нагрузок DS3 в пределах требуемых 5 UI ANSI установил норму на величину джиттера полезной нагрузки, вносимого сетью SONET [10]. Для DS3 нормы, установленные ANSI, приведены в таблице 1. Следует отметить, что все данные таблицы включают джиттер, вызванный размещением DS3.

Таблица 1 – Нормы ANSI на джиттер DS3 для интерфейсов SONET

Размещение	0,4 UI
Одиночный указатель	0,7 UI
Тройные пачки указателей	1,3 UI
Переходный процесс при изменении фазы	1,2 UI
Периодичности	1,0 UI
Периодичности + одиночный указатель	1,3 UI

Уровни джиттера даны для каждого случая, описанного в предыдущем разделе. Джиттер размещения, одиночного указателя и тройных пакетов указателя относятся к идеальному режиму работы. Норма «Переходный процесс при изменении фазы» относится к случаю восстановления синхронизации тактового генератора в напряженном режиме. Джиттер в режиме удержания частоты определяется нормами в строках «Периодичности».

Требования к сети для поддержания трафика DS3 в SDH/SONET

Требования к сети для поддержания трафика DS2 в SDH/SONET направлены на уменьшение числа выравнений указателя DS3. Вновь обсуждаются три основных источника выравнения указателей.

Для ограничения случайных отклонений фазы и происходящих в результате этого выравнений указателя должен быть ограничен кратковременный шум в тактовых генераторах сети синхронизации.

По нормам ANSI полосно-ограниченный кратковременный шум на выходе любого тактового генератора не должен превышать 100 наносекунд [8]. Кроме того, полосно-ограниченный кратковременный шум от интегрального источника тактовой синхронизации (BITS) не должен превышать 17 наносекунд. Это подразумевает, что сеть функционирует в соответствии со стандартом Bellcore stratum 3E [11] или на уровнях использования местного тактового генератора, как определено ITU, и цепи синхронизации в сети ограничены.

Некоторые мероприятия по администрированию содержат жесткие требования по уменьшению числа восстановлений синхронизации тактового генератора и их воздействия на SDH/SONET, хотя это не является абсолютно необходимым для транспортировки DS3. Для этого принимаются такие меры, как укорочение цепей синхронизации, использование для синхронизации сигналов, более приближенных к первичным источникам и/или выбор для сетей синхронизации высококачественного оборудования, вносящего малые погрешности. Для уменьшения воздействия восстановления синхронизации тактового генератора некоторые мероприятия по администрированию требуют, чтобы время восстановления синхронизации не превышало 1 микросекунды [11], тогда как ETSI и ITU предлагают использовать тактовые генераторы с более медленной реакцией, делая ставку на разнесение семи выравнений указателя, которые могут возникнуть.

Влияние режима удержания частоты не является серьезной проблемой. Тактовые генераторы редко входят в этот режим на время более нескольких минут, поскольку подключаются другие опорные источники [1]. Необходимо только, чтобы режим удержания частоты использовался в соответствии с нормой stratum 3 для сетей SONET, а для сетей SDH использовались местные тактовые генераторы.

V. Воздействие синхронизации SDH/SONET на полезные нагрузки DS1 и E1

Воздействие SDH/SONET на полезные нагрузки DS1 и E1 отличается от воздействия на сигналы DS3. Выравнивание указателя для DS1 или E1 вызывает изменение фазы на 8 UI. Это, как и в случае с DS3, несовместимо с требованием к оборудованию DS1 и E1, допускающим величину джиттера не более 5 UI. Поэтому оборудование SDH/SONET должно обеспечить замедление (фильтрацию) выравнивания указателя. Для DS1 и E1 особенность состоит в том, что в этом случае выравнивание указателей не происходит так часто. Поэтому относительно несложно обеспечить замедление одного выравнивания указателя без перекрытия с процессом следующего выравнивания.

Еще одна особенность, касающаяся полезных нагрузок DS1 и E1 в SDH/SONET, состоит в появлении их дрейфа, который возникает в результате накопления событий выравнивания указателя. Это не относится к DS3, так как сигналы DS3 передаются асинхронно.

