

МСЭ-Т

G.8261/Y.1361

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

(08/2013)

СЕРИЯ G: СИСТЕМЫ И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ,
ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

Аспекты передачи пакетов по транспортным сетям –
Параметры качества и готовности

СЕРИЯ Y: ГЛОБАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ
ИНФРАСТРУКТУРА, АСПЕКТЫ ПРОТОКОЛА
ИНТЕРНЕТ И СЕТИ ПОСЛЕДУЮЩИХ ПОКОЛЕНИЙ

Аспекты протокола Интернет – Транспортирование

Аспекты хронирования и синхронизации в пакетных сетях

Рекомендация МСЭ-Т G.8261/Y.1361

РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-Т СЕРИИ G
СИСТЕМЫ И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ, ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

| | |
|--|----------------------|
| МЕЖДУНАРОДНЫЕ ТЕЛЕФОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ЦЕПИ | G.100–G.199 |
| ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОБЩИЕ ДЛЯ ВСЕХ АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ | G.200–G.299 |
| ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ ВЧ-СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ ПО МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЛИНИЯМ | G.300–G.399 |
| ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ИЛИ СПУТНИКОВЫХ ЛИНИЙ И ИХ СОЕДИНЕНИЕ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПРОВОДНЫМИ ЛИНИЯМИ | G.400–G.449 |
| КООРДИНАЦИЯ РАДИОТЕЛЕФОНИИ И ПРОВОДНОЙ ТЕЛЕФОНИИ | G.450–G.499 |
| ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ И ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ | G.600–G.699 |
| ЦИФРОВОЕ ОКОНЕЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ | G.700–G.799 |
| ЦИФРОВЫЕ СЕТИ | G.800–G.899 |
| ЦИФРОВЫЕ УЧАСТКИ И СИСТЕМА ЦИФРОВЫХ ЛИНИЙ | G.900–G.999 |
| КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ – ОБЩИЕ И СВЯЗАННЫЕ С ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ АСПЕКТЫ | G.1000–G.1999 |
| ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ | G.6000–G.6999 |
| ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ ПО ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ – ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ | G.7000–G.7999 |
| АСПЕКТЫ ПЕРЕДАЧИ ПАКЕТОВ ПО ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ | G.8000–G.8999 |
| Аспекты, касающиеся Ethernet поверх транспортного уровня | G.8000–G.8099 |
| MPLS и аспекты транспортирования сообщений | G.8100–G.8199 |
| Параметры качества и готовности | G.8200–G.8299 |
| Управление обслуживанием | G.8600–G.8699 |
| СЕТИ ДОСТУПА | G.9000–G.9999 |

Для получения более подробной информации просьба обращаться к перечню Рекомендаций МСЭ-Т.

Рекомендация МСЭ-Т G.8261/Y.1361

Аспекты хронирования и синхронизации в пакетных сетях

Резюме

В Рекомендации МСЭ-Т G.8261/Y.1361 определяются аспекты частотной синхронизации в пакетных сетях. Здесь уточняются максимальные значения дрожания и фазового дрейфа в сети, которые не должны превышать. Здесь определяется минимальная устойчивость оборудования к дрожанию и фазовому дрейфу, которая должна обеспечиваться на границах данных пакетных сетей при интерфейсах TDM и синхронизации. Здесь также в общих чертах описываются минимальные требования к функции синхронизации сетевых элементов.

Требования к характеристикам дрожания и фазового дрейфа, определенные в настоящей Рекомендации, должны соблюдаться для обеспечения функциональной совместимости оборудования, изготовленного различными производителями, а также для обеспечения удовлетворительных характеристик сети.

Хронологическая справка

| Издание | Рекомендация | Утверждение | Исследовательская комиссия | Уникальный идентификатор* |
|---------|---------------------------------------|---------------|----------------------------|---|
| 1.0 | МСЭ-Т G.8261/Y.1361 | 22.05.2006 г. | 15-я | 11.1002/1000/8787 |
| 1.1 | МСЭ-Т G.8261/Y.1361 (2006 г.) Испр. 1 | 14.12.2006 г. | 15-я | 11.1002/1000/9010 |
| 2.0 | МСЭ-Т G.8261/Y.1361 | 29.04.2008 г. | 15-я | 11.1002/1000/9416 |
| 2.1 | МСЭ-Т G.8261/Y.1361 (2010 г.) Попр. 1 | 29.07.2010 г. | 15-я | 11.1002/1000/10908 |
| 3.0 | МСЭ-Т G.8261/Y.1361 | 29.08.2013 г. | 15-я | 11.1002/1000/12015 |

* Для получения доступа к Рекомендации наберите в адресном поле вашего браузера URL: <http://handle.itu.int/>, после которого следует уникальный идентификатор Рекомендации. Например, <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи и информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Сектор стандартизации электросвязи МСЭ (МСЭ-Т) – постоянный орган МСЭ. МСЭ-Т отвечает за изучение технических, эксплуатационных и тарифных вопросов и за выпуск Рекомендаций по ним с целью стандартизации электросвязи на всемирной основе.

На Всемирной ассамблее по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяются темы для изучения исследовательскими комиссиями МСЭ-Т, которые, в свою очередь, вырабатывают Рекомендации по этим темам.

Утверждение Рекомендаций МСЭ-Т осуществляется в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 ВАСЭ.

В некоторых областях информационных технологий, которые входят в компетенцию МСЭ-Т, необходимые стандарты разрабатываются на основе сотрудничества с ИСО и МЭК.

ПРИМЕЧАНИЕ

В настоящей Рекомендации термин "администрация" используется для краткости и обозначает как администрацию электросвязи, так и признанную эксплуатационную организацию.

Соблюдение положений данной Рекомендации осуществляется на добровольной основе. Однако данная Рекомендация может содержать некоторые обязательные положения (например, для обеспечения функциональной совместимости или возможности применения), и в таком случае соблюдение Рекомендации достигается при выполнении всех указанных положений. Для выражения требований используются слова "следует", "должен" ("shall") или некоторые другие обязывающие выражения, такие как "обязан" ("must"), а также их отрицательные формы. Употребление таких слов не означает, что от какой-либо стороны требуется соблюдение положений данной Рекомендации.

ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на вероятность того, что практическое применение или выполнение настоящей Рекомендации может включать использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, действительности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, доказываются ли такие права членами МСЭ или другими сторонами, не относящимися к процессу разработки Рекомендации.

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ получил извещение об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для выполнения настоящей Рекомендации. Однако те, кто будет применять Рекомендацию, должны иметь в виду, что вышесказанное может не отражать самую последнюю информацию, и поэтому им настоятельно рекомендуется обращаться к патентной базе данных БСЭ по адресу: <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© ITU 2016

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

СОДЕРЖАНИЕ

| | Стр. |
|---|------|
| 1 Сфера применения | 1 |
| 2 Справочные документы | 1 |
| 3 Определения | 3 |
| 3.1 Термины, определенные в других документах | 3 |
| 3.2 Термины, определенные в настоящей Рекомендации | 4 |
| 4 Сокращения и акронимы | 5 |
| 5 Соглашения по терминологии | 7 |
| 6 Общие положения | 7 |
| 6.1 Требования к синхронизации пакетной сети | 8 |
| 6.2 Требования TDM к хронированию | 8 |
| 6.3 Разработка технологии сети синхронизации в пакетных сетях | 9 |
| 6.4 Требования к хронированию на границе и требования к хронированию в базовых сетях | 9 |
| 6.5 Домен PNT и домен CES | 10 |
| 7 Распространение эталонного сигнала хронирования по пакетным сетям (домен PNT) | 10 |
| 7.1 Плезиохронные методы и методы синхронной работы по отношению к сети | 10 |
| 7.2 Пакетные методы | 11 |
| 8 Восстановление хронирования для услуг с постоянной битовой скоростью, транспортируемых по пакетным сетям (домен CES) | 12 |
| 8.1 Синхронная работа по отношению к сети | 13 |
| 8.2 Дифференциальные методы | 13 |
| 8.3 Адаптивные методы | 14 |
| 8.4 Тактовый генератор в оконечных системах TDM | 14 |
| 9 Сетевые ограничения | 15 |
| 9.1 Сетевые ограничения CES | 15 |
| 9.2 Сетевые ограничения PNT | 19 |
| 10 Влияние искажений в пакетной сети на распространение хронирования и восстановление рабочего тактового сигнала | 25 |
| 10.1 Задержка передачи пакетов и колебания задержки | 27 |
| 10.2 Воздействия искажения пакетов | 31 |
| 11 Влияние искажения первичного эталонного генератора на восстановление рабочего тактового сигнала | 32 |
| 11.1 Искажения для методов синхронной работы сети | 32 |
| 11.2 Искажения для дифференциального метода | 33 |
| 12 Результаты и последствия использования различных методов синхронизации в эталонных сетевых моделях | 34 |
| 12.1 Рекомендации для домена CES | 34 |
| 12.2 Рекомендация для домена PNT | 36 |

| | Стр. |
|--|-------------|
| Приложение А – Предлагаемая сетевая архитектура синхронного Ethernet | 38 |
| А.1 Расположение PRC | 38 |
| А.2 Ограничение дрожания и фазового дрейфа в синхронном Ethernet | 38 |
| А.3 Аспекты проектирования сети синхронизации на основе синхронного Ethernet..... | 39 |
| А.4 Пример распространения сигнала хронирования по синхронному Ethernet | 40 |
| А.5 Взаимодействие Ethernet с интерфейсами синхронного Ethernet | 40 |
| Приложение В – Функциональное разбиение IWF на IWF CES и IWF PNT и примеры сетей .. | 45 |
| В.1 Общие положения..... | 45 |
| В.2 Тактовые генераторы IWF | 47 |
| В.3 Примеры сетей | 49 |
| Приложение С – Требования IWF CES, связанные с синхронизацией | 52 |
| С.1 Интерфейсы трафика | 52 |
| С.2 Интерфейсы синхронизации..... | 52 |
| С.3 Функция синхронизации IWF..... | 53 |
| Приложение D – Сетевые приложения и требования к тактовым генераторам, описанным в МСЭ-Т G.8262/Y.1362 | 54 |
| Дополнение I – Характеристики коммутаторов Ethernet, сетей Ethernet, маршрутизаторов и технологий доступа..... | 55 |
| I.1 Характеристики коммутаторов и сетей Ethernet..... | 55 |
| I.2 Характеристики задержки маршрутизаторов | 59 |
| I.3 Характеристики задержки, связанной с технологией доступа (микроволновые узлы, PON, DSL) | 59 |
| Дополнение II – Период стабилизации..... | 60 |
| Дополнение III – Некоторые аспекты пакетных методов..... | 61 |
| Дополнение IV – Приложения и примеры использования | 62 |
| IV.1 Базовая информация | 62 |
| IV.2 Беспроводные сети | 62 |
| IV.3 Инфраструктура | 64 |
| IV.4 Медиашлюзы..... | 64 |
| Дополнение V – Эталонные модели пакетных сетей..... | 65 |
| V.1 Модели сетей Ethernet | 65 |
| V.2 Другие сетевые модели | 67 |
| Дополнение VI – Руководство по измерениям для пакетных методов | 71 |
| VI.1 Опорные точки измерений..... | 71 |
| VI.2 Характеристики входящего трафика | 72 |
| VI.3 Тестовые топологии для адаптивных методов | 74 |
| VI.4 Тестовые топологии для дифференциальных методов | 80 |
| VI.5 Тестирование двусторонних протоколов | 81 |

| | Стр. |
|--|-------------|
| Дополнение VII – Ограничения фазового дрейфа в случае 1 развертывания | 89 |
| VII.1 Ограничения для интерфейса 2048 кбит/с..... | 89 |
| VII.2 Ограничения для интерфейса 1544 кбит/с..... | 90 |
| Дополнение VIII – Передача сообщений статуса синхронизации на физическом уровне синхронного Ethernet | 91 |
| Дополнение IX – Примеры IWF..... | 92 |
| Дополнение X – Аспекты измерения синхронного Ethernet по методикам МСЭ-Т по сравнению с измерениями дрожания IEEE | 95 |
| Дополнение XI – Соотношение между требованиями, содержащимися в настоящей Рекомендации и в других ключевых Рекомендациях, связанных с синхронизацией..... | 96 |
| Дополнение XII – Основные принципы передачи сигналов хронирования по пакетным сетям | 99 |
| XII.1 Общие положения..... | 99 |
| XII.2 Уменьшение колебания задержки пакетов путем выбора пакетов..... | 102 |
| XII.3 Сравнение пакетных методов и методов с синхронным физическим уровнем | 102 |
| XII.4 Существующие стандарты..... | 103 |
| Дополнение XIII – Оценка колебания задержки пакетов, создаваемых в узле сети..... | 104 |
| XIII.1 Введение | 104 |
| XIII.2 Общие положения..... | 104 |
| XIII.3 Общая конфигурация | 104 |
| Библиография | 106 |

Аспекты хронирования и синхронизации в пакетных сетях

1 Сфера применения

В настоящей Рекомендации определяются аспекты частотной синхронизации в пакетных сетях. Здесь уточняются максимальные значения дрожания и фазового дрейфа в сети, которые не должны превышать. Здесь определяется минимальная устойчивость оборудования к дрожанию и фазовому дрейфу, которая должна обеспечиваться на границах данных пакетных сетей при интерфейсах TDM и синхронизации. Здесь также в общих чертах описываются минимальные требования к функции синхронизации сетевых элементов.

В частности, в настоящей Рекомендации рассматриваются две основные проблемы – распределение тактового сигнала сети синхронизации через пакетную сеть (домен PNT) и распределение рабочего тактового сигнала через пакетную сеть (домен CES).

ПРИМЕЧАНИЕ. – Применение транспортировки сигналов SDH по пакетным сетям охватывается лишь частично, и некоторые аспекты подлежат дальнейшему изучению.

Пакетные сети, относящиеся к сфере применения настоящей Рекомендации, на текущий момент ограничены следующими сценариями:

- Ethernet ([IEEE 802.3], [IEEE 802.1DTM], [IEEE 802.1QTM] и [IEEE 802.1QayTM]);
- MPLS [IETF RFC 3031] и [МСЭ-Т G.8110];
- IP [IETF RFC 791] и [IETF RFC 2460].

Физический уровень, относящийся к настоящей Рекомендации, – это типы среды передачи Ethernet, определенные в [IEEE 802.3]. Могут быть актуальны и другие физические уровни, которые могут быть рассмотрены в одной из будущих версий настоящей Рекомендации.

2 Справочные документы

Указанные ниже Рекомендации МСЭ-Т и другие справочные документы содержат положения, которые путем ссылок на них в данном тексте составляют положения настоящей Рекомендации. На момент публикации указанные издания были действующими. Все Рекомендации и другие справочные документы могут подвергаться пересмотру; поэтому всем пользователям данной Рекомендации предлагается изучить возможность применения последнего издания Рекомендаций и других справочных документов, перечисленных ниже. Перечень действующих на настоящий момент Рекомендаций МСЭ-Т регулярно публикуется. Ссылка на документ, приведенный в настоящей Рекомендации, не придает ему как отдельному документу статус Рекомендации.

- | | |
|---------------|--|
| [ITU-T G.691] | Рекомендация МСЭ-Т G.691 (2006 г.), <i>Оптические интерфейсы для одноканальных STM-64 и других систем SDH с оптическими усилителями.</i> |
| [ITU-T G.702] | Recommendation ITU-T G.702 (1988), <i>Digital hierarchy bit rates.</i> |
| [ITU-T G.703] | Рекомендация МСЭ-Т G.703 (2001 г.), <i>Физические/электрические характеристики иерархических цифровых интерфейсов.</i> |
| [ITU-T G.705] | Рекомендация МСЭ-Т G.705 (2000 г.), <i>Характеристики функциональных блоков оборудования плездохронной цифровой иерархии (PDH).</i> |
| [ITU-T G.781] | Рекомендация МСЭ-Т G.781 (2008 г.), <i>Функции уровня синхронизации.</i> |
| [ITU-T G.803] | Recommendation ITU-T G.803 (2000), <i>Architecture of transport networks based on the synchronous digital hierarchy (SDH).</i> |
| [ITU-T G.811] | Recommendation ITU-T G.811 (1997), <i>Timing characteristics of primary reference clocks.</i> |

- [ITU-T G.812] Рекомендация МСЭ-Т G.812 (2004 г.), *Требования к хронированию ведомых тактовых генераторов, пригодных для использования в качестве узловых тактовых генераторов в сетях синхронизации.*
- [ITU-T G.813] Рекомендация МСЭ-Т G.813 (2003 г.), *Характеристики хронирования ведомых тактовых генераторов аппаратуры СЦИ (SEC).*
- [ITU-T G.822] Recommendation ITU-T G.822 (1988), *Controlled slip rate objectives on an international digital connection.*
- [ITU-T G.823] Recommendation ITU-T G.823 (2000), *The control of jitter and wander within digital networks which are based on the 2048 kbit/s hierarchy.*
- [ITU-T G.824] Recommendation ITU-T G.824 (2000), *The control of jitter and wander within digital networks which are based on the 1544 kbit/s hierarchy.*
- [ITU-T G.825] Recommendation ITU-T G.825 (2000), *The control of jitter and wander within digital networks which are based on the synchronous digital hierarchy (SDH).*
- [ITU-T G.957] Рекомендация МСЭ-Т G.957 (2006 г.), *Оптические интерфейсы для оборудования и систем, относящихся к синхронной цифровой иерархии.*
- [ITU-T G.959.1] Recommendation ITU-T G.959.1 (2008), *Optical transport network physical layer interfaces.*
- [ITU-T G.8010] Рекомендация МСЭ-Т G.8010/Y.1306 (2004 г.), *Архитектура сетей уровня Ethernet.*
- [ITU-T G.8110] Рекомендация МСЭ-Т G.8110/Y.1370 (2005 г.), *Архитектура сетей уровня MPLS.*
- [ITU-T G.8110.1] Recommendation ITU-T G.8110.1/Y.1370.1 (2006), *Architecture of Transport MPLS (T-MPLS) layer network.*
- [ITU-T G.8260] Recommendation ITU-T G.8260 (2010), *Definitions and terminology for synchronization in packet networks.*
- [ITU-T G.8261.1] Рекомендация МСЭ-Т G.8261.1/Y1361.1 (2012 г.), *Сетевые пределы изменения задержки пакета, применимые к методам на основе пакетов (Синхронизация по частоте).*
- [ITU-T G.8262] Recommendation ITU-T G.8262/Y.1362 (2010), *Timing characteristics of synchronous Ethernet equipment slave clock.*
- [ITU-T G.8263] Рекомендация МСЭ-Т G.8263/Y.1363 (2012 г.), *Характеристики хронирования тактовых генераторов оборудования на основе пакетов.*
- [ITU-T G.8264] Recommendation ITU-T G.8264/Y.1364 (2008), *Distribution of timing information through packet networks.*
- [ITU-T G.8265] Рекомендация МСЭ-Т G.8265/Y.1365 (2010 г.), *Архитектура и требования для доставки значений частот в пакетном режиме.*
- [ITU-T G.8265.1] Recommendation ITU-T G.8265.1/Y.1365.1 (2010), *Precision time protocol telecom profile for frequency synchronization.*
- [ITU-T G.8271] Рекомендация МСЭ-Т G.8271/Y1366 (2012 г.), *Характеристики временной и фазовой синхронизации пакетных сетей.*
- [ITU-T O.171] Recommendation ITU-T O.171 (1997), *Timing jitter and wander measuring equipment for digital systems which are based on the plesiochronous digital hierarchy (PDH).*
- [ITU-T O.172] Рекомендация МСЭ-Т O.172 (2005 г.), *Аппаратура для измерения фазового дрожания и дрейфа фазы для цифровых систем, построенных на основе синхронной цифровой иерархии (SDH).*

- [ITU-T Y.1411] Рекомендация МСЭ-Т Y.1411 (2003 г.), *Взаимодействие сетей на основе ATM-MPLS – Взаимодействие в плоскости пользователя по методу ячеек.*
- [ITU-T Y.1540] Recommendation ITU-T Y.1540 (2002), *Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters.*
- [ITU-T Y.1561] Рекомендация МСЭ-Т Y.1561 (2004 г.), *Рабочие параметры и параметры доступности для сетей MPLS.*
- [ITU-T Y.1731] Рекомендация МСЭ-Т Y.1731 (2006 г.), *Функции и механизмы ОАМ для сетей на базе Ethernet.*
- [IEEE 802] IEEE 802-2001, *IEEE standard for local and metropolitan area networks: Overview and architecture.*
<<http://standards.ieee.org/getieee802/802.html>>
- [IEEE 802.1D] IEEE 802.1D-2004, *IEEE Standard for local and metropolitan area networks: Media Access Control (MAC) Bridges.*
<<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.1D-2004.pdf>>
- [IEEE 802.1Q] IEEE 802.1Q-2011, *IEEE Standard for local and metropolitan area networks: Virtual bridged local area networks.*
<<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.1Q-2011.pdf>>
- [IEEE 802.3] IEEE 802.3-2008, *Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications.*
<<http://standards.ieee.org/getieee802/802.3.html>>
- [IETF RFC 791] IETF RFC 791 (1981), *Internet Protocol (IP).*
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc0791.txt?number=791>>
- [IETF RFC 2460] IETF RFC 2460 (1998), *Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification.*
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc2460.txt?number=2460>>
- [IETF RFC 3031] IETF RFC 3031 (2001), *Multiprotocol Label Switching Architecture.*
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc3031.txt?number=3031>>

3 Определения

3.1 Термины, определенные в других документах

В настоящей Рекомендации используются следующие термины, определенные в других документах.

3.1.1 Адаптивное восстановление тактового сигнала (adaptive clock recovery) – см. [ITU-T G.8260].

3.1.2 Асинхронный интерфейс (asynchronous interface) – см. [ITU-T G.823].

3.1.3 Функция взаимодействия (interworking function (IWF)) – см. [ITU-T Y.1411].
Дополнительные подробности и примеры приведены в Приложении В и Дополнении IX.

3.1.4 Пакетный метод (packet-based method) – см. [ITU-T G.8260].

3.1.5 Пакетный метод с поддержкой хронирования из сети (packet-based method with timing support from the network) – см. [ITU-T G.8260].

3.1.6 Пакетный метод без поддержки хронирования из сети (packet-based method without timing support from the network) – см. [ITU-T G.8260].

3.1.7 Функция хронирования пакетной сети (packet network timing function (PNT-F)) – см. [ITU-T Y.8260].

3.1.8 Синхронный интерфейс (synchronous interface) – см. [ITU-T G.823].

3.1.9 Интерфейс трафика (traffic interface) – см. [ITU-T G.823].

3.2 Термины, определенные в настоящей Рекомендации

В настоящей Рекомендации определяются следующие термины.

3.2.1 CES IWF – функция межсетевого взаимодействия (interworking function (IWF)) услуг эмуляции каналов (circuit emulation services (CES)) – это множество функций в рамках IWF, которые поддерживают домен синхронизации служб (см. рисунок В.3). Сюда входит функция восстановления хронирования синхронизации служб.

3.2.2 Участок услуг эмуляции каналов (circuit emulation services (CES)) – сегмент сети, основанной на технологиях коммутации пакетов, который эмулирует характеристики либо сети с коммутацией каналов, либо сети с транспортом PDH/SDH (плезиохронная/синхронная цифровая иерархия) для предоставления услуг CBR (например, E1).

3.2.3 Прослеживаемость источника частоты (frequency source traceability) – это связь, по которой частота всех тактовых сигналов в системе прослеживается до единственного физического тактового генератора. При нормальных условиях эксплуатации в системе, прослеживаемой до источника, все тактовые сигналы имеют одну и ту же среднюю частоту. Таким образом погрешность фазы или максимальная погрешность временного интервала (MTIE) между всеми тактовыми сигналами в такой системе ограничена.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Другой случай – когда частота всех тактовых сигналов должна прослеживаться до точных главных тактовых сигналов (не обязательно одних и тех же элементов оборудования). Это связано с концепцией плезиохронности, определенной в [b-ITU-T G.810]. Например, тактовые сигналы могут иметь PRC-прослеживаемость (то есть прослеживаться до тактовых генераторов [ITU-T G.811]) в сети синхронизации, основанной на распределенной архитектуре PRC.

3.2.4 Тактовый генератор сети (network clock) – тактовый генератор, генерирующий тактовый сигнал сети.

3.2.5 Домен сетевого тактового генератора (network clock domain) – набор функций, относящихся к поддержке сети синхронизации (сетевого тактового генератора).

3.2.6 Тактовый сигнал сети (network clock signal) – опорный тактовый сигнал, который используется в качестве эталона, что позволяет выполнять прямое и обратное преобразование рабочих тактовых сигналов в точках входа и выхода сети соответственно. В некоторых приложениях этот сигнал может быть асинхронным и генерироваться несинхронизированным генератором с низкими требованиями к точности частоты (например, в сети Ethernet физический уровень может работать с точностью до ± 100 ppm (миллионных долей)). В других приложениях необходим точный опорный тактовый сигнал. В этом случае сигнал, как правило, при нормальных условиях прослеживается до PRC, а распространение этого сигнала по сети осуществляется с помощью сети синхронизации.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Для целей настоящей Рекомендации предполагается, что всегда используется достаточно точный сигнал. Ввиду этого определение тактового сигнала сети можно считать совпадающим с определением тактового сигнала сети синхронизации, и эти два термина используются по всему тексту настоящей Рекомендации как взаимозаменяемые.

3.2.7 Синхронная работа сети (network-synchronous operation) – синхронизация физического уровня (обычно посредством распространения сигнала хронирования, прослеживаемого до первичного эталонного генератора (PRC), см. [ITU-T G.811]).

3.2.8 Рабочий тактовый генератор (service clock) – тактовый генератор, генерирующий тактовый сигнал для служб.

3.2.9 Домен рабочих тактовых генераторов (service clock domain) – набор функций, относящихся к поддержке функции хронирования CES (рабочих тактовых генераторов).

3.2.10 Рабочий тактовый сигнал (service clock signal) – информация хронирования, связанная с определенной службой, поддерживаемой сетью. Например, в случае службы E1 хронирование TDM должно составлять 2048 кбит/с ± 50 ppm (миллионных долей).

3.2.11 Тактовый генератор сети синхронизации (synchronization network clock) – оборудование, обеспечивающее сигнал хронирования в сети синхронизации.

3.2.12 Тактовый сигнал сети синхронизации (synchronization network clock signal) – опорный сигнал хронирования, распространяемый сетью синхронизации. Этот сигнал прослеживается до точного эталонного генератора (например, PRC).

3.2.13 Мультиплексирование с временным разделением каналов (time division multiplex (TDM)) – термин, который обычно относится к изохронным битовым потокам, используемым в телефонных сетях; в частности тем, которые входят в плезиохронную цифровую иерархию (PDH), как описано в [ITU-T G.705]. Скорости передачи битов, традиционно используемые в различных регионах мира, указаны в [ITU-T G.702]. Примером сигналов, подпадающих под определение TDM, служат сигналы, входящие в иерархии PDH и SDH.

3.2.14 Период стабилизации (stabilization period) – период времени, начиная с момента, когда IWF выбрала действительный источник хронирования, и заканчивая моментом, когда выходные характеристики хронирования оказываются в рамках ограничений, установленных для выходных значений дрожания и фазового дрейфа.

3.2.15 Запас фазового дрейфа (участка сети) (wander budget (of a network island)) – фазовый дрейф, создаваемый на выходе участка сети, когда на вход первого сетевого элемента этого участка сети поступает идеальный опорный сигнал хронирования.

4 Сокращения и акронимы

В настоящей Рекомендации используются следующие сокращения и акронимы.

| | | | |
|----------|---|-----|---|
| 3GPP | Third Generation Partnership Project | | Проект партнерства третьего поколения |
| ATM | Asynchronous Transfer Mode | АПМ | Асинхронный режим передачи |
| BS | Base Station | | Базовая станция |
| CBR | Constant Bit Rate | | Постоянная битовая скорость |
| CDMA | Code Division Multiple Access | | Многостанционный доступ с кодовым разделением каналов |
| CE | Customer Equipment | | Клиентское оборудование |
| CES | Circuit Emulation Service | | Услуга эмуляции канала |
| DUT | Device Under Test | | Тестируемое устройство |
| EEC | Synchronous Ethernet Equipment Clock | | Тактовый генератор оборудования синхронного Ethernet |
| ESMC | Ethernet Synchronization Messaging Channel | | Канал передачи сообщений синхронизации Ethernet |
| FDD | Frequency Division Duplex | | Дуплексный режим с частотным разделением |
| FE | Fast Ethernet | | Быстрый Ethernet, технология передачи данных в локальной сети со скоростью до 100 Мбит/с |
| GE | Gigabit Ethernet | | Гигабитный Ethernet, технология передачи данных в локальной сети со скоростью до 1 Гбит/с |
| GPS | Global Positioning System | | Глобальная система определения местоположения |
| GSM | Global System for Mobile communications | | Глобальная система подвижной связи |
| IP | Internet Protocol | | Протокол Интернет |
| IP DSLAM | IP Digital Subscriber Line Access Multiplexer | | IP-мультиплексор доступа к цифровой абонентской линии |
| IWF | Interworking Function | | Функция межсетевого взаимодействия |

| | | | |
|--------|---|-------|--|
| MAC | Medium Access Control | | Управление доступом к среде передачи |
| M-CMTS | Modular Cable Modem Termination System | | Модульная система завершения кабельного модема |
| MPEG | Moving Picture Experts Group | | Группа экспертов по движущимся изображениям |
| MRTIE | Maximum Relative Time Interval Error | | Максимальная относительная погрешность временного интервала |
| MSAN | MultiService Access Node | | Многофункциональный узел доступа |
| MTIE | Maximum Time Interval Error | | Максимальная погрешность временного интервала |
| NTP | Network Time Protocol | | Сетевой протокол синхронизации |
| OLT | Optical Line Termination | | Оконечная оптическая линия |
| OTN | Optical Transport Network | ОТС | Оптическая транспортная сеть |
| PDH | Plesiochronous Digital Hierarchy | | Плезеохронная цифровая иерархия |
| PDV | Packet Delay Variation | | Колебания задержки пакетов |
| PEC | Packet-based Equipment Clock | | Тактовый генератор оборудования на основе пакетов |
| PHY | PHYSical (layer) | | Физический (уровень) |
| PNT | Packet Network Timing | | Хронирование пакетной сети |
| PNT-F | PNT-Function | | Функция PNT |
| PRC | Primary Reference Clock | | Первичный эталонный тактовый генератор |
| PSC-A | Packet-based Service Clock-Adaptive | | Адаптивный к рабочему пакетному тактовому сигналу |
| PSC-D | Packet-based Service Clock-Differential | | Дифференциальный по отношению к рабочему пакетному тактовому сигналу |
| PSTN | Public Switched Telephone Network | КТСОП | Коммутируемая телефонная сеть общего пользования |
| PTP | Precision Time Protocol | | Протокол точного времени |
| QL | Quality Level | | Уровень качества |
| SASE | Stand Alone Synchronization Equipment | | Автономное оборудование синхронизации |
| SDH | Synchronous Digital Hierarchy | | Синхронная цифровая иерархия |
| SEC | SDH Equipment Clock | | Тактовый сигнал оборудования SDH |
| SLA | Service Level Agreement | | Соглашение об уровне обслуживания |
| SNTP | Simple Network Time Protocol | | Простой сетевой протокол синхронизации |
| SRTS | Synchronous Residual Time Stamp | | Синхронная дифференциальная временная отметка |
| SSM | Synchronization Status Message | | Сообщение статуса синхронизации |
| SSU | Synchronization Supply Unit | | Модуль источника синхронизации |
| STM | Synchronous Transfer Mode | | Режим синхронной передачи |
| TCP | Transmission Control Protocol | | Протокол управления передачей |
| TDD | Time Division Duplex | | Дуплексный режим с временным разделением |

| | | |
|--------|--|--|
| TDEV | Time DEVIation | Отклонение времени |
| TDM | Time Division Multiplex | Мультиплексирование с временным разделением каналов |
| TDM PW | TDM PseudoWire | Псевдопроводка TDM |
| ToD | Time of Day | Время суток |
| UI | Unit Interval | Единичный интервал |
| UTC | Coordinated Universal Time | Всемирное скоординированное время |
| WCDMA | Wideband Code Division Multiple Access | Широкополосный многостанционный доступ с кодовым разделением каналов |

5 Соглашения по терминологии

В рамках настоящей Рекомендации термины "пакеты" и "кадры" используются как взаимозаменяемые.

В настоящей Рекомендации термин "Ethernet" относится к интерфейсу, определенному в [IEEE 802.3], который не соответствует дополнительным требованиям хронирования синхронного интерфейса Ethernet, приведенным в настоящей Рекомендации, в [ITU-T G.8262] и в [ITU-T G.8264].

6 Общие положения

Первоначально технология коммутации пакетов была разработана для обработки асинхронных данных.

Однако для новых приложений, таких как транспортировка услуг мультиплексирования с временным разделением каналов (TDM) и распространение синхронизации по пакетным сетям, следует учитывать строгие требования этих приложений к синхронизации.

Продолжающееся развитие электросвязи увеличивает вероятность использования сред с гибридной пакетно-канальной коммутацией для голосовых услуг и услуг передачи данных в голосовом диапазоне. Эти среды сочетают пакетные технологии (например, асинхронный режим передачи (АРП), IP, Ethernet) с традиционными системами TDM. В этих условиях важно обеспечить поддержание приемлемого уровня качества (например, ограниченную частоту проскальзывания).

Технология синхронизации в сетях TDM хорошо понята и реализована. Как правило, поставщик услуг канала TDM поддерживает сеть распространения хронирования, предоставляя синхронизацию, доступную для контроля посредством первичного эталонного тактового генератора (PRC) (то есть совместимость тактового сигнала с [ITU-T G.811]).

Аспекты хронирования и синхронизации, затронутые в настоящей Рекомендации, изначально относятся к сетям с физическим уровнем на базе типов среды передачи Ethernet, как описано в [IEEE 802.3] (см. раздел 1 "Сфера применения").

Функциональная архитектура сетей Ethernet описана в [ITU-T G.8010].

В контексте настоящей Рекомендации наивысшие уровни (например, уровень 7 в модели взаимодействия открытых систем (OSI)) относятся к приложениям, транспортируемым по пакетным сетям. Приложения режима реального времени предъявляют относительно жесткие требования к задержке и колебанию задержки. Некоторые приложения могут разрешать свои вопросы, касающиеся хронирования, на более высоких уровнях (например, MPEG-2); другие приложения полагаются на поддержку хронирования, предоставляемую одним или несколькими более низкими уровнями (например, физическим уровнем).

Целью настоящей Рекомендации является описание различных методов получения требований, связанных с синхронизацией. Рассматриваются как вопросы услуг эмуляции канала (CES), так и вопросы хронирования пакетной сети (PNT) и формулируются различные требования.

Дополнительно описываются требования к интерфейсам и оборудованию, являющиеся частью сети Ethernet и синхронной сети Ethernet. Здесь также даются рекомендации относительно того, когда следует применять те или иные методы синхронизации.

В последующих пунктах обобщаются некоторые соображения, касающиеся применимых требований синхронизации в сети на пакетной основе.

В настоящей Рекомендации рассматривается в основном CES в сетевых средах общего пользования. В некоторых частных сетевых приложениях, использующих эмуляцию канала, может оказаться достаточным распространение к узлам функции межсетевого взаимодействия (IWF) CES общего тактового сигнала с уровнем качества, отличным от уровня качества первичного эталонного тактового генератора (PRC). В то же время использование хронирования для синхронизации с уровнем качества ниже, чем у PRC, может повлечь возникновение трудностей во взаимодействии различных доменов сети, таких как взаимосвязь сетей нескольких поставщиков сетевых услуг общего пользования.

Использование общего тактового сигнала с уровнем качества, отличным от уровня качества PRC, будет изучаться в дальнейшем.

6.1 Требования к синхронизации пакетной сети

Узлам, применяемым в пакетно-ориентированной технологии передачи (например, сетевым узлам АРП), не требуется синхронизация для реализации функции коммутации пакетов. Фактически в каждой точке входа коммутатора пакетов отдельное устройство должно осуществлять адаптацию хронирования пакетов (например, адаптацию хронирования ячейки в случае коммутатора АРП) входящего сигнала к внутреннему хронированию. Например, в случае сетей АРП принципом, учитывающим разницу частот, является использование заполнения свободных ячеек. Таким образом, линии передачи в принципе не нуждаются во взаимной синхронизации.

Вместе с тем по мере того как пакетная сеть развивается и охватывает приложения на основе TDM, то есть при передаче потоков с постоянной битовой скоростью (CBR) по пакетной сети и при взаимодействии с коммутируемыми телефонными сетями общего пользования (КТСОП), пакетная сеть должна обеспечивать правильное хронирование в интерфейсах трафика.

Это означает, что требования, предъявляемые к функциям синхронизации пакетных сетей, особенно на границе пакетных сетей, зависят от услуг, предоставляемых по данным сетям. Для услуг на основе TDM, чтобы обеспечить приемлемые характеристики IWF, может потребоваться синхронная работа сети.

6.2 Требования TDM к хронированию

Транспортировка сигналов TDM по пакетным сетям требует, чтобы сигналы на выходе пакетной сети согласовались с требованиями TDM к хронированию. Это важно для обеспечения возможности взаимодействия с оборудованием TDM.

Эти требования не зависят от типа информации (голоса или данных), транспортируемой посредством сигнала TDM.

Адаптация сигналов TDM для пакетной сети называется услугами эмуляции каналов (CES).

Применимы следующие требования к хронированию: ограничение дрожания и фазового дрейфа в интерфейсах трафика и/или синхронизации, долгосрочная точность частоты (которая может повлиять на характеристики проскальзывания) и общая задержка (которая критична для услуг в режиме реального времени, таких как голосовые услуги).

6.2.1 Требования PDH к хронированию

Требования плезиохронной цифровой иерархии (PDH) к хронированию для интерфейсов трафика в основном связаны с дрожанием, фазовым дрейфом и характеристиками проскальзывания.

На входе сетевого элемента на границе пакетной сети применяются требования устойчивости к дрожанию и фазовому дрейфу. На выходе сетевого элемента в месте исхода из пакетной сети применяются требования к созданию дрожания и фазового дрейфа.

Эти значения определены в [ITU-T G.823] для сети, основанной на иерархии 2048 кбит/с, и в [ITU-T G.824] для сети, основанной на иерархии 1544 кбит/с.

Кроме того, в [ITU-T G.822] определены применимые целевые параметры частоты проскальзывания. В этом случае тактовый сигнал оборудования, генерирующего сигналы TDM, и оборудования, восстанавливающего сигналы TDM из пакетов, различны, и в данном приложении требуется наличие буфера проскальзывания.

6.2.2 Требования к интерфейсам синхронизации

Если сигналы PDH определены в качестве интерфейсов синхронизации, то к синхронизации предъявляются более строгие требования, чем для интерфейсов трафика 2048 кбит/с и 1544 кбит/с. Требования к интерфейсам синхронизации для интерфейсов PDH также определены в [ITU-T G.823] и [ITU-T G.824].

6.2.3 Требования SDH к хронированию

Любой сигнал режима синхронной передачи (STM-N) (синхронный транспортный модуль N) должен соответствовать [ITU-T G.825]. Соответствующие требования касаются устойчивости к дрожанию и фазовому дрейфу (применяются на входе сетевого элемента на границе пакетной сети, принимающей данные STM-N) и генерации дрожания и фазового дрейфа (применяются на выходе сетевого элемента, генерирующего трафик STM-N на другом конце пакетной сети).

В случае сигналов STM-N не существует различия между интерфейсами трафика и синхронизации, поскольку все сигналы STM-N определены как интерфейсы синхронизации.

6.3 Разработка технологии сети синхронизации в пакетных сетях

Движущей силой для большей части этой работы является необходимость учета требований синхронизации отдельного приложения или определенных технологий в целом (например, базовых станций в сетях глобальной системы подвижной связи (GSM) и сетях широкополосного многостанционного доступа с кодовым разделением каналов (WCDMA)). Для достижения этой цели операторам приходится распространять между элементами сети, обрабатывающими приложение, опорный сигнал хронирования соответствующего качества.

Один из подходов состоит в том, чтобы следовать стратегии распределенного PRC (например, при помощи технологий глобальной системы определения местоположения (GPS)). Альтернативный подход основывается на стратегии ведущий–ведомый. Правила разработки при конструировании сети синхронизации в таких случаях хорошо понятны и документированы (см., например, [ITU-T G.803]), если базовый транспорт пакетов (например, кадров Ethernet) осуществляется посредством существующих синхронных технологий (сетей PDH или синхронной цифровой иерархии (SDH)). С другой стороны, когда базовый транспорт основывается на несинхронных технологиях (то есть Ethernet), следует рассматривать альтернативные подходы. Этот случай далее анализируется в разделе 7.

6.4 Требования к хронированию на границе и требования к хронированию в базовых сетях

Если пакетная сеть является частью сети доступа, то могут требоваться характеристики, отличные от тех, которые требуются, когда пакетная сеть является нижележащим уровнем базовой сети.

Распространение эталона синхронизации по сегменту базовой сети может потребоваться для соответствия строгим требованиям к дрожанию и фазовому дрейфу (то есть [ITU-T G.823], [ITU-T G.824] для интерфейсов синхронизации и [ITU-T G.825]).

С другой стороны, в сети доступа требования могут быть смягчены, чтобы сделать возможным распространение опорного сигнала хронирования с характеристиками, достаточными (например, с уровнем качества более низким, чем у PRC) для поддержки требований к хронированию конечного узла (например, базовой станции или модема стандарта ITU-T V.90). Более подробная информация приведена в Дополнении IV.

6.5 Домен PNT и домен CES

В настоящей Рекомендации рассматриваются два различных основных вопроса:

- 1) как передавать тактовый сигнал сети синхронизации по пакетной сети:
 - этот вопрос связан с доменом PNT и относится к тактовому генератору сети (см. определения);
 - пояснения по этому вопросу содержатся в разделе 7;
- 2) как передавать рабочий тактовый сигнал:
 - этот вопрос связан с доменом CES и относится к рабочему тактовому генератору (см. определения);
 - пояснения по этому вопросу содержатся в разделе 8.

Дополнительная информация относительно доменов PNT и CES приведена в Приложении В.

7 Распространение эталонного сигнала хронирования по пакетным сетям (домен PNT)

Для того чтобы выполнить применимые требования синхронизации, необходима возможность распространять опорный сигнал хронирования с надлежащими характеристиками стабильности фазы и точности частоты.

В настоящей Рекомендации определены два основных класса методов:

- 1) плезиохронные методы и методы синхронной работы по отношению к сети (когда опорный сигнал хронирования распространяется по синхронному физическому уровню);
- 2) пакетные методы.

7.1 Плезиохронные методы и методы синхронной работы по отношению к сети

Первый класс методов относится к методу распределенных PRC (например, на основе GPS) или методу ведущий–ведомый, использующему синхронный физический уровень (например, STM-N); см. рисунок 1. Эти методы широко применяются для синхронизации сетей TDM.

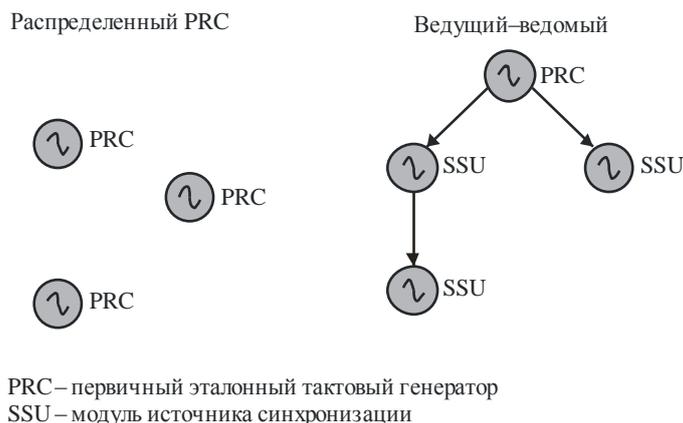


Рисунок 1 – Метод распределенных PRC и метод ведущий–ведомый

Сети Ethernet – несинхронизированные (± 100 ppm). Вместе с тем в случае технологии синхронного Ethernet возможна архитектура синхронизации ведущий–ведомый на физическом уровне. В этом случае физический уровень можно использовать для распространения опорного сигнала хронирования по пакетным сетям от магистрального уровня до уровня доступа. Этот метод также можно использовать для восстановления хронирования на уровне IWF в случае услуг CBR, транспортируемых по пакетным сетям (синхронные операции по отношению к сети). Он также может использоваться для предоставления опорного сигнала хронирования граничному оборудованию доступа в истинной сети Ethernet, поддерживающей синхронный Ethernet.

Метод высокого уровня создания синхронной сети Ethernet подробно описан в пункте 7.1.1.

7.1.1 Синхронные сети Ethernet

Общая концепция доставки тактового сигнала физического уровня от коммутатора Ethernet по синхронному Ethernet представлена на рисунке 2.

Опорный сигнал хронирования, прослеживаемый до PRC, вводится в коммутатор Ethernet при помощи внешнего порта тактового сигнала. Этот сигнал извлекается и обрабатывается средствами функции синхронизации перед вводом хронирования в поток битов Ethernet. Функция синхронизации обеспечивает фильтрацию и может потребовать удержания синхронизации. Тактовый генератор, поддерживающий синхронные сети Ethernet, называется аппаратным тактовым генератором синхронного Ethernet (ЕЕС), см. [ITU-T G.8262].

Как показано на рисунке, в распределении опорного тактового сигнала может участвовать несколько коммутаторов Ethernet. В таких случаях функция синхронизации этих коммутаторов Ethernet должна быть в состоянии восстанавливать синхронизацию "хронирования линии" из входящего потока битов.



Рисунок 2 – Пример сети синхронизации ведущий–ведомый поверх синхронного Ethernet

В рамках данной архитектуры следует проводить различие между сетевым тактовым сигналом и рабочим тактовым сигналом, как описано ниже.

Термин "синхронный Ethernet" относится к сетевому тактовому сигналу, который управляет скоростью передачи битов, исходящих из коммутатора Ethernet. Этот тактовый сигнал должен соответствовать [ITU-T G.8262].

В рамках существующей технологии Ethernet услуги фактически асинхронны. В синхронном Ethernet существующие услуги Ethernet по-прежнему преобразуются в физический уровень Ethernet и обратно с соответствующими скоростями, определяемыми рабочими тактовыми сигналами.

Предлагаемая архитектура синхронизации сетей на основе синхронного Ethernet описана в Приложении А.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Оборудование синхронного Ethernet должно соответствовать [ITU-T G.781], где определен уровень синхронизации, и [ITU-T G.8264], где описано сообщение статуса синхронизации (SSM) для синхронного Ethernet.

7.2 Пакетные методы

Второй класс методов основан на информации о хронировании, переносимой пакетами. В этом случае хронирование может осуществляться с помощью специальных сообщений с метками времени, как показано на рисунке 3. Если физический уровень не синхронный, то это единственная альтернатива подходу распространения на основе PRC. Принципы, лежащие в основе таких методов, изложены в Дополнении XII.

Метка времени может быть основана на нескольких протоколах. Примерами таких протоколов служат сетевой протокол синхронизации (NTP) и протокол точного времени (см. пункт XII.4).

Протокол RTP использует метки времени для сигналов синхронизации в сети в виде иерархии ведущий-ведомый. Он может использоваться для распространения информации о частоте и/или времени суток (ToD). RTP первоначально введен для целей промышленной автоматизации и контрольно-измерительных приборов; в то же время в новую версию (см. пункт XII.4) вошли несколько обновлений, позволяющих использовать его для сетей связи.

Для распространения информации о времени суток традиционно используются протоколы NTP и простой сетевой протокол синхронизации (SNTP). Те же пакеты можно использовать и для распространения информации о частоте.

Пакетные методы адаптивны по своей природе, так как не требуют поддержки эталонного источника сигнала синхронизации для всей сети. Таким образом колебания времени задержки пакетов в сети влияют на ее характеристики (см. раздел 10). Чтобы минимизировать влияние пакетной сети с использованием пакетов RTP или NTP в зависимости от требуемой точности могут потребоваться специальные алгоритмы, реализованные на стороне клиента (см. Дополнения III и IV).

Для повышения эффективности этих методов можно рассмотреть дополнительные требования к промежуточным узлам сети. Следует отметить, что это не всегда осуществимо, особенно в тех случаях, когда используется устаревшее оборудование.



G.8261-Y.1361(13)_F03

Рисунок 3 – Пример реализации пакетных методов распространения опорного сигнала хронирования посредством меток времени

ПРИМЕЧАНИЕ. – Более подробная информация о пакетных методах и связанных с ними требованиях содержится в [ITU-T G.8261.1], [ITU-T G.8263], [ITU-T G.8265] и [ITU-T G.8265.1]. Дополнительная информация и соответствующие рекомендации по пакетным методам приведены в пункте 12.2.2.

Тактовый генератор, поддерживающий пакетные методы, называется аппаратным тактовым генератором на основе пакетов (PEC) (см. Приложение В).

8 Восстановление хронирования для услуг с постоянной битовой скоростью, транспортируемых по пакетным сетям (домен CES)

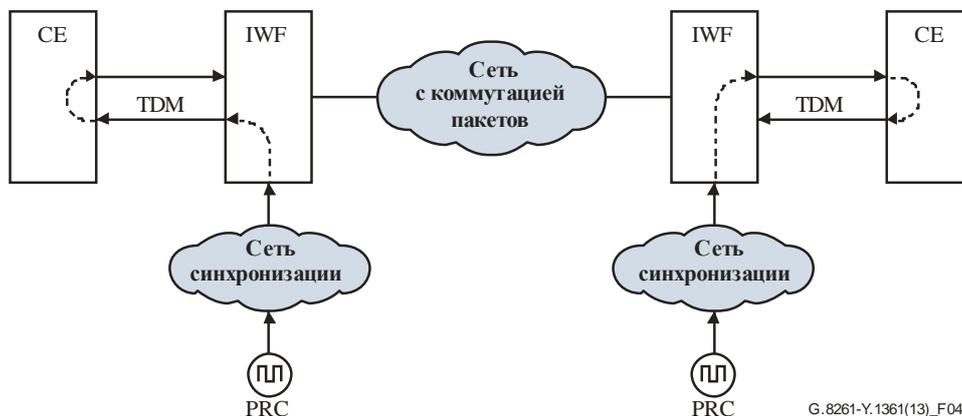
Услуги CBR (например, сигнал TDM с эмуляцией каналов) требуют, чтобы хронирование сигнала было идентичным на обоих концах пакетной сети (домен CES) и управлялось функцией IWF, ответственной за доставку потока с постоянной битовой скоростью. Смысл сохранения рабочего тактового сигнала заключается в том, что при рассмотрении в отношении долгосрочного среднего частота входящего рабочего тактового сигнала может реплицироваться в частоту исходящего рабочего тактового сигнала. Это не означает, что фазовый дрейф входящего сигнала TDM должен быть идентичен фазовому дрейфу исходящего сигнала TDM.

В последующих пунктах описаны четыре подхода, обозначенные в настоящей Рекомендации:

- 1) синхронная работа по отношению к сети;
- 2) дифференциальные методы;
- 3) адаптивные методы;
- 4) эталонный тактовый генератор в оконечных системах TDM.

8.1 Синхронная работа по отношению к сети

Данный метод подразумевает полностью синхронную работу по отношению к сети благодаря использованию в качестве рабочего тактового сигнала тактового сигнала сети, прослеживаемого до PRC или локального PRC (например, GPS) (см. рисунок 4). Это подразумевает наличие опорного PRC. Следует подчеркнуть, что при использовании данного метода хронирование услуг не сохраняется.



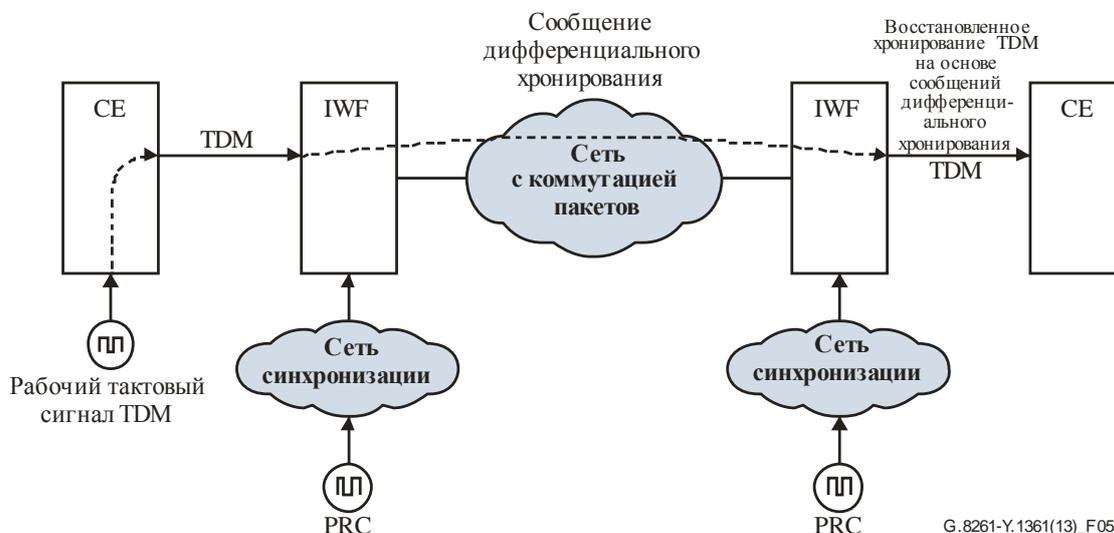
Два сигнала PRC могут также исходить из одного и того же источника

Рисунок 4 – Пример синхронной работы по отношению к сети

ПРИМЕЧАНИЕ. – Опорный сигнал хронирования на входе IWF должен соответствовать интерфейсам синхронизации, как определено в [ITU-T G.823] и [ITU-T G.824].

8.2 Дифференциальные методы

В соответствии с дифференциальными методами разность между рабочим тактовым сигналом и опорным тактовым сигналом кодируется и передается по пакетной сети (см. рисунок 5). Рабочий тактовый сигнал восстанавливается на удаленном конце пакетной сети с использованием общего эталонного генератора. Примером данного семейства методов служит метод синхронной дифференциальной временной отметки (SRTS) [b-ITU-T I.363.1]. Следует подчеркнуть, что при использовании данного метода можно сохранить хронирование услуг.



Два сигнала PRC могут исходить из одного и того же источника

Рисунок 5 – Пример восстановления хронирования на основе дифференциальных методов

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Дифференциальные методы могут работать с опорными тактовыми сигналами IWF, которые не прослеживаются до PRC. Использование тактовых сигналов, не прослеживаемых до PRC, зависит от конкретного приложения и не входит в сферу применения настоящей Рекомендации.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Опорный сигнал хронирования на входе IWF должен соответствовать интерфейсам синхронизации, как определено в [ITU-T G.823] и [ITU-T G.824].

8.3 Адаптивные методы

При использовании адаптивных методов хронирование может восстанавливаться на основе интервала времени между прибытием пакетов или на основе уровня заполнения буфера дрожания. Следует подчеркнуть, что при использовании данного метода хронирование услуг сохраняется (см. рисунок 6).

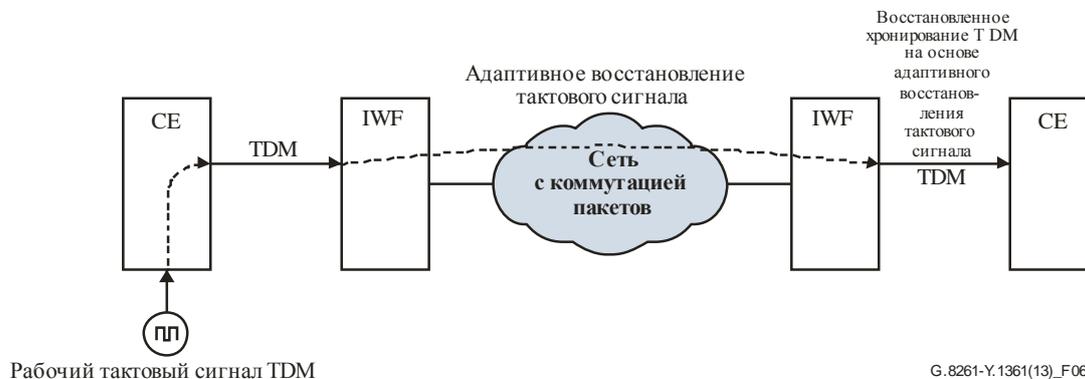


Рисунок 6 – Пример адаптивного метода

8.4 Тактовый генератор в оконечных системах TDM

Когда опорный тактовый генератор находится в каждой из оконечных систем TDM, это тривиальный случай, поскольку обе оконечные системы имеют прямой доступ к опорному источнику хронирования и перенастраивают временные соотношения сигнала, исходящего от функции IWF. Ввиду этого нет необходимости восстанавливать хронирование.

Примером реализации данного метода служит использование кольцевого хронирования в функции IWF для интерфейса TDM (см. рисунок 7). Например, данный сценарий можно применить в ситуации, когда два домена КТСОП соединены посредством пакетной сети. В этом случае как передатчик, так и приемник – это цифровые коммутаторы, так что необходимо контролировать проскальзывание.

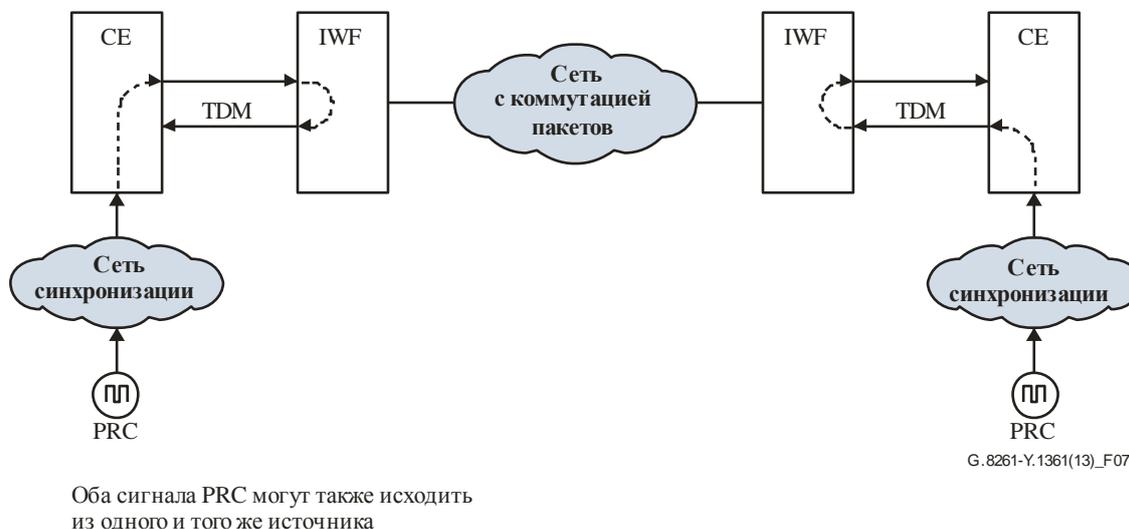


Рисунок 7 – Пример опорного сигнала хронирования PRC, доступного в оконечных системах TDM

9 Сетевые ограничения

9.1 Сетевые ограничения CES

В настоящем разделе определены сетевые ограничения для линий связи TDM на выходе функции IWF CES (выход селекторов опорных тактовых сигналов в IWF CES на рисунке В.4).

Во всех сценариях, относящихся к настоящей Рекомендации, должны соблюдаться сетевые ограничения дрожания и фазового дрейфа, определенные на настоящий момент в соответствующих Рекомендациях МСЭ-Т (например, [ITU-T G.823] и [ITU-T G.824]).

В настоящем разделе описываются три различных сценария развертывания сегмента или участка CES. В настоящем разделе определены ограничения дрожания и фазового дрейфа для интерфейсов трафика TDM (исключая сигналы STM-N), передаваемого по сегменту CES, в каждом из этих сценариев.

Сетевые ограничения, применяемые к интерфейсам синхронизации (как определено в [ITU-T G.823] и в пункте 6 [ITU-T G.824]) и к сигналам STM-N, передаваемым по пакетным сетям, подлежат дальнейшему изучению.

Следует отметить, что в некоторых случаях сигналы с качеством, соответствующим указанному в пункте 5 [ITU-T G.823] и пункте 5 [ITU-T G.824] (интерфейсы трафика), в случае прослеживаемости до PRC могут быть использованы как опорные сигналы хронирования для окончательного оборудования, устойчивого к таким сигналам и способного корректно функционировать (модель для случая развертывания 2 в примере этого сценария).

ПРИМЕЧАНИЕ. – Приведенные в данном пункте сетевые ограничения должны выполняться в нормальных условиях (например, при отсутствии условий отказа и действий по техническому обслуживанию). Определение доли времени, в течение которого применяются данные ограничения, не входит в сферу применения настоящей Рекомендации.

9.1.1 Модель сети, лежащая в основе сетевых ограничений

В случае транспорта сигналов PDH модели, представленные на рисунках А.1 [ITU-T G.823] и А.1 [ITU-T G.824], являются исходной точкой для рассмотрения возможности вставки сегмента CES. Бюджет фазового дрейфа, выделенный сегменту CES, должен составлять лишь часть всего бюджета фазового дрейфа, как определено в [ITU-T G.823] или [ITU-T G.824], поскольку общий бюджет фазового дрейфа должен использоваться совместно со всей остальной сетью.

В зависимости от местоположения сегмента CES могут применяться различные требования к фазовому дрейфу. Имеется несколько моделей развертывания CES; эти модели определены в пунктах 9.1.1.1, 9.1.1.2 и 9.1.1.3.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – На рисунках, приведенных в настоящем разделе, не показаны подробности того, как хронирование восстанавливается функцией IWF или как оно распространяется в пакетной сети. Для получения более подробной информации см. разделы 7 и 8.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – В этих моделях представлен только один участок CES, поскольку их целью является выделение бюджета фазового дрейфа только для сегмента технологии CES. Возможно наличие нескольких систем CES, при условии что совокупный создаваемый ими фазовый дрейф не выходит за рамки бюджета фазового дрейфа, выделенного CES.

Накопление фазового дрейфа по нескольким участкам подлежит дополнительному исследованию.

9.1.1.1 Случай развертывания 1

Когда сегмент CES расположен на участке между двумя коммутаторами эталонной модели [ITU-T G.823], бюджет фазового дрейфа рассчитывается на основе модели, представленной на рисунке 8. Данная модель основана на рисунках А.1 [ITU-T G.823] и А.1 [ITU-T G.824], где один из участков SDH заменен сетью CES.

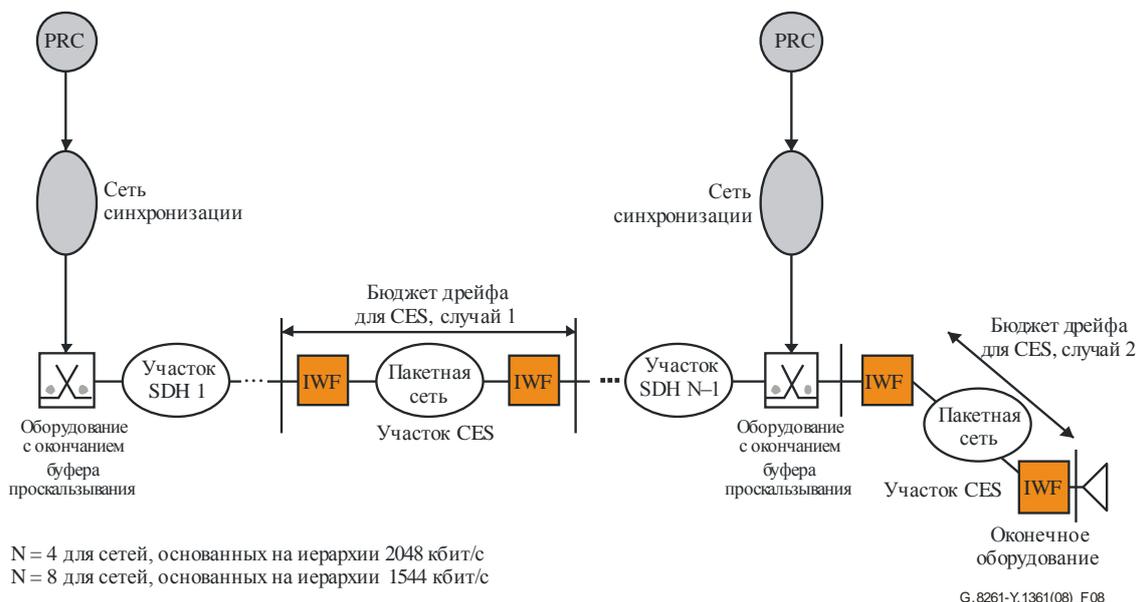


Рисунок 8 – Сетевые модели накопления фазового дрейфа трафика и тактового сигнала, случаи развертывания 1 и 2

Бюджет фазового дрейфа, выраженный в единицах максимальной относительной погрешности временного интервала (MRTIE), для сигнала 2048 кбит/с определен в таблице 1. Результирующая общая спецификация показана на рисунке 9.

Таблица 1 – Случай развертывания 1: бюджет фазового дрейфа для интерфейса 2048 кбит/с

| Интервал наблюдения, τ (с) | Требуемое MRTIE (мкс) |
|------------------------------------|--------------------------|
| $0,05 < \tau \leq 0,2$ | $10,75 \tau$ |
| $0,2 < \tau \leq 32$ | $9 \times 0,24 = 2,15$ |
| $32 < \tau \leq 64$ | $0,067 \tau$ |
| $64 < \tau \leq 1\,000$ | $18 \times 0,24 = 4,3$ |

Следует отметить, что для асинхронной конфигурации максимальный рассматриваемый интервал наблюдений составляет 80 с.
 Определение значений для асинхронных интерфейсов от 80 с до 1000 с подлежит дополнительному изучению.

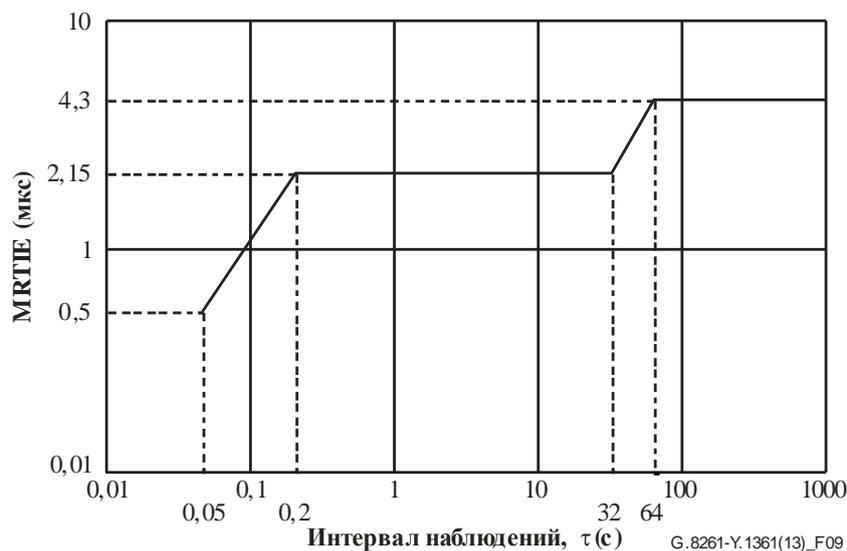


Рисунок 9 – Пример развертывания 1: бюджет фазового дрейфа для интерфейса 2048 кбит/с

Сетевые ограничения дрожания 2048 кбит/с должны соответствовать пункту 5.1 [ITU-T G.823].

Бюджет фазового дрейфа, выраженный в единицах максимальной относительной погрешности временного интервала (MRTIE), для сигнала 1544 кбит/с определен в таблице 2. Результирующая общая спецификация показана на рисунке 10.

Таблица 2 – Случай развертывания 1: бюджет фазового дрейфа для интерфейса 1544 кбит/с

| Интервал наблюдения, τ (с) | МТІЕ (мкс) |
|---------------------------------|---------------------------------|
| $\tau \leq 0,1$ | Нет требований (см. Примечание) |
| $0,1 < \tau \leq 0,47$ | $4,5 \tau$ |
| $0,47 < \tau \leq 900$ | 2,1 |
| $900 < \tau \leq 1\,930$ | $2,33 \times 10e - 3 \tau$ |
| $1\,930 < \tau \leq 86\,400$ | 4,5 |

ПРИМЕЧАНИЕ. – Эта часть охвачена требованиями к дрожанию.

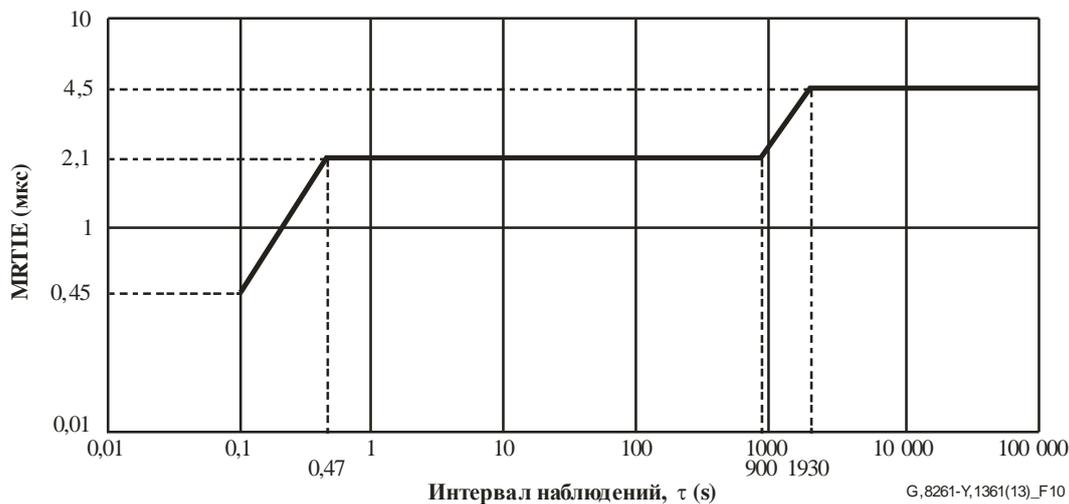


Рисунок 10 – Случай развертывания 1: бюджет фазового дрейфа для интерфейса 1544 кбит/с

Сетевые ограничения дрожания 1544 кбит/с должны соответствовать пункту 5.1 [ITU-T G.824].

ПРИМЕЧАНИЕ. – Сетевые ограничения для других сигналов PDH (то есть сигналов 34 368 кбит/с, 44 736 кбит/с и 139 264 кбит/с), передаваемых по сегментам CES, подлежат дополнительному изучению.

9.1.1.2 Случай развертывания 2

Положение А

Когда сегмент CES расположен вне сетевых элементов, содержащих буферы проскальзывания (см. рисунок 8), следует принимать во внимание эффект восстановления синхронизации коммутатора. На выходе этого оборудования хронирование сигнала трафика соответствует сетевому ограничению для сигнала синхронизации, которое является более строгим, чем аналогичное ограничение для сигнала трафика.

Дрожание и бюджет фазового дрейфа для сегмента CES в этом случае равны разности между сетевым ограничением 2048 кбит/с (см. рисунок 1 [ITU-T G.823]) и сетевым ограничением интерфейса синхронизации 2048 кбит/с (см. рисунок 10 [ITU-T G.823]). Данное ограничение, выраженное в MRTIE, приведено в таблице 3. Результирующая общая спецификация показана на рисунке 11.

Таблица 3 – Случай 2А: бюджет фазового дрейфа для интерфейса 2048 кбит/с

| Интервал наблюдения, τ (с) | Требование MRTIE (мкс) |
|------------------------------------|---------------------------|
| $0,05 < \tau \leq 0,2$ | 40τ |
| $0,2 < \tau \leq 32$ | 8 |
| $32 < \tau \leq 64$ | $0,25 \tau$ |
| $64 < \tau \leq 1000$ (Примечание) | 16 |

Следует отметить, что для асинхронной конфигурации максимальный рассматриваемый интервал наблюдений составляет 80 с.
 Определение значений для асинхронных интерфейсов от 80 с до 1000 с подлежит дополнительному изучению.

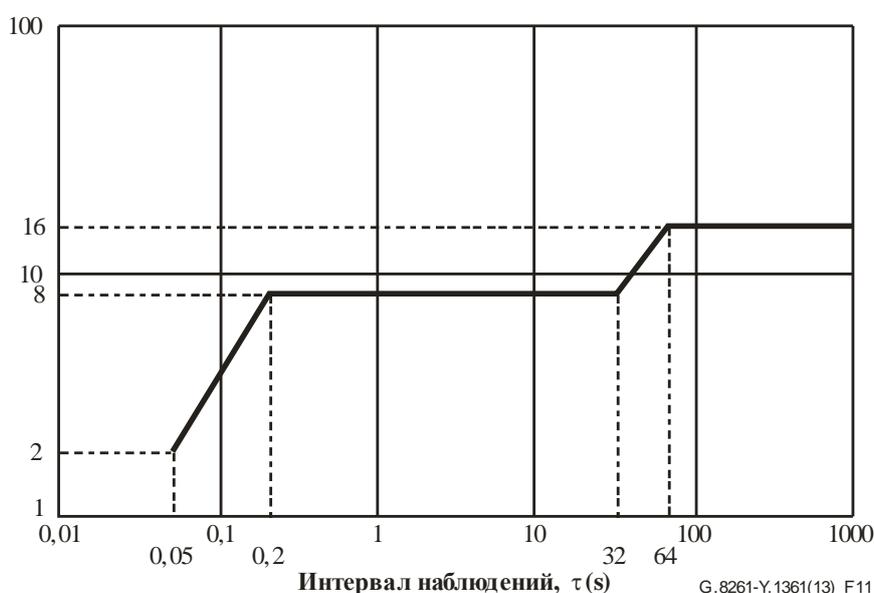


Рисунок 11 – Пример 2А: бюджет фазового дрейфа для интерфейса 2048 кбит/с

Для интерфейсов 1544 кбит/с требования случая 1 также распространяются на приложения случая 2.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Сетевые ограничения для других сигналов PDH (то есть сигналов 34 368 кбит/с, 44 736 кбит/с и 139 264 кбит/с), передаваемых по сегментам CES, подлежат дополнительному изучению.

Приложение В

В этом случае приложение восстанавливает хронирование посредством сигнала TDM; в связи с этим дифференциальное дрожание и фазовый дрейф между тактовым сигналом и данными, кроме тех, что находятся в диапазоне восстановления тактового сигнала, отсутствуют, поскольку тактовый сигнал и данные извлекаются из одного и того же сигнала. Бюджет фазового дрейфа сегмента CES ограничен только качеством хронирования, которое требуется приложению (например, в силу требований базовой станции), а не [ITU-T G.823].

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Это применимо только к приложениям с единственным сигналом; если же принимаются два сигнала, то может существовать дифференциальное дрожание и фазовый дрейф между одним из сигналов и тактовым сигналом, извлеченным из другого сигнала.

9.1.1.3 Случай развертывания 3

Когда восстановление тактовых интервалов реализуется на выходе участков SDH, как показано на рисунке 12, амплитуда шума в выходном сигнале PDH равна амплитуде шума на выходе интерфейса синхронизации. В некоторых конфигурациях это позволяет увеличить бюджет фазового дрейфа до величины, равной бюджету фазового дрейфа Приложения А случая развертывания 2. Следует отметить, что сквозной рабочий тактовый сигнал в этом случае не сохраняется.

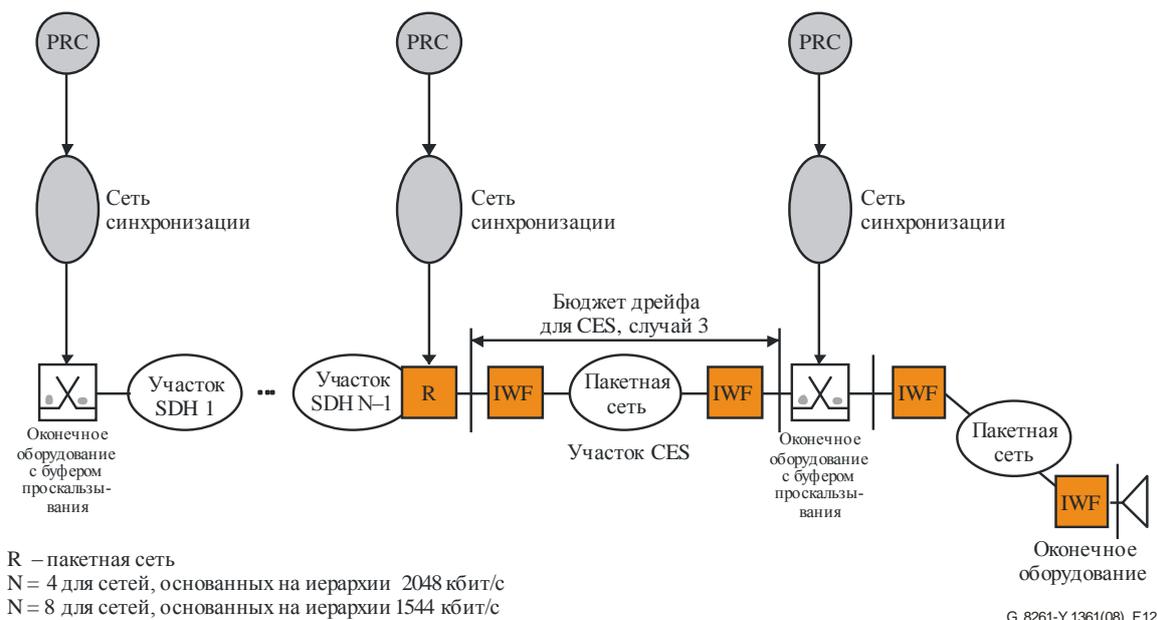


Рисунок 12 – Сценарий случая развертывания 3

9.2 Сетевые ограничения PNT

Для случая синхронного Ethernet (интерфейс ЕЕС) и для случая пакетных сигналов синхронизации (интерфейс РЕС) сетевые модели и связанные с ними сетевые ограничения определяются отдельно.

В частности сведения о цепях синхронизации на основе синхронного Ethernet (например, количество тактовых генераторов в цепи синхронизации) соответствуют моделям [ITU-T G.803], [ITU-T G.823] и [ITU-T G.824].

Некоторые примеры приведены на рисунке D.1. Как описано в этих примерах, сетевые ограничения определяются для того, чтобы поддерживать гибридные реализации, а также случаи, когда SDH смешивается с синхронным Ethernet.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Сетевые ограничения, описанные в настоящем разделе, действуют при нормальных условиях (например, при отсутствии условий отказа и действий по техническому обслуживанию). Определение доли времени, в течение которого эти ограничения применимы, не входит в сферу применения настоящей Рекомендации.

9.2.1 Сетевые ограничения для интерфейса ЕЕС

В настоящем разделе определены сетевые ограничения на выходе ЕЕС в цепи синхронизации.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Как правило, эти ограничения применимы во всех точках сети синхронизации. В некоторых случаях применения, в основном в сети доступа, может быть возможно восстановление хронирования по сигналу Ethernet с дрожанием и фазовым дрейфом, соответствующим характеристикам допустимой погрешности подключенного оборудования (см. примеры соответствующих приложений в Дополнении IV). Ответственность за использование линии Ethernet, не соответствующей ограничениям, определенным в настоящем разделе, возлагается на оператора.

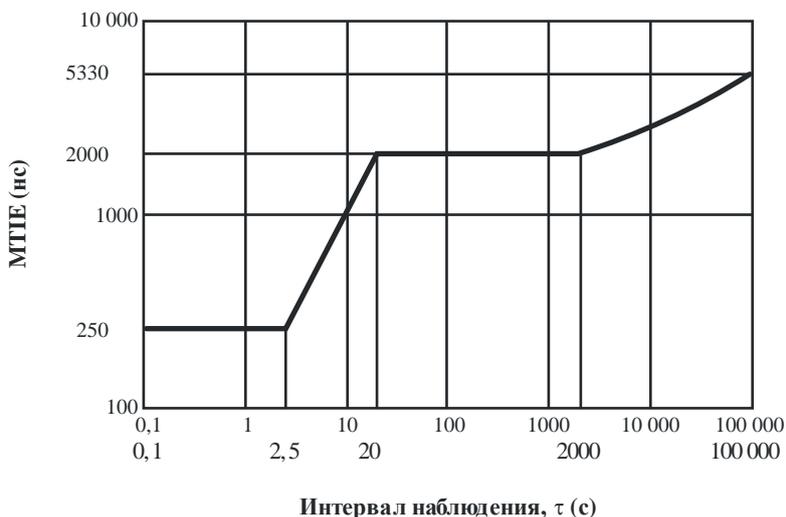
9.2.1.1 Сетевые ограничения фазового дрейфа для интерфейса ЕЕС (вариант 1)

В таблице 4 приведено сетевое ограничение по фазовому дрейфу в выходном интерфейсе ЕЕС-1, выраженное в единицах МТІЕ. Результирующая общая спецификация показана на рисунке 13.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Значения даны относительно скоординированного универсального времени (UTC), то есть они включают фазовый дрейф PRC.

Таблица 4 – Сетевое ограничение по фазовому дрейфу для интерфейсов ЕЕС (вариант 1), выраженное в единицах МТІЕ

| Интервал наблюдения, τ (с) | Требование МТІЕ (нс) |
|---------------------------------|------------------------------|
| $0,1 < \tau \leq 2,5$ | 250 |
| $2,5 < \tau \leq 20$ | 100τ |
| $20 < \tau \leq 2\,000$ | 2 000 |
| $\tau > 2\,000$ | $433 \tau^{0,2} + 0,01 \tau$ |



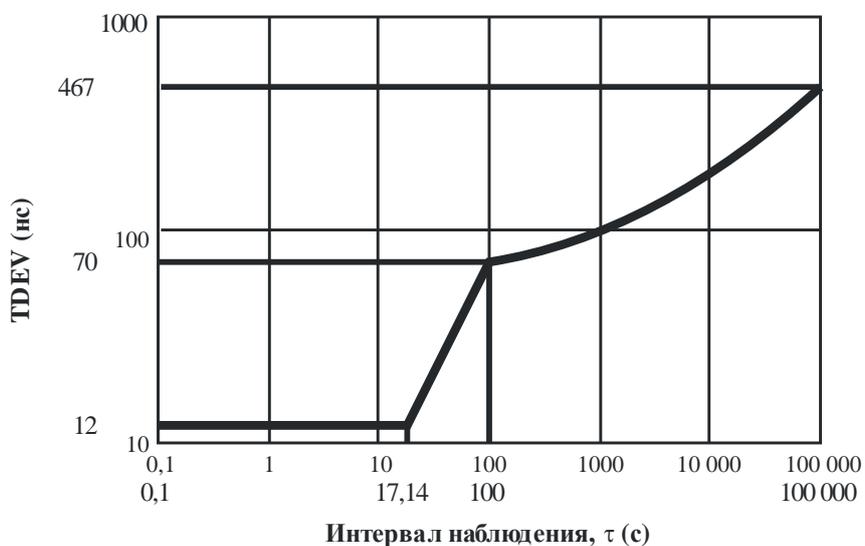
G.8261-Y.1361(08)_F13

Рисунок 13 – Сетевое ограничение по фазовому дрейфу (МТІЕ) для интерфейсов ЕЕС (вариант 1)

В таблице 5 приведено сетевое ограничение по фазовому дрейфу для выходного интерфейса ЕЕС (вариант 1), выраженное в единицах отклонения времени (time DEVIation – TDEV). Результирующая общая спецификация показана на рисунке 14.

**Таблица 5 – Сетевое ограничение по фазовому дрейфу
для интерфейсов ЕЕС (вариант 1), выраженное в единицах TDEV**

| Интервал наблюдения, τ (с) | Требование TDEV (нс) |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| $0,1 < \tau \leq 17,14$ | 12 |
| $17,14 < \tau \leq 100$ | $0,7 \tau$ |
| $100 < \tau \leq 1\,000\,000$ | $58 + 1,2 \tau^{0,5} + 0,0003 \tau$ |



G.8261-Y.1361(08)_F14

**Рисунок 14 – Сетевое ограничение по фазовому дрейфу (TDEV)
для интерфейсов ЕЕС (вариант 1)**

9.2.1.2 Сетевые ограничения фазового дрейфа для интерфейса ЕЕС (вариант 2)

В таблице 6 приведено сетевое ограничение по фазовому сдвигу в выходном интерфейсе ЕЕС (вариант 2), выраженное в единицах TDEV. Результирующая общая спецификация показана на рисунке 15.

**Таблица 6 – Сетевое ограничение по фазовому дрейфу (TDEV)
для интерфейсов ЕЕС (вариант 2)**

| Интервал наблюдения, τ (с) | TDEV (нс) |
|------------------------------------|---------------------|
| $0,05 < \tau \leq 10$ | 10 |
| $10 < \tau \leq 1\,000$ | $3,1623 \tau^{0,5}$ |

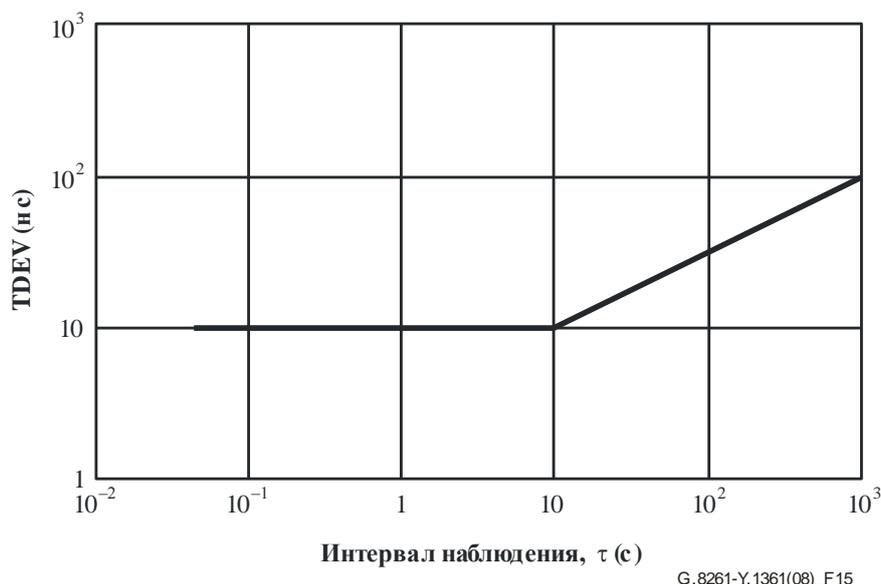


Рисунок 15 – Сетевое ограничение по фазовому дрейфу (TDEV) для интерфейсов ЕЕС (вариант 2)

Маска на рисунке 15 взята из рисунка 5 [ITU-T G.824]. Эта маска также присутствует на рисунке I.1 [ITU-T G.813] для сетевых ограничений фазового дрейфа по варианту 2.

9.2.1.3 Сетевые ограничения по дрожанию для интерфейса ЕЕС

Сетевые ограничения по дрожанию для интерфейса ЕЕС см. в таблице 7.

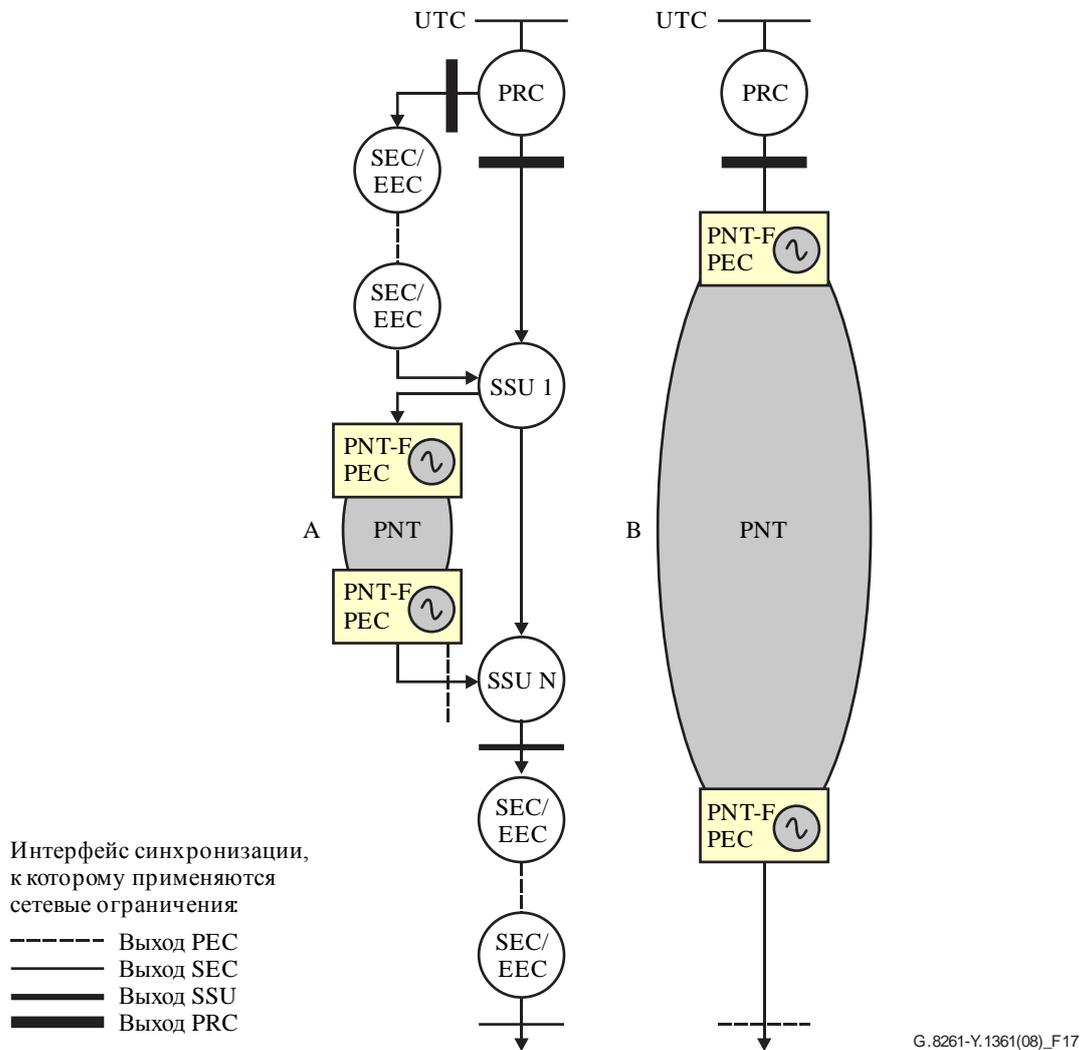
Таблица 7 – Сетевые ограничения по дрожанию для интерфейса ЕЕС

| Интерфейс | Справочные документы | |
|--|---|----------------|
| 2 048 кбит/с | См. [ITU-T G.823], раздел 6.1 – сетевые ограничения по дрожанию на выходе в интерфейсах синхронизации, требования SEC | (Примечание 1) |
| 2 048 кГц | | |
| 1 544 кбит/с | | |
| STM-n | См. [ITU-T G.824], раздел 6.1 – сетевые ограничения по дрожанию | |
| | См. [ITU-T G.825], раздел 5.1 – сетевые ограничения по дрожанию | |
| Ethernet (синхронный Ethernet) | См. таблицу 7а | (Примечание 2) |
| <p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Ограничения по дрожанию взяты из [ITU-T G.823], [[ITU-T G.824] и [ITU-T G.825], чтобы обеспечить надлежащее взаимодействие с сетями синхронизации на основе SEC и комбинированными функциями ЕЕС–SEC.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – В цепочке из n ($n \leq 20$) соединенных ЕЕС накопленное в сети дрожание должно быть достаточно низким, чтобы все вовлеченные ЕЕС соответствовали требованиям спецификации дрожания на своих выходах синхронизации (2048 кГц, 2048 Кбит/с, 1544 кбит/с и т. д.). См рисунок 16, иллюстрирующий цепочку из ЕЕС; см. также Приложение D.</p> | | |

PNT, случай развертывания 1

Модель для случая 1 развертывания PNT показана на рисунке 17. Этот случай относится к сети синхронизации типа ведущий-ведомый, где вместо использования технологии на основе TDM (например, SDH или PDH) реализованы технологии передачи по пакетной сети.

На левом рисунке (модель А) показан пример, в котором часть сети синхронизации заменена сегментом PNT, а правый рисунок (модель В) относится к сети синхронизации, полностью реализованной поверх сегмента PNT.



ПРИМЕЧАНИЕ.– PEC – это тактовый генератор PNT-F, подходящий для данной модели. Развертывание в сети других тактовых генераторов (например, развертывание сегмента PNT частично на основе EEC и частично на основе PEC) подлежит дальнейшему исследованию.

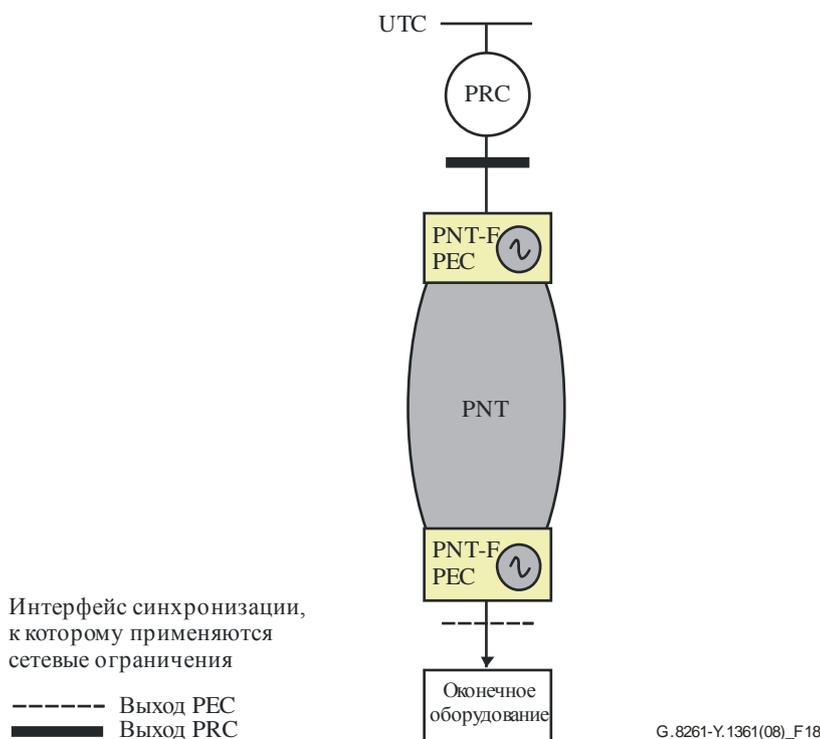
Рисунок 17 – Сегмент PNT заменяет сеть синхронизации на основе TDM – частично (модель А) или полностью (модель В)

Сетевые ограничения, определенные в пункте 9.2.1 (сетевые ограничения для EEC) применимы к обеим моделям – А и В.

PNT, случай развертывания 2

Модель для случая 2 развертывания PNT показана на рисунке 18.

Этот случай относится к распространению сигналов хронирования в направлении оконечного оборудования (например, базовой приемопередающей станции (BTS), см. Дополнение IV).



ПРИМЕЧАНИЕ.– PEC – это тактовый генератор PNT-F, подходящий для данной модели. Развертывание в сети других тактовых генераторов (например, развертывание сегмента PNT частично на основе EEC и частично на основе PEC) подлежит дальнейшему исследованию.

Рисунок 18 – PNT с распространением сигнала хронирования в направлении конечных приложений

Требования развертывания в случае 2 устанавливаются окончательным оборудованием. Они выражаются применительно к допустимой погрешности и классу точности, требуемым для нормальной работы приложения.

Таким образом, в случае 2 развертывания сегмент PNT может создавать дрожание и фазовый дрейф до пределов, допускаемых конечными приложениями (например, сетевыми ограничениями для интерфейсов трафика, определенными в разделе 5 [ITU-T G.823] или разделе 5 [ITU-T G.824]).

Другие примеры сетевых ограничений, применимые к беспроводным приложениям, приведены в разделе IV.2.3.

10 Влияние искажений в пакетной сети на распространение хронирования и восстановление рабочего тактового сигнала

В настоящем разделе обсуждаются различные искажения, оказывающие влияние на трафик и его информацию о хронировании в пакетных сетях. Следует понимать, что требования эмулированных каналов и восстановленных тактовых сигналов, определенные в разделе 9, должны выполняться в условиях эксплуатации.

В основном синхронизация необходима в сетях уровня 1 для управления буферами. Буферы уровня 1 представлены в сетях PDH, SDH и оптической транспортной сети (ОТС), и их функции адаптации (преобразования) представляют собой простые структуры, где номинальная скорость входящего и исходящего трафика удерживается в определенных границах, заданных соответствующими сетевыми стандартами этих сетей TDM. В качестве методов управления этими буферами и приспособления к тактовым сигналам различных доменов используются такие механизмы, как вставка байтов, указатели, а также системные тактовые сигналы. Конструкция сети ограничивает размер буфера таким образом, чтобы минимизировать задержку. В сетях уровня 1, таких как SDH, существует прямая связь между сетевым тактовым сигналом и уровнем фазового дрейфа или дрожания, которые могут быть приданы клиентскому сигналу.

В случае транспортировки по пакетным сетям данных, вместо того чтобы переноситься в виде непрерывного потока с постоянной битовой скоростью, данные доставляются по сети блоками (пакетами, кадрами). Пакеты могут быть статистически мультиплексированы и маршрутизируются посредством пакетных коммутаторов, в результате чего возникает задержка передачи пакетов из-за обработки, буферизации и повторной передачи на промежуточных коммутаторах. В одном коммутаторе может возникнуть необходимость объединения нескольких потоков пакетов в единый буфер исходящего трафика. Возникающее в результате соперничество за буфер влечет за собой появление переменной задержки. В некоторых случаях имеет место выпадение пакетов. Тактовый сигнал, используемый для управления каналами передачи уровня 1, вероятно, является асинхронным по отношению к тактовому сигналу, используемому внутри коммутатора. Любое различие между скоростью предоставления пакетов для передачи и реальной скоростью передачи компенсируется путем добавления дополнений между пакетами или отклонения пакетов.

Поскольку пакеты могут проходить по разным маршрутам, поток пакетов от выхода до входа может демонстрировать значительные колебания задержки. Кроме того, может нарушаться очередность пакетов, что ведет к дополнительной буферизации. Услугам, использующим пакетную сеть, следует принимать во внимание эти искажения. В пакетных сетях требуются буферы большого размера для осуществления обработки уровня пакетов, и в этом случае для поддержки большинства услуг требуется только синхронизация "грубого" уровня.

В отличие от сетей уровня 1, таких как SDH, не существует прямой связи между сетевым тактовым сигналом и буферами обработки пакетов. Таким образом, сетевое хронирование не может быть использовано для контроля колебания задержки пакетов в этих сетях. Предоставление возможности синхронизации пакетному коммутатору в общем случае необходимо только для того, чтобы обеспечить соблюдение любых требований синхронизации интерфейсов физического уровня, предъявляемых к коммутатору, в соответствии со связанными требованиями интерфейса TDM, заданными конкретными сетевыми стандартами, такими как SDH/PDH.

Требования услуг, транспортируемых на уровнях выше уровня 2, к хронированию (например, IPTV, MPEG-4) определены таким образом, чтобы быть приспособленными к колебаниям существующих пакетных сетей. Любое хронирование, специфическое для данной услуги, кодируется на уровне услуг (например, H.264, MPEG-4).

В то же время существуют случаи, когда физический уровень пакетной сети является синхронным (например, SDH) и может быть использован уровнем адаптации.

В большинстве случаев информация, транспортируемая по пакетной сети, то есть характеристическая информация, не включает информацию о хронировании. Здесь существует определенное ветвление, когда услугам требуется передача точного хронирования. Для сквозных услуг требуется, чтобы характеристики хронирования уровня сервера поддерживали требования клиента к синхронизации. В рамках традиционных механизмов уровня 1 (PDH, SDH и ОТС) механизмы адаптации (преобразования) сетевого хронирования специально разработаны, с тем чтобы быть совместимыми с требованиями сигнала клиента к хронированию. В случае если уровень сервера не имеет возможности поддержки хронирования клиента, могут потребоваться альтернативные способы предоставления хронирования клиента. Это следует осуществлять на уровне адаптации сети. Примером является AAL1 АРП.

Искажения в пакетной сети могут оказывать отрицательное воздействие на восстановление услуг для тактового сигнала с использованием адаптивных методов. В данном пункте исследуется уровень таких искажений, которые следует выдерживать процессу восстановления тактового сигнала, поддерживая тактовый сигнал в соответствии со связанными спецификациями.

Следующие параметры производительности, связанные с искажениями в пакетной сети, определены в Рекомендациях [ITU-T Y.1540] (для сетей IP) и [ITU-T Y.1561] (для сетей MPLS). Аналогичные показатели производительности для сетей Ethernet также определены в [ITU-T Y.1731]:

- 1) задержка передачи пакетов и колебания задержки;
- 2) частота возникновения ошибок в пакетах;
- 3) частота потери пакетов;
- 4) случаи потери значительного блока пакетов.

10.1 Задержка передачи пакетов и колебания задержки

10.1.1 Дифференциальные методы

Задержка передачи пакетов и колебания задержки не должны влиять на производительность восстановления тактового сигнала, когда сетевой опорный тактовый сигнал доступен на обоих концах и используются дифференциальные методы.

10.1.2 Адаптивные методы

Адаптивное восстановление рабочего тактового сигнала из потока пакетов, содержащего данные с постоянной битовой скоростью или с метками времени, в целом достигается при помощи выполнения некоторой вычислительной функции, параметрами для которой являются скорость прибытия пакетов или время прибытия пакетов на узел назначения.

Если задержка в пакетной сети является постоянной, частота прибытия пакетов на узел назначения не подвергается влиянию сети. В восстановленном тактовом сигнале может присутствовать фазовый лаг из-за задержки в сети, но не должно присутствовать частотного или фазового дрейфа.

Если задержка варьируется, то в процессе восстановления тактового сигнала это можно заметить по изменению фазы или частоты исходного рабочего тактового сигнала. В связи с этим в процессе разработки процесса восстановления тактового сигнала следует уделить особое внимание причинам колебания задержки.

Существует несколько причин колебания задержки в пакетной сети:

- случайные колебания задержки (например, задержка постановки в очередь);
- низкочастотные колебания задержки (например, шаблоны день/ночь);
- систематические колебания задержки (например, механизмы хранения и перенаправления в базовом транспортном уровне);
- изменения в маршрутизации;
- эффекты скопления.

10.1.2.1 Случайные колебания задержки

Случайные колебания задержки возникают в результате работы коммутаторов или маршрутизаторов в пакетной сети. Основным источником такой задержки является задержка постановки исходящего трафика в очередь, возникающая в случае, если пакет прибывает на коммутатор или маршрутизатор в момент, когда выходной порт заблокирован другим трафиком и пакет вынужден ждать в очереди. Задержка пакета может возникнуть также и в результате воздействия других факторов, связанных с внутренним функционированием коммутатора или маршрутизатора, как описано в Дополнении I.

Невозможно с какой бы то ни было степенью вероятности прогнозировать, какой будет задержка пакета при прохождении через коммутатор или маршрутизатор, хотя вполне вероятно, что задержка будет возрастать с увеличением загрузки устройства. В связи с этим существует некоторая корреляция задержки между последовательно идущими пакетами и загрузкой сети трафиком.

10.1.2.2 Низкочастотные колебания задержки

Как описано выше, задержка в пакетной сети, хотя и является непредсказуемой, в целом зависит от загрузки сети в рассматриваемый период времени. Загрузка является динамической величиной и может содержать компоненты с крайне низкой частотой. Например, если загрузка сети выше днем, чем ночью, это дает компонент колебания загрузки с 24-часовым периодом.

Такие колебания с крайне низкой частотой могут привести к возникновению фазового дрейфа в тактовом сигнале, восстановленном из потока пакетов с тем же периодом. Поскольку многие соответствующие спецификации тактового сигнала ограничивают допустимый фазовый дрейф в периодах по 24 часа или более (например, [ITU-T G.824]), в ходе разработки процесса восстановления тактового сигнала должна быть предусмотрена его компенсация.

10.1.2.3 Систематические колебания задержки

Определенные типы основных транспортных сетей могут вызывать систематические колебания задержки пакетов с течением времени. Например, некоторые типы транспортов используют окно передачи или временной слот, храня пакеты до того момента, как окно открывается. Примерами здесь являются пассивные оптические сети (PON), цифровая абонентская линия типа x (xDSL) и всемирная функциональная совместимость для микроволнового доступа (WiMAX).

В результате использования окна передачи на поток пакетов накладывается систематический пилообразный профиль задержки (см. рисунок 19). В пакетных сетях с обычной скоростью, например в сетях, содержащих данные с постоянной битовой скоростью, период окна передачи может столкнуться со скоростью передачи пакетов, вызвав медленные колебания задержки с течением времени. Эти эффекты очень похожи на дрожание времени ожидания в сетях TDM. В сетях TDM возможно контролировать дрожание времени ожидания, однако в пакетных сетях это не так.

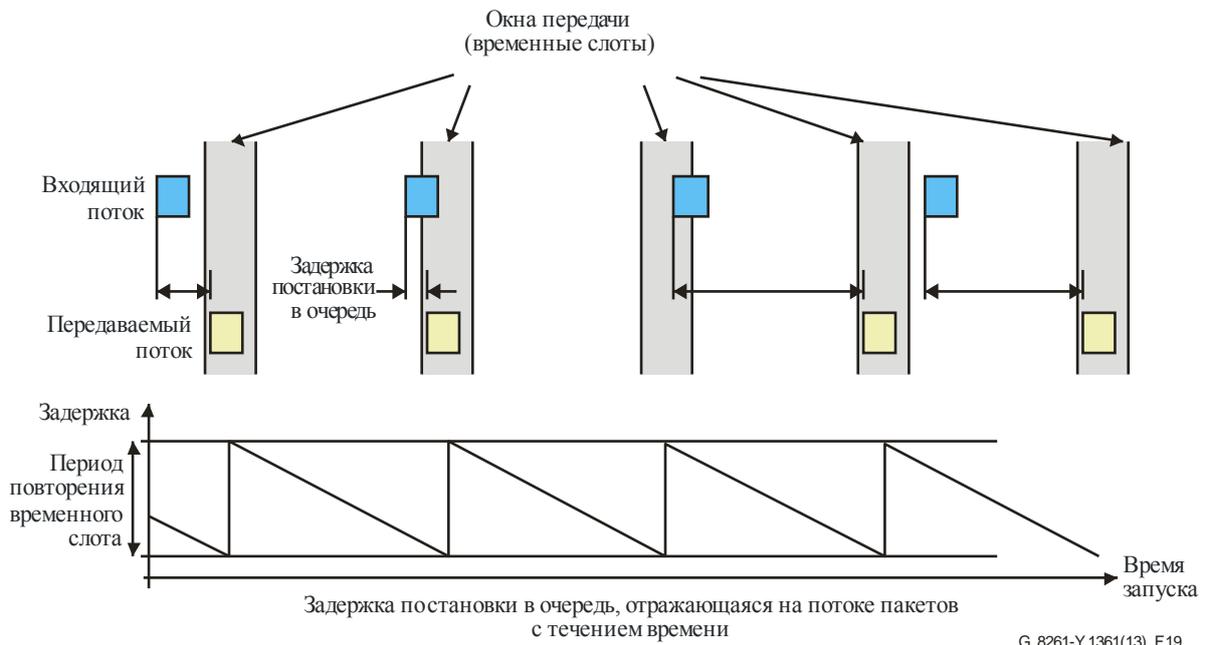


Рисунок 19 – Систематические колебания задержки, обусловленные сетью с временными слотами

Еще один тип систематических колебаний задержки, на который могут влиять обычные потоки пакетов, – это столкновения с другими обычными потоками пакетов. На рисунке 20 показано, что происходит, когда два потока пакетов с практически одинаковой частотой объединяются коммутатором или маршрутизатором для передачи по одному каналу передачи пакетов.

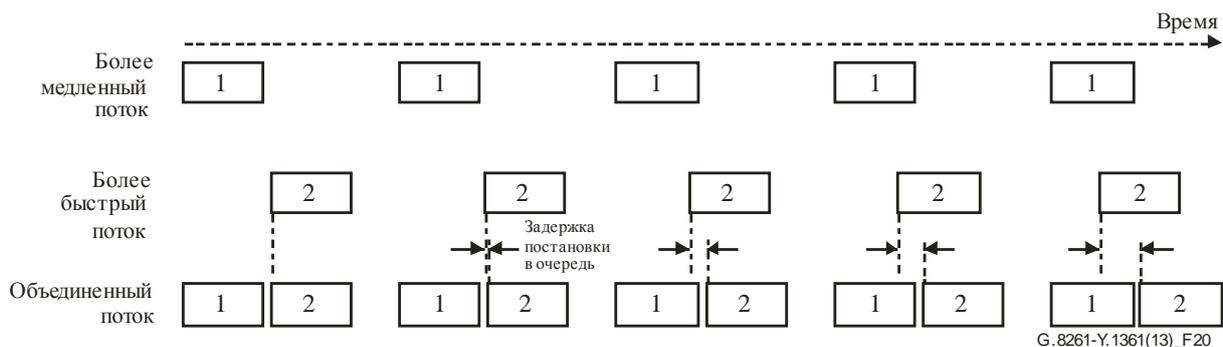


Рисунок 20 – Столкновение между двумя потоками пакетов с обычной битовой скоростью

Поток 1 является более медленным, и в течение некоторого времени пакеты потока 1 прибывают на коммутатор или маршрутизатор раньше соответствующих пакетов потока 2. Вместе с тем пакеты из потока 2 начинают их догонять. Поскольку по каналу передачи пакетов одновременно может передаваться только один пакет, пакеты потока 2 начинают испытывать воздействие задержки постановки в очередь (см. рисунок 21). Эта задержка постепенно накапливается до точки, где она равна времени передачи пакета по каналу связи.

Со временем пакеты потока 2 начинают прибывать на коммутатор или маршрутизатор раньше соответствующих пакетов потока 1, и задержка постановки в очередь устраняется. С этого момента задержка постановки в очередь оказывает воздействие на поток 1. Она постепенно уменьшается, пока пакеты потока 1 не начинают прибывать на коммутатор после того, как уже закончена передача пакета потока 2.

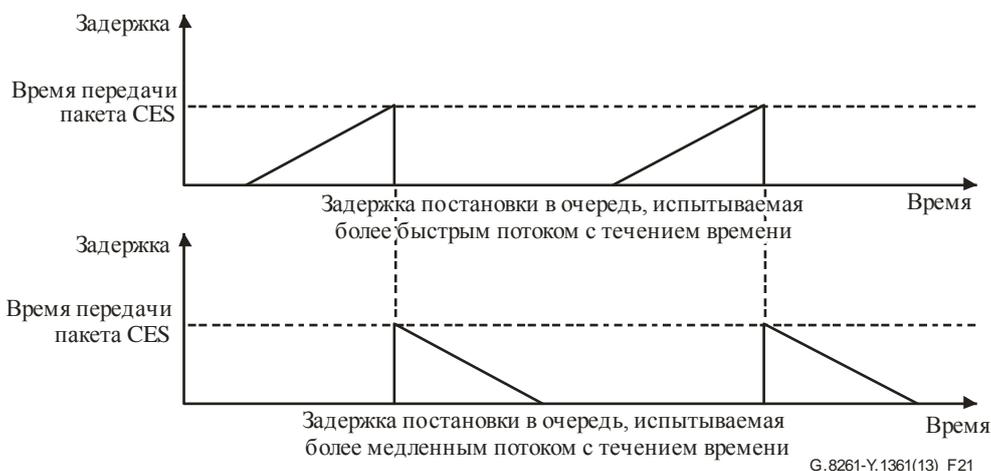


Рисунок 21 – Профиль задержки, испытываемой сталкивающимися потоками пакетов

Длительность периода времени, в течение которого потоки пакетов испытывают воздействие задержки постановки в очередь (то есть ширина треугольников на рисунке 21), обратно пропорциональна разности скорости между двумя потоками пакетов. Если скорости очень близки, длительность может быть чрезвычайно большой. Такие долгосрочные колебания задержки могут вызвать медленный фазовый дрейф в любом тактовом сигнале, восстановленном из одного из потоков пакетов.

Когда несколько асинхронных потоков с обычной скоростью совместно используют один канал передачи пакетов, результат может быть аддитивным. В худшем случае пакеты из всех потоков могут выстроиться так, что дадут максимальную задержку, хотя с уменьшением числа потоков частота таких общих столкновений снижается.

10.1.2.4 Изменения в маршрутизации

Маршрут, по которому следует поток пакетов в пакетной сети, может изменяться в определенные моменты времени. Это может происходить вследствие ошибок в сети (например, маршрутизация в обход поврежденного или переполненного канала связи), защитного переключения на другой маршрут или переконфигурирования сети.

Чистым эффектом таких действий является ступенчатое изменение в задержке по сети. Если эти изменения не компенсируются, они могут проявляться в форме изменения фазы в восстановленном тактовом сигнале. Такие изменения должны обнаруживаться и приниматься во внимание в процессе восстановления тактового сигнала. В общем случае значительные изменения задержки относительно легко обнаруживаются и компенсируются, однако незначительные изменения могут быть скрыты общими колебаниями задержки или локальным дрейфом генератора на узле, восстанавливающем тактовый сигнал.

10.1.2.5 Эффекты скопления

Скопление – это временное увеличение нагрузки трафика во всей сети или ее части. Это может привести к перегрузке всей сети или ее части, что повлечет за собой выпадение или задержку значительного числа пакетов. Продолжительность скопления является переменной, и может составлять несколько секунд или минут. Если сеть испытывает частые значительные заторы, продолжающиеся более 5 минут, это указывает на то, что данная сеть, вероятно, не подходит для работы в режиме эмуляции каналов.

10.1.2.6 Механизмы блокировки в пакетных сетях, связанные с топологией

На задержку потока пакетов может влиять топология сети и, в частности, взаимодействие с другими потоками в сети. Это связано с тем, что пакеты разного размера распространяются по сети с разной скоростью. Длинным пакетам для прохождения сети требуется больше времени, потому что они должны быть полностью считаны в сетевой элемент, прежде чем будут обработаны и переданы на следующий транзитный участок. Пакеты CES и хронирования, как правило, короткие и перемещаются по сети быстро.

В сети с топологией с общими маршрутами (например, как показано на рисунке 22) это может приводить к дополнительным задержкам даже при достаточно низкой интенсивности трафика.

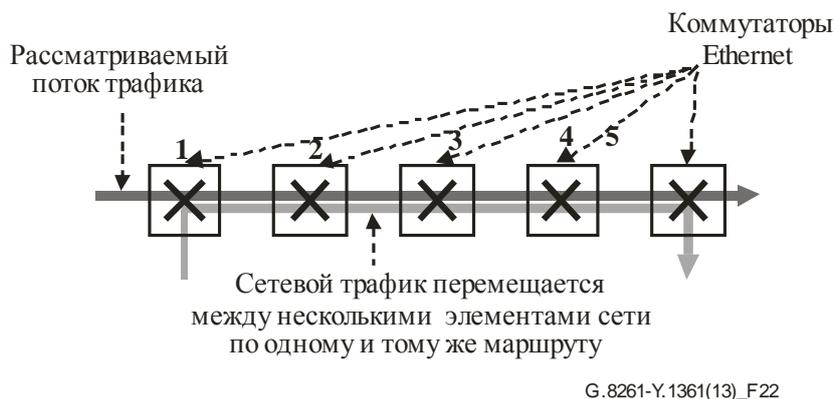


Рисунок 22 – Топология с общим маршрутом

Там где поток крупных пакетов совместно использует один и тот же путь из двух или более последовательных участков, он может начать препятствовать передаче коротких пакетов. Короткие пакеты догоняют длинные пакеты, так как распространяются по сети быстрее. Рисунок 23 иллюстрирует этот эффект.

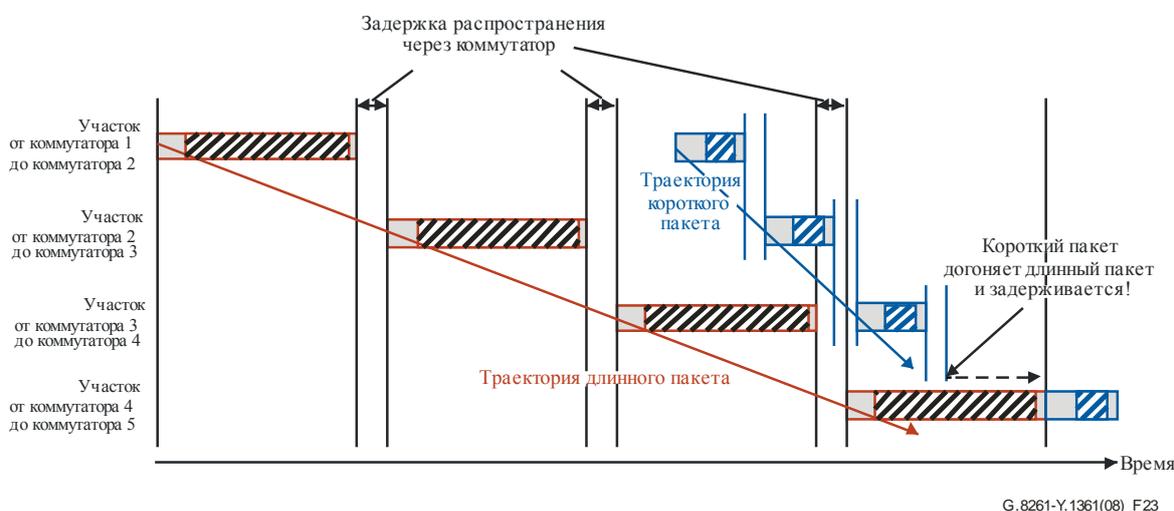


Рисунок 23 – Блокировка длинных пакетов вдоль общего маршрута

В результате если интенсивность трафика длинных пакетов достаточно высока, то короткие пакеты скорее всего будут задержаны в какой-то точке своего движения через сеть (следует отметить, что изменения происходят в зависимости от относительной величины коротких и длинных пакетов). Это приводит к тому, что минимально возможная задержка распространения пакетов через сеть увеличивается пропорционально этой интенсивности.

10.2 Воздействия искажения пакетов

10.2.1 Ошибки в пакетах и потеря пакетов

Искажения в пакетных сетях оказывают влияние на три отдельных элемента пути доставки: процесс восстановления тактового сигнала IWF (следует отметить, что это может быть невозможно отследить), восстановление рабочего тактового сигнала и саму услугу TDM. Ограничения потери пакетов и нарушения очередности пакетов и их влияние на услугу и процессы восстановления тактового сигнала подлежат дальнейшему изучению.

Связанные вопросы дополнительно обсуждаются в последующих подразделах.

Потеря пакетов и нарушение очередности пакетов не оказывают значительного воздействия на производительность восстановления тактового сигнала IWF ни для одного из методов, представленных в настоящей Рекомендации. В частности на уровнях, на которых используется услуга транспорта TDM, потеря пакетов (как однородная, так и спорадическая) и нарушение очередности пакетов оказывают пренебрежимо малое воздействие на показатели восстановления тактового сигнала IWF.

10.2.1.1 Влияние на услугу TDM

Каналы TDM, переносимые по пакетным сетям, могут быть чрезвычайно уязвимыми для ошибок в битах, возникающих вследствие потери пакетов. Одной из причин этого является то, что ошибки в битах усиливаются транспортом пакетов – единичная ошибка в бите в пакете ведет к тому, что весь пакет отклоняется, давая целый ряд последовательных ошибок в битах в восстановленном потоке TDM. Следовательно, даже умеренный уровень потери пакетов (с точки зрения традиционной пакетной сети) может послужить причиной отказа канала TDM.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Уязвимость каналов TDM будет в основном зависеть от конкретных характеристик IWF. Некоторые IWF могут использовать различные методы сокрытия потерь пакетов, