

СИНХРОНИЗАЦИЯ СЕТЕЙ СВЯЗИ

УДК 621.395

СЕТИ СИНХРОНИЗАЦИИ, ОСНОВАННЫЕ НА ТЕХНОЛОГИИ СИНХРОННОГО ETHERNET

С. Кисс, ведущий специалист Oscilloquartz SA (Швейцария); kiss@oscilloquartz.com

Д. Шноули, ведущий специалист Oscilloquartz SA (Швейцария); schneuwy@oscilloquartz.com

Ключевые слова: синхронный Ethernet, сигналы тактовой синхронизации, коммутация пакетов, сетевой элемент, базовая станция.

Введение. В настоящее время телекоммуникационные сети находятся на переходном этапе своего развития. На смену традиционным сетям с синхронным режимом передачи TDM (Time Division Multiplexing — мультиплексирование с временным разделением каналов), основанным на коммутации каналов, приходят так называемые сети следующего поколения NGN (Next Generation Network) с коммутацией пакетов (КП). Движущей силой этих изменений является снижение себестоимости передачи информации, а основной технической задачей — передача всех телекоммуникационных услуг на базе общей унифицированной платформы с КП.

Технологии Ethernet уже сегодня отводится ведущая роль в сценариях конвергенции сетей. Внедрение Ethernet началось с локальных компьютерных сетей, и сейчас на базе этой технологии строятся транспортные сети доступа, подсоединяющие базовые станции (БС) к коммутаторам (контроллерам) мобильной связи, и даже транспортные сети городского масштаба. Оказалось, что многие технологии сетей доступа требуют той или иной формы синхронизации. Это касается всех сетей мобильной связи, в которых необходимо синхронизировать БС, а также ряда технологий пассивных оптических сетей PON (Passive Optical Network). В одних случаях требуется синхронизация встроенного генераторного оборудования по частоте, в других — по фазе. Обзор задач синхронизации можно найти в проекте документа IETF «Требования TICTOS» [1], а также в Дополнении IV к Рек. МСЭ-Т G.8261 [2].

Традиционный Ethernet не был предназначен для передачи синхросигналов, что сделало проблематичным его использование в тех случаях, когда технологии доступа нуждаются в синхронизации. Решение данной проблемы в части обеспечения частотной синхронизации предлагает технология синхронного Ethernet (SyncE). Это традиционный Ethernet, к которому добавлена функция передачи сигналов тактовой (частотной) синхронизации — подобно тому, как это делается в сетях SDH и SONET [3].

Технология SyncE стандартизирована МСЭ-Т в сотрудничестве с IEEE. Недавно были опубликованы три новых Рекомендации МСЭ-Т, имеющих отношение к синхронному Ethernet. Рек. G.8261, помимо других аспектов, определяет архитектуру сетей SyncE и соответствующие требования к блужданиям фазы (вандеру), G.8262 [4] устанавливает требования к встроенному генераторному оборудованию SyncE, а G.8264 [5] определяет структуру канала сигнализации для обмена сообщениями о статусе сигналов синхронизации в сети Ethernet — ESMC (Ethernet Synchronization Messaging Channel).

Как работает синхронный Ethernet? В синхронном Ethernet тактовая частота (ТЧ) передается по каналу в ли-

нию как последовательность бит (или значащих моментов), другими словами, трансляция бит ведется непрерывно. Поэтому из множества физических сигналов Ethernet, стандартизированных IEEE, синхронный Ethernet может использовать лишь те сигналы, для которых предусмотрена непрерывная передача. Принцип работы синхронного Ethernet иллюстрирует рис. 1. Этот принцип не нов, поскольку такой метод передачи уже давно используется в сетях связи и, в частности, при синхронизации в сетях с использованием трактов E11/E12 и SDH/SONET.

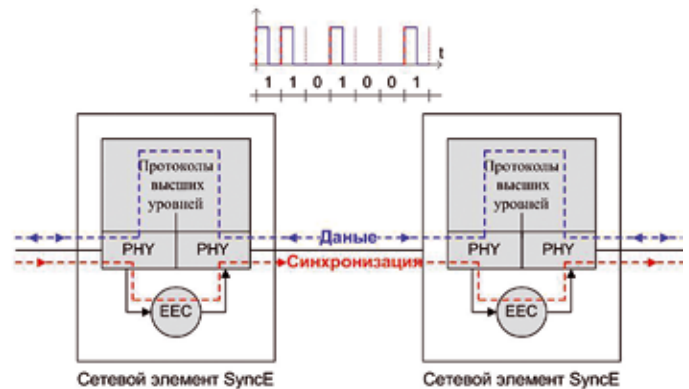


Рис. 1

Для передачи ТЧ строится «дерево синхронизации», объединяющее встроенное генераторное оборудование сетевых элементов (СЭ). Корнем этого дерева является первичный эталонный генератор ПЭГ (PRC — Primary Reference Clock). Каждый СЭ, поддерживающий режим SyncE, имеет встроенное генераторное оборудование — ЕЕС (Ethernet Equipment Clock). Обычно ЕЕС синхронизируется по тактам одного из входящих линейных сигналов и, в свою очередь, синхронизирует все исходящие линейные сигналы (работа в режиме захвата). Формируется иерархическая структура «ведущий — ведомый», обеспечивающая передачу синхросигналов от PRC по всем ветвям дерева к каждому генераторному оборудованию ЕЕС. Пример такой древовидной структуры представлен на рис. 2. Точно такую же архитектуру имеют традиционные распределительные сети синхронизации, построенные на базе оборудования SDH/SONET.

На рис. 2 показана еще одна категория генераторного оборудования — вторичные задающие генераторы — ВЗГ (SSU — Synchronization Supply Unit). Как и в сетях SDH/SONET, устройства типа SSU необходимы по трем причинам. Во-первых, они снижают накопленный джиттер и вандер до допустимых уровней. Во-вторых, SSU выполняет функции узлового устройства синхронизации, т.е. центрального генератора, обеспечивающего синхронизацию всего узла связи. Это устройство распределяет сигнала-

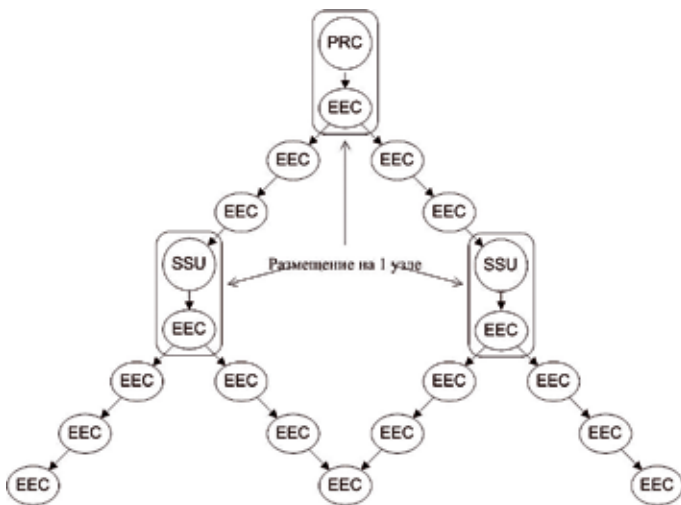


Рис. 2

лы синхронизации ко всему оборудованию, находящемуся на данном узле. И, наконец, SSU обеспечивает «режим удержания», когда из-за какой-либо неисправности теряется сигнал отслеживаемого PRC, и SSU переходит в автономный режим работы от собственного генератора (как правило, это термостатированный кварц или рубидий). В режиме удержания SSU продолжает обеспечивать достаточно высокую стабильность сигналов синхронизации. И хотя параметры стабильности в этом случае будут несколько хуже, чем в режиме захвата, они позволяют узлу связи нормально работать до устранения повреждения.

В сетях SyncE чрезвычайно важно обеспечить контроль уровня джиттера и вандера. Рекомендации МСЭ-Т дают четкие указания по этому поводу. Так называемые «сетевые пределы» устанавливаются максимально допустимые значения джиттера и вандера для различных типов сетевых интерфейсов. Сетевые нормы для сигналов синхронизации приведены в Рек. G.823. Но Рекомендации МСЭ-Т не останавливаются на этом. Они также устанавливают правила проектирования сети синхронизации, позволяющие выполнить требования соответствующих сетевых норм.

Основной набор таких правил дает так называемая «эталонная цепочка синхронизации», определенная в Рек. МСЭ-Т G.803 [6] (рис. 3). Она подходит для распределительных сетей синхронизации, построенных на основе как SDH, так и SyncE. Первое из трех правил «эталонной цепочки» состоит в том, что для восстановления сигнала синхронизации в цепочку генераторного оборудования должны вставляться устройства типа SSU или SASE (Stand-Alone Synchronization Equipment — выделенное устройство синхронизации). Между двумя SSU или между PRC и первым SSU должно быть не более 20 сетевых элементов SyncE или SDH (со встроенным генераторным оборудованием EEC или SEC, соответственно). На практике число EEC или SEC (Synchronous Equipment Clock — встроенное генераторное оборудование мультиплексора SDH) между двумя SSU обычно составляет от 10 до 15, что создает определенный запас на случай расширения сети.

Модель «эталонной цепочки» содержит еще два правила, которые применяются лишь в относительно крупных сетях. Эти правила заключаются в том, что вся цепочка синхронизации должна включать не более 60 EEC или SEC и не более 10 SSU. Строгое соблюдение правил гарантирует соответствие требованиям вышеупомянутых сетевых пределов при условии, что все используемые устройства син-

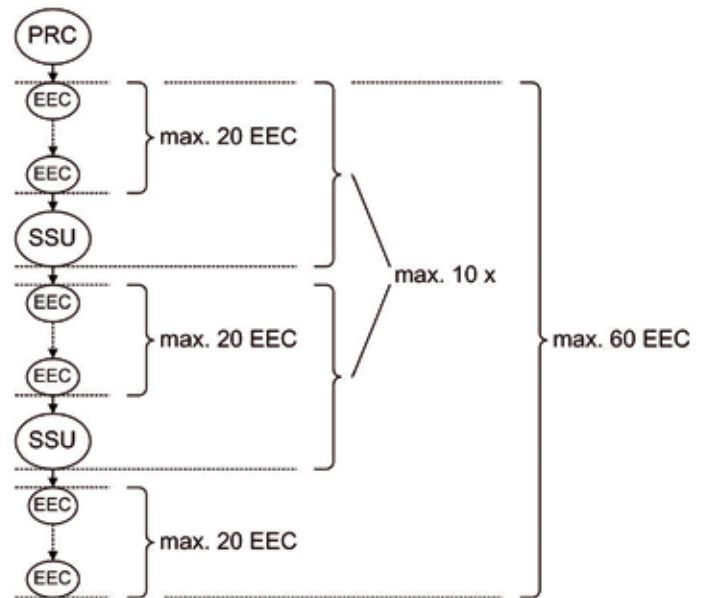


Рис. 3

хронизации (PRC, SSU, EEC и SEC) отвечают требованиям соответствующих Рекомендаций МСЭ-Т.

Обмен сообщениями о статусе синхронизации. В сетях SDH и SONET существует система обмена сообщениями о статусе синхронизации — SSM (Synchronization Status Message). Сообщение SSM передается в заголовке секции мультиплексирования и содержит информацию об уровне качества источника синхронизации. Эта информация передается по ветвям древовидной структуры распределительной сети синхронизации. Источником синхронизации служит либо PRC (в нормальном режиме работы), либо другое устройство, работающее в режиме удержания (в аварийной ситуации). Установлено несколько уровней качества (QL — Quality Level), соответствующих различным классам генераторного оборудования: QL-PRC, QL-SSU-A, QL-SSU-B, QL-SEC и QL-DNU. Последнее сообщение означает «Do Not Use» («не использовать для синхронизации»). Система сигнализации на основе SSM применяется для контроля защитных переключений в случае повреждений линий связи или генераторного оборудования.

В сетях, построенных на основе синхронного Ethernet, предусмотрена такая же система SSM, как и в сетях SDH/SONET. Единственное отличие — это канал связи, по которому поступают сообщения SSM. В сетях SDH и SONET «байт SSM» (SSMB — SSM Byte) передается в структуре цикла STM-n (Synchronous Transport Module — синхронный транспортный модуль, структурный элемент в иерархии сигналов SDH) или OC-n (Optical Channel — оптический канал, структурный элемент в иерархии сигналов SONET). Синхронный Ethernet использует так называемый «канал обмена сообщениями о синхронизации в сети Ethernet» — ESMC, в котором сообщения SSM передаются с помощью специального низкоскоростного протокола Ethernet — OSSP (Organization Specific Slow Protocol).

В канале ESMC различают два типа сообщений, переносящих коды SSM. Один раз в секунду передаются «информационные сообщения» («Information message»), задающие ритм. Сразу же после того, как происходит событие, которое изменяет содержание SSM, передается «сообщение о событии» («Event message»). Такая система гарантирует быструю реакцию на изменения SSM, несмотря на то, что скорость передачи составляет около одного сообщения

в секунду. Если в течение 5 с по входящему каналу ESMC не поступило ни одного «информационного сообщения», то генераторное оборудование расценивает это как неисправное состояние. В табл. 1 приведен формат полей модуля данных протокола (PDU — Protocol data unit) для ESMC, а в табл. 2 — содержимое поля «Данные и заполнение», в котором передается код SSM. В табл. 3 представлены возможности будущего расширения данного формата в виде так называемых «полей TLV — Type Length Value (тип — длина — значение)».

Таблица 1

Размер	Поле	Содержимое поля (в 16-ричном формате — hex)
6 байтов	Адрес пункта назначения	01—80-C2—00—00—02
6 байтов	Адрес источника	MAC-адрес порта
2 байта	Тип низкоскоростного протокола	88—09
1 байт	Подтип низкоскоростного протокола	0A
3 байта	Специальный идентификатор МСЭ-Т: ITU-OUI (Organizational Unique Identifier)	00—19-A7
2 байта	Подтип ITU	01
4 бита	Номер версии	01
1 бит	Флаг события (см. Примечание)	0 — для PDU с «информационным сообщением» 1 — для PDU с «сообщением о событии»
3 бита	Резерв	Зарезервированы для будущего использования
3 байта	Резерв	
36—1490 байтов	Данные и заполнение	см. табл. 2
4 байта	FCS (Frame Check Sequence)	Проверочная последовательность

Таблица 2

Размер	Поле	Содержимое поля (в 16-ричном формате — hex)
1 байт	Тип	01
2 байта	Длина	04
4 бита	Не используется	0
4 бита	SSM	Код SSM

Таблица 3

Размер	Поле
1 байт	Тип
2 байта	Длина
N байтов	Данные и заполнение (см. Примечание)

Примечание. Биты заполнения вводятся для того, чтобы длина поля составляла целое число байтов и была не менее 64 байт.

Следует подчеркнуть, что система сообщений SSM обеспечивает возможность взаимодействия между сетями синхронизации на основе SDH/SONET и синхронного Ethernet.

Смешанные сетевые архитектуры с использованием SyncE и SDH/SONET. В реальных сетях часто встреча-

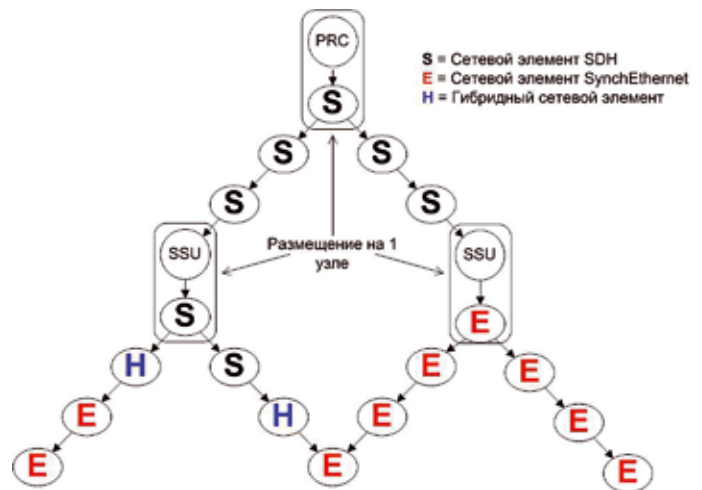


Рис. 4

ются смешанные сценарии с использованием технологий Ethernet и SDH/SONET. Например, на уровне базовой (магистральной) сети оператор может использовать технологию SDH или SONET, а на уровне доступа — Ethernet. На границе между фрагментами SDH/SONET и Ethernet располагаются гибридные СЭ, которые поддерживают как интерфейсы SDH с функцией переключения соответствующих виртуальных контейнеров, так и интерфейсы Ethernet с соответствующей КП. В случае, если СЭ и интерфейсы Ethernet работают в режиме SyncE, их можно «смешивать» с СЭ SDH/SONET, формируя единую сеть синхронизации (рис. 4). Такой сценарий возможен благодаря идентичности технических требований к встроенному генераторному оборудованию EEC и SEC, а также одинаковой системе сообщений SSM.

Технические решения на основе SyncE. На рис. 5 представлен типичный сценарий использования технологии SyncE. Это — сеть мобильной связи, в которой БС или Node В (узел типа В — обозначение БС стандарта мобильной связи 3-го поколения UMTS) соединены друг с другом трактами синхронного Ethernet. БС всегда нуждаются в той или иной форме синхронизации. Для некоторых технологий (таких как GSM, UMTS и WiMax-FDD) достаточно частотной синхронизации, в то время как для других (например, CDMA2000 и WiMax-TDD) необходима фазовая синхронизация.

Если необходима частотная синхронизация, то идеальное решение представляет технология синхронного Ethernet, сочетающая экономическую эффективность Ethernet и присущие SDH возможности распределения сигналов синхронизации. Преимущество такого сценария (по сравнению с традиционным Ethernet) заключается в том, что БС могут синхронизироваться через сеть. Альтернативным решением могла бы стать установка на каждой БС приемников и антенн спутниковой навигационной системы (GPS, ГЛОНАСС и т. д.).

На рис. 5 показаны основные категории СЭ сети WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access — широкополосная система с кодовым разделением каналов и множественным доступом): медиа-шлюзы MGW (Media Gateway), контроллеры радиосети RNC (Radio Network Controller) и БС (Node В). Сети мобильной связи других стандартов имеют очень похожую архитектуру, отличаясь лишь названиями СЭ. Так, в GSM медиа-шлюзам MGW соответствуют АТС мобильной связи MSC (Mobile Service Switching Center), контроллерам радиосети RNS — контрол-

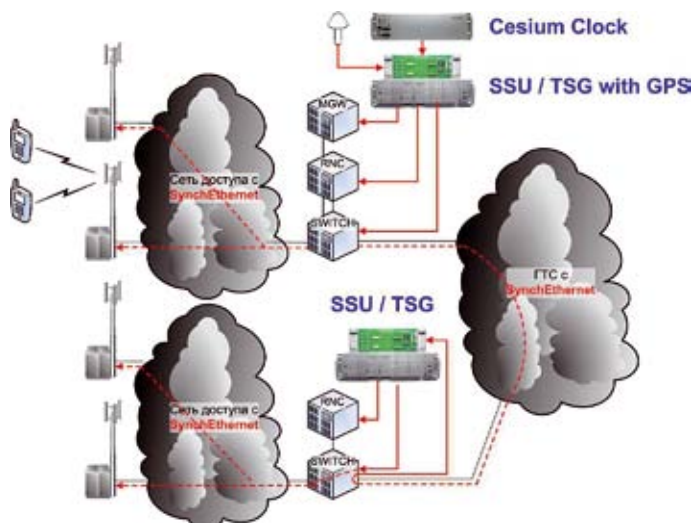


Рис. 5

леры БС BSC, а для обозначения БС вместо Node B используют термин BTS (Base Transceiver Station). Все эти элементы нуждаются в синхронизации.

На одном из узлов, на которых расположены MGW/MSC, как правило, находится PRC. На рис. 5 PRC представлен комплексом оборудования производства компании Oscilloquartz: атомным цезиевым генератором модели OSA3230 Cs и устройством SSU с встроенным приемником GPS (OSA5548 C SSU или OSA5548 C TSG). TSG — Timing Signal Generator (генератор тактовых сигналов). Модель 5548 C SSU соответствует европейским стандартам (ETSI), а модель 5548 C TSG — американским (ATIS/Telcordia). Формирование PRC на базе комбинации цезиевого генератора и приемника GPS имеет два преимущества. Во-первых, за счет нескольких источников частоты (избыточности) повышается показатель эксплуатационной готовности. Во-вторых, благодаря использованию абсолютно разных технологий, для каждой из которых характерны свои потенциальные состояния отказа, повышается надежность всей системы.

MGW, RNC и коммутаторы Ethernet, находящиеся на том же узле, что и PRC, получают с выходов SSU или TSG традиционные сигналы синхронизации 2,048 МГц, 2,048 Мбит/с, 1,544 Мбит/с или 64 кбит/с. БС (Node B) синхронизируются через сеть агрегации. Если позволяет топология сети, можно предусмотреть резервные маршруты. Сигналы синхронизации передаются также на узлы, где расположены RNC.

В примере на рис. 5 на таком узле установлено оборудование OSA5548 C SSU/TSG, обеспечивающее снижение уровня джиттера и вандера, а также защиту в режиме удержания. Как видно из рисунка, коммутатор выделяет из рабочего сигнала Ethernet сигнал синхронизации и подает его на вход устройства SSU/TSG, которое, в свою очередь, синхронизирует все СЭ, находящиеся на данном узле (в частности, контроллер RNC и коммутатор Ethernet).

Для контроля защитных переключений используется механизм передачи сообщений SSM по каналу ESMC. Эта схема может работать с/без участия устройства SSU/TSG, что зависит от типа сигнала, используемого для соединения SSU/TSG с коммутаторами Ethernet. Если подключение происходит по сигналам 2,048 или 1,544 Мбит/с, то SSU/TSG включается в канал ESMC: коммутатор Ethernet преобразует сообщения SSM из формата ESMC в традиционный формат и наоборот. Если же для подключения SSU/TSG

используются сигналы 2,048 кГц или 64 кбит/с, то канал ESMC работает только на уровне коммутаторов. В этом случае используются механизмы принудительного задания уровня качества и установки порогов, принцип действия которых такой же, как и в сетях SDH/SONET.

Следует отметить, что вся линейка продукции Oscilloquartz, разработанной для сетей SDH/SONET, полностью совместима с технологией синхронного Ethernet. Это касается не только двух вышеупомянутых моделей, но и всех остальных (модель OSA5240 GPS с приемником GPS, устройство распределения сигналов синхронизации OSA5533 C SDU и мн. др.).

Заключение. Технология синхронного Ethernet (SyncE) появилась в процессе эволюции традиционного Ethernet. Она предусматривает синхронизацию встроенного генераторного оборудования ЕЕС сигналами уровня «отслеженного PRC» с относительной точностью $1 \cdot 10^{-11}$ (в то время как в традиционном Ethernet внутренние генераторы работают в режиме свободных колебаний с допустимым отклонением 100 ppm). Сеть, построенная на основе SyncE, может использоваться для распределения сигналов тактовой (частотной) синхронизации. Частотная синхронизация требуется во многих случаях. В частности, она необходима для работы базовых станций (Node B) в сетях мобильной связи.

Синхронный Ethernet решает задачу передачи сигналов синхронизации в пакетной сети, где коммутация и маршрутизация трафика выполняются асинхронным способом. Для передачи синхросигналов технология SyncE использует синхронизацию по битам на физическом уровне, характерную для сетей PDH и SDH/SONET. Но на этом сходство между SyncE и SDH/SONET не заканчивается. В сетях SyncE и SDH/SONET установлены одинаковые технические требования к встроенному генераторному оборудованию, используются одинаковые сообщения о статусе синхронизации (SSM) и одинаковые входные и выходные интерфейсы сигналов синхронизации. В результате архитектура сети синхронизации, построенной на основе SyncE, оказывается такой же, как и в сетях на базе SDH/SONET. Поэтому появляется возможность создания смешанных сетей синхронизации, содержащих фрагменты SyncE и SDH/SONET. При этом как в тех, так и в других фрагментах могут применяться одни и те же модели устройств синхронизации (например, PRC и SSU).

Все это обеспечивает преимущество в решении задач тактовой сетевой синхронизации, позволяя операторам максимально использовать существующие ресурсы и многолетний опыт планирования сетей синхронизации в условиях перехода транспортной сети на пакетные технологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Rodriguez S.** Internet Engineering Task Force IETF; Internet Draft: TICTOC Requirements. — July 2009.
2. ITU-T Recommendation G.8261/Y.1361 (04/08). Timing and synchronization aspects in packet networks.
3. **Ferrant J.-L., Gilson M., Jobert S. et al.** Synchronous Ethernet: A Method to Transport Synchronization//IEEE Communication Magazine. — September 2008.
4. ITU-T Recommendation G.8262/Y.1362 (08/07). Timing characteristics of synchronous Ethernet equipment slave clock (ЕЕС).
5. ITU-T Recommendation G.8264/Y.1364 (10/08). Distribution of timing through packet networks.
6. ITU-T Recommendation G.803 (03/00). Architecture of transport networks based on the synchronous digital hierarchy (SDH).