Число выравниваний указателя DS1/E1

Как и в случае выравнивания указателя DS3, число выравниваний указателей DS1/E1 определяется для трех режимов работы, рассмотренных в разделе III: идеального, напряженного и режима удержания частоты.

Моделирование, основанное на случайных отклонениях фазы тактового сигнала генераторов, работающих в идеальном режиме, показало что выравнивания указателя DS1 на полезной нагрузке DS1 могут происходить через каждые 1200-8000 секунд. Это настолько редко, что одновременное возникновение двух событий выравнивания указателей маловероятно.

Поскольку при восстановлении синхронизации возникает фазовая ошибка в 1 микросекунду или менее, должно произойти несколько таких событий для накопления фазовой ошибки, достаточной для выравнивания указателей DS1 или E1. Выравнивание указателей DS1 и E1 происходит при ошибке тактирования в 4,6 или 3,5 микросекунды, соответственно. Число выравниваний указателей DS1/E1 в напряженном режиме зависит от числа восстановлений синхронизации в сети. Последнее, в свою очередь, существенно зависит от архитектуры сети, качества системы тактирования и характеристик оборудования. Число восстановлений синхронизации может быть от менее одного до сотен за сутки. Даже в случае большого числа восстановлений выравнивания указателей DS1/E1 будут происходить как отдельные события.

В режиме удержания частоты источника тактовых сигналов даже наихудший сетевой источник (норма stratum 3) вызовет только одно смещение указателя за каждые 12 секунд для полезной нагрузки DS1 и каждые 9 секунд для сигналов E1. Сетевой элемент SDH или SONET в режиме удержания частоты вызовет смещение указателя для DS1 (E1) каждые девять (семь) секунд. Повторное появление таких смещений в виде дискретных индивидуальных событий наблюдается довольно редко.

Важно отметить, что в сети не существует механизмов, которые могли бы привести к достаточно большим фазовым отклонениям, могущим вызвать два одновременных выравнивания указателей DS1/E1. Во всех режимах работы сети (идеальном, напряженном и удержания частоты) происходят только одиночные выравнивания указателя.

Джиттер полезных нагрузок DS1 и E1, вносимый сетью SDH/SONET

Для поддержания джиттера полезных нагрузок DS3 в пределах 5 UI, ANSI установил норму на величину джиттера полезной нагрузки, вносимой сетью SONET [12] (таблица 2). Часть общей величины джиттера 5 UI для оборудования DS1 и E1 обусловлена асинхронным переносом DS3 в сети. ANSI нормирует эту составляющую джиттера в пределах 2,5 UI. Остальные 2,5 UI приходится на перенос сигналов в сети SONET. В таблице 2 приведены нормы для однократного выравнивания указателя в идеальном и напряженном режимах.

Таблица 2 - Требования ANSI на величину джиттера DS1 для интерфейсов SONET

Размещение	0,7 UI
Однократный положительный указатель	0,6 UI
Однократный отрицательный указатель	0,6 UI
Однократные положительные указатели в режиме удержания частоты	0,6 UI
Однократные отрицательные указатели в режиме удержания частоты	0,6 UI

Дрейф полезных нагрузок DS1 и E1, вносимый сетью SDH/SONET

Основное влияние сети SDH/SONET на DS1 и E1 заключается в появлении дрейфа. G. Gardner [13] показал, что в случае типовых транспортных сетей SDH/SONET добавляет к сигналу DS1/E1 90 микросекунд дрейфа в день. Дрейф более 18 микросекунд может вызвать появление проскальзываний [1], хотя большинство оборудования DS1 и E1 может обрабатывать до 90 микросекунд дрейфа без риска появления проскальзывания. На основании этого ITU [9] и EIA/TIA [14] требуют, чтобы дрейф при транспортировке DS1 и E1 не превышал 18 микросекунд.

Для выполнения этого требования ANSI выработал систему показателей распределения дрейфа для одиночной линии DS1. Эти показатели приведены в таблице 3. Приведенные значения дрейфа относятся только к линиям DS1, предназначенным для транспортировки сигналов, но не к линиям DS1, используемым для передачи сигналов синхронизации.

Таблица 3 – Нормы ANSI на распределение величин дневного дрейфа линии DS1 при транспортировке сигналов

Коммутаторы сети	3,7 мкс
Размещение DS1- DS3	0,3 мкс
Размещение DS1- VT1.5	2,6 мкс
Оптоволоконный кабель	1,3 мкс
SONET	10,1 мкс

Сети, которые удовлетворяют существующим требованиям ANSI [8] ITU [9] в части синхронизации, не могут обеспечить норму дрейфа 10,1 микросекунды для сигналов DS1, транспортируемых

в сети SONET. Один из путей для выполнения этой нормы состоит в ужесточении требований к сети синхронизации. Garner [13] пришел к заключению, что для выполнения нормы дрейфа 10,1 микросекунды временные характеристики сети синхронизации должны быть в 10-100 раз лучше, чем это регламентируется нормами ANSI и ITU. Для этого потребуются два основных изменения в сети: первое – улучшение характеристик сигнала синхронизации в идеальном режиме работы, особенно в пределах времени от 100 до 1000 секунд; второе – значительное ужесточение требований к характеристикам в напряженном режиме.

Пригодность для передачи тактовых сигналов

Полезные нагрузки, которые передаются сетью SDH/SONET, непригодны для передачи сигнала тактирования от одной точки сети к другой по нескольким причинам. Во-первых, из-за чрезмерно большого дрейфа, вносимого сетью SDH/SONET. Во-вторых, из-за резкого скачка фазы, который возникает при каждом выравнивании указателя. Так, для сигналов DS1 и E1 в сети SONET скачок фазы составляет 4,6 и 3,5 микросекунды, соответственно. Почти все синхронизируемые источники тактового сигнала, соответствующие нормам stratum 2 и транзитного уровня, а также большинство источников по нормам stratum 3 и местные источники тактового сигнала не будут воспринимать синхросигнал с таким скачком фазы. Следовательно, в большинстве источник тактового сигнала сети не будет принимать сигнал синхронизации, когда происходит выравнивание указателя.

Как показано выше, выравнивания указателя DS1/E1 могут происходить несколько раз за сутки. Таким образом, если этот сигнал используется для передачи опорного сигнала синхронизации, источник тактового сигнала сети не будет принимать его, и опорный сигнал будет переключаться несколько раз в день. Это увеличит дрейф тактового сигнала еще на несколько микросекунд. Поскольку ANSI и ITU регламентируют величину дрейфа менее 1 или менее 10 микросекунд в день, соответственно [8, 9], имеется опасность, что сеть не будет соответствовать стандартам.

Передача тактового сигнала с помощью SDH/SONET осуществляется посредством оптической линии связи (рисунок 5). Оптическая линия связи синхронна и свободна от выравниваний указателя. Сигнал DS1 или E1, полученный по этой линии, будет синхронизирован с обратным трафиком сетевого элемента SDH/SONET. Недостатком такой организации является возможность появления дополнительных тактирующих элементов в тракте синхронизации.

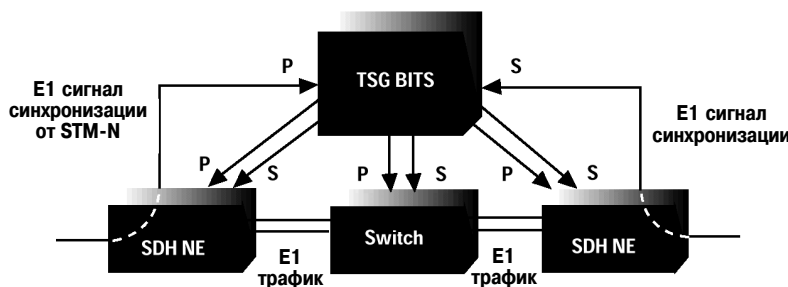


Рисунок 5 - Распределение тактирования с использованием линий SDH

Услуга предоставления канала DS1/E1 частному абоненту сети

Поскольку компании-поставщики услуг связи вводят технологии SDH/SONET в свои сети, многие услуги частным абонентам сетей будут оказываться в виде предоставления полезных нагрузок в SDH или SONET. В этих случаях все нагрузки, предоставляемые частным сетям, могут быть подвержены выравниваниям указателя и связанному с этим джиттеру и дрейфу (рисунок 6).

В типовом случае оборудование SDH или SONET компании-поставщика услуг связи не будет находиться в помещении абонента, и оператор частной сети не будет иметь доступа к тактовому сигналу SDH/SONET, получаемому по оптической линии связи. В части тактирования частная сеть должна полагаться на трафик сигнала SDH/SONET. Это может вызвать проблемы, так как полезные нагрузки SDH/SONET не пригодны для передачи сигнала тактирования. Эта ситуация в настоящее время находится в стадии рассмотрения в текстах стандартов и по мере рассмотрения операторы частных сетей информируются об этом провайдером услуг.

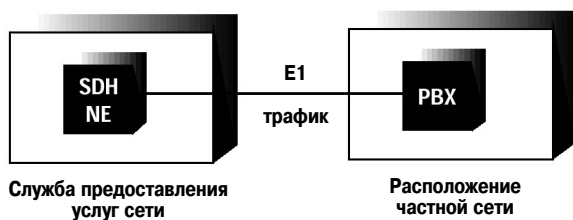


Рисунок 6 - Предоставление услуги SDH частной сети

Требования к сетям SDH/SONET по поддержке трафика DS1 или E1

Дрейф, вносимый сетью SDH/SONET в полезные нагрузки, предъявляет самые жесткие требования к поддержке сети SDH/SONET с трафиком DS1/E1. Необходимо выполнить два ключевых требования: уменьшение дрейфа сети за время от 100 до 1000 секунд в идеальном режиме и уменьшение допусков на характеристики в напряженном режиме. Уменьшение дрейфа может быть достигнуто использованием источников сигнала синхронизации, соответствующих нормам stratum 3E или местного уровня синхронизации. Уменьшение допусков на характеристики в напряженном режиме представляет значительно более сложную задачу.

Качество работы сети в напряженном режиме зависит от характеристик оборудования линии связи, характеристик сигнала синхронизации и архитектуры сети синхронизации [1]. Для уменьшения пределов допуска на характеристики сети в напряженном режиме цепи синхронизации должны быть короткими, для них должно использоваться высококачественное оборудование и источник синхросигнала BITS/SSU (интегральный источник временной синхронизации/источник-размножитель

синхросигналов), имеющие высокие характеристики в части максимальной ошибки временного интервала (МТІЕ) при восстановлении синхронизации. Реальные требования для каждой конкретной сети могут быть различны.

Для оценки требований к характеристикам работы в напряженном режиме можно рассмотреть сеть, содержащую не более трех-четырех источников тактового сигнала BITS/SSU в цепи синхронизации от первичного источника опорного сигнала (PRS). Предполагается, что в сети используется высококачественное оборудование для синхронизации по опорному сигналу, обеспечивающее в среднем не более двух секунд с серьезными ошибками (SES) за сутки. В этом случае для поддержания нормы дрейфа DS1 при транспортировке в SONET потребовалось бы иметь источники синхросигнала BITS/SSU, обеспечивающие МТІЕ при восстановлении синхронизации не более 100 наносекунд. Если характеристики оборудования не гарантируются, или если цепи синхронизации более длинные, потребуется источник синхросигнала BITS/SSU с более высокими характеристиками.

VI. Планирование синхронизации в сети SDH

Основным моментом планирования сети синхронизации является решение вопроса распределения тактовых сигналов и выбор источников синхросигналов и другого оборудования для тактирования сети [2]. Распределение тактовых сигналов и выбор источников различны для сетей на основе SDH и SONET. В этом разделе рассматривается планирование синхронизации для сетей SDH. Для сетей SONET этот вопрос будет рассмотрен в следующем разделе.

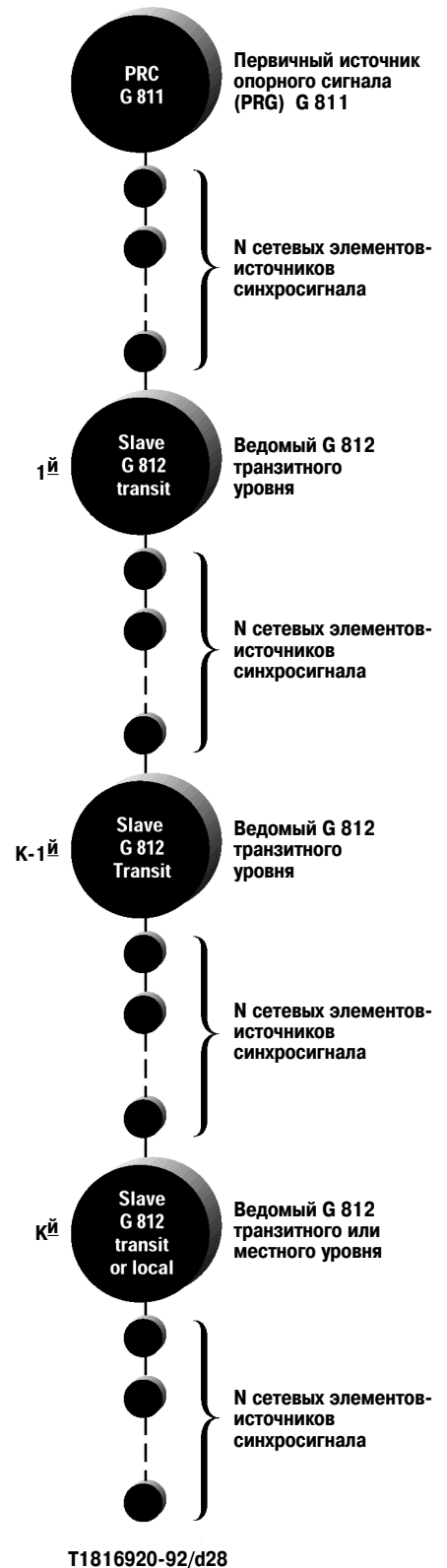
Распределение опорного сигнала

ITU определяет способ подключения источника опорного сигнала к сети синхронизации (рисунок 7) как ключевой вопрос распределения сигналов синхронизации [15]. В цепи не должно быть более 10 транзитных или местных узловых точек. Эти узловые точки относятся к 10 офисам, которые используют источник синхросигнала транзитного или местного уровня в качестве источника-размножителя синхросигналов (SSU). Между офисами существуют цепи источников синхросигналов в виде элементов SDH. Ни одна цепь не должна содержать более 20 синхронизируемых источников. Общее число источников в полной цепи подключения опорного сигнала должно быть не более 60. Каждый источник синхросигнала в цепи получает сигнал синхронизации от оптической линии, как показано на рисунке 5.

Такое подключение опорного источника было принято на основе моделирования работы в идеальных условиях и должно удовлетворять требованиям обеспечения величины джиттера 5 UI для транспортирования DS3, DS1 и E1. Измерений для экспериментальной проверки результатов моделирования не проводилось. Следует отметить, что дрейф, вносимый при транспортировке DS1 и E1, был незначительным при таком подключении опорного источника. Необходимость уменьшения величин дрейфа путем ограничения допустимой величины временной ошибки в напряженном режиме может потребовать изменения в подключении опорного источника, как обсуждалось в предыдущем разделе. Кроме того, в интересах надежности может потребоваться укорочение длины цепи.

Требования к источнику-размножителю синхросигналов (SSU)

Чтобы удовлетворить требованиям к величине джиттера при транспортировании DS3, DS1 и E1, источник-размножитель



Для расчета худшего случая:

$K = 10$

$N = 20$ с ограничением, что полное число источников сетевых SDH элементов не более 60.

Рисунок 7 - Цепь подключения опорного источника в сети синхронизации SDH

синхросигнала, используемый для создания единого времени для офисов в сети SDH, должен иметь транзитный или местный уровень. Источник синхросигнала должен иметь низкий уровень собственного шума и полосу пропускания фильтра не более 0,1 Гц для фильтрации шума сети. Источник должен обрабатывать МТИЕ, равную 1000 наносекунд при скорости изменения фазы менее 5×10^{-8} для наибольшего из периодов восстановления синхронизации. Эта скорость изменения фазы значительно меньше, чем требуется в сетях, основанных на SONET [8].

Для ограничения дрейфа E1 и DS1 следует использовать SSU с лучшей характеристикой отработки МТИЕ и улучшенной фильтрацией. ITU еще не разработал подходов для выполнения требований по дрейфу DS1/E1.

Требования к тактированию сетевого элемента SDH

Источник синхросигнала сетевого элемента SDH имеет более низкие характеристики, чем источник местного уровня, соответствующий ITU. Он удовлетворяет требованиям по удержанию частоты 5×10^{-8} для начального сдвига частоты и 5×10^{-7} за сутки для дрейфа частоты. Требования к восстановлению синхронизации: МТИЕ менее 1,0 микросекунды при скорости изменения фазы менее 5×10^{-8} для наибольшего из периодов восстановления синхронизации.

Основное различие между источниками синхросигнала сетевых элементов SDH и SSU состоит в полосе пропускания. Сетевой элемент SDH имеет полосу от 1 до 10 Гц, которая ограничена этими пределами по двум причинам. Во-первых, полоса пропускания должна быть по крайней мере в 10 раз больше полосы SSU, чтобы накопление дрейфа в условиях идеального режима было минимальным. Во-вторых, источник синхросигнала сетевого элемента должен обеспечивать быстрое восстановление синхронизации.

Когда сетевые элементы SDH сконфигурированы в кольцо, и в тракте передачи сигнала синхронизации происходит разрыв (рисунок 8а), распределение синхронизации в кольце переконфигурируется. Переконфигурированное распределение показано на рисунке 8б. Переконфигурирование распределения синхронизации полного кольца из 20 сетевых элементов SDH должно занимать около 15 секунд. Это означает, что каждый сетевой элемент должен закончить переконфигурирование своей синхронизации и выйти на режим установившегося выходного сигнала за время около одной секунды. Это условие требует достаточно быстрой реакции сетевого элемента SDH и, следовательно, ограничивает полосу фильтрации.

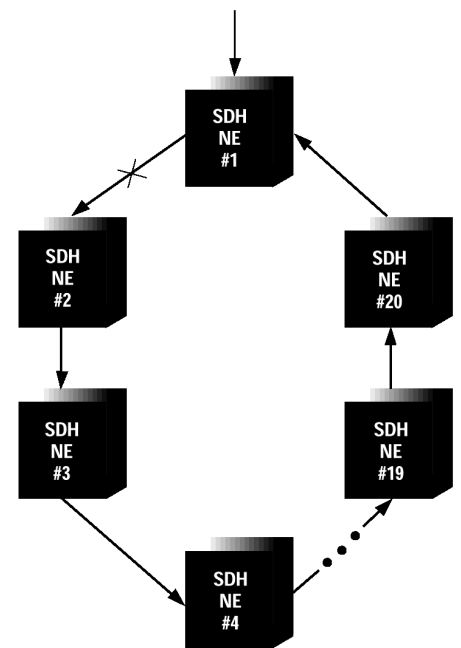


Рисунок 8а - Кольцевая конфигурация SDH с нормальным потоком сигнала синхронизации, направленным против часовой стрелки

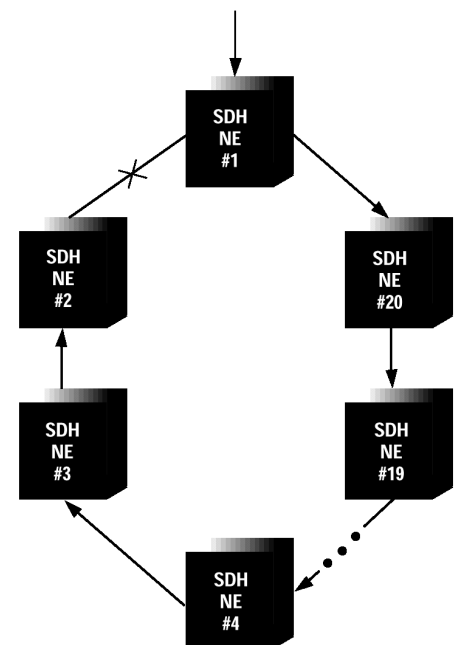


Рисунок 8б - Кольцевая конфигурация SDH с разрывом в тракте передачи сигнала синхронизации, поток которого направлен против часовой стрелки

VII. Планирование синхронизации сети SONET

В этом разделе рассматриваются вопросы планирования синхронизации сетей SONET. Планирование синхронизации включает определение распределения опорного сигнала синхронизации, выбор источников синхросигнала и оборудования, используемого в сети синхронизации.

Распределение опорного сигнала

Распределение синхросигналов в сети на основе SONET отличается от распределения в сетях на основе SDH. В сетях SONET нет сетевых элементов в цепи синхронизации [6, 8]. Типовая схема синхронизации показана на рисунке 9. Длина цепи синхронизации не регламентируется ANSI. Однако большинство мероприятий по администрированию сетей направлены на поддержание коротких цепей синхронизации. При этом длина цепи от 1 до 6 является типичным случаем.

Такая конфигурация сети синхронизации в сочетании с BITS и источниками синхросигналов сетевого элемента SONET, описанная в следующих подразделах, обеспечивает безошибочную передачу полезных нагрузок DS3, DS1 и E1.

Требования к источникам синхросигнала BITS

Для поддержания транспортирования сигналов в сети SONET источник синхросигнала BITS должен удовлетворять ряду требований. Во-первых, полосно-ограниченный кратковременный шум не должен превышать 17 наносекунд [8]. Во-вторых, источник синхросигнала BITS должен фильтровать шум ниже 100 секунд, как это вытекает из требований ANSI к уровню шума на выходе. В-третьих, для обеспечения транспортирования DS1/E1 источник синхросигнала BITS должен иметь малый дневной дрейф, притом, что он имеет высокие характеристики по фазе и малую MTIE при восстановлении синхронизации.

Для выполнения этих требований рекомендуется, чтобы источник синхросигнала BITS соответствовал нормам stratum 2 и 3. Этот источник синхросигнала удовлетворяет требованиям по фильтрации шума, MTIE при восстановлении синхронизации, которая составляет 100 наносекунд, и требованиям по удержанию частоты, предъявляемым ITU к местному источнику синхросигнала. Этот источник в настоящее время не признан ANSI в качестве стандартного. Однако он может служить прекрасным примером минимальных требований к источнику синхросигналов BITS.

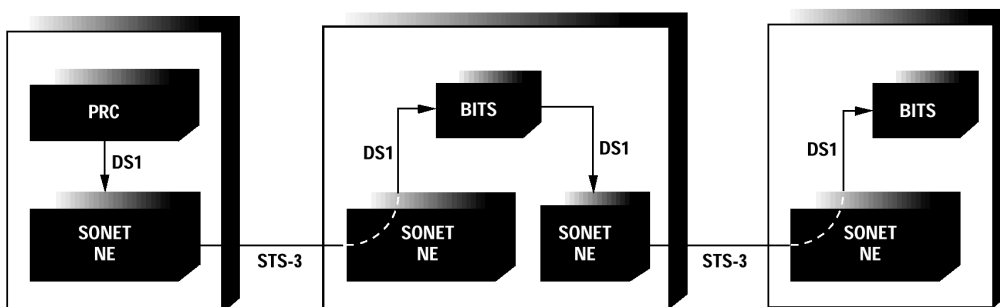


Рисунок 9 - Типовая схема сети синхронизации SONET

Требования к тактированию сетевого элемента SONET

Источник синхросигнала в сетевом элементе SONET отличается от такового в SDH прежде всего фильтрацией шума. Источник сетевого элемента SONET имеет полосу фильтрации 0,1 Гц по сравнению с полосой 1-10 Гц для SDH. Это необходимо для фильтрации более быстрых (по сравнению с источником SSU) переходных процессов установления фазы в источнике BITS и для фильтрации шума сети.

Сетевой элемент SONET не имеет того ограничения по скорости, которое имеет SDH. Переконфигурирование синхронизации для кольца из 16 сетевых элементов SONET выполняется в пределах 5 минут. Как и источник синхросигнала сетевого элемента SDH, сетевой элемент SONET обеспечивает требование по удержанию частоты 5×10^{-8} для начального сдвига частоты и 5×10^{-7} за сутки для частотного дрейфа. Сетевой элемент SONET также имеет величину MTIE при восстановлении синхронизации менее 1,0 микросекунды при скорости изменения фазы менее 9×10^{-7} за первые 0,5 секунды и 3×10^{-7} после этого времени. Следует отметить, что здесь изменение фазы происходит более плавно, чем у источника сетевого элемента SDH.

VIII. Заключение

Введение SDH и SONET существенно ужесточает требования к синхронизации сети. Поддержание технологий SDH и SONET требует улучшения характеристик синхронизации большинства телекоммуникационных сетей. Критичными являются характеристики кратковременного дрейфа, что требует использования высококачественных источников синхросигнала. Показатели работы в напряженном режиме также нуждаются в существенном улучшении. Это требует укорочения цепей синхронизации, что вызывает необходимость использования множественных первичных источников опорного сигнала синхронизации во многих сетях и использования источников синхросигнала с малой МТИЕ при восстановлении синхронизации. Все эти меры необходимы для обеспечения приемлемых норм ошибки передачи для сигналов DS1, E1 и DS3, проходящих в сетях SDH и SONET.

Литература



- [1] "Synchronizing Telecommunications Networks: Basic Concepts," Hewlett-Packard Application Note 1264-1.
- [2] "Synchronizing Telecommunications Networks: Fundamentals of Synchronization Planning," Hewlett-Packard Application Note 1264-3.
- [3] ITU-T Recommendation G.707, "Synchronous Digital Hierarchy Bit Rates," March 1993
- [4] ITU-T Recommendation G.709, "Synchronous Multiplexing Structure," March 1993.
- [5] "A Comparison of SONET (Synchronous Optical Network) and SDH (Synchronous Digital Hierarchy)," ANSI T1X1.2/93-024R2.
- [6] "SONET Synchronization Planning Guidelines," Bellcore Special Report, SR-NWT-002224, Issue 1, February 1992.
- [7] ITU COM XVIII D.1378, "Standard Clock Testing Methodology," 1987.
- [8] American National Standard for Telecommunications, "Synchronization Interface Standards for Digital Networks," ANSI T1.101-1994.
- [9] ITU-T Recommendation G.823, "The Control of Jitter and Wander Within Digital Networks Which Are Based On The 2048 kbit/s Hierarchy," March 1993.
- [10] American National Standard for Telecommunications, "Synchronous Optical Network (SONET) - Jitter at Network Interfaces," ANSI T1.105.03-1994.
- [11] "Clocks for the Synchronized Network: Common Generic Criteria," Bellcore Technical Advisory, TA-NWT-001244, Issue 2, November 1992
- [12] American National Standard for Telecommunications, "Synchronous Optical Network (SONET) - Jitter at Network Interfaces DS1 Supplement," ANSI T1X1.3/94-001R4.
- [13] G. Garner, "Total Phase Accumulation in a Network of VT Islands for Various Levels of Clock Noise," Contribution to ANSI T1X1.3, Number 94-094, September, 1994.
- [14] Electronics Industry Association, "Private Digital Network Synchronization," EIA/TIA-594.
- [15] ITU-T Recommendation G.803, "Architectures of Transport Networks Based On the Synchronous Digital Hierarchy," March 1993.
- [16] ITU-T Draft Recommendation G.81s, "Timing Characteristics of Slave Clocks Suitable for Operation of SDH Equipment."

Для получения дополнительной информации по изделиям, предназначенным для измерений и испытаний, а также по их применению и обслуживанию, пожалуйста, обращайтесь в ближайшее представительство

или посетите нашу страницу в сети Internet по адресу: <http://www.hp.com>

Дополнительная информация:
Сообщение по применению 1264-1
Сообщение по применению 1264-3

**Содержащаяся здесь информация может быть изменена.
Напечатано в США, июль 1995 г.**

Авторское право компании Хьюлетт-Паккард ©, 1995 5963-9798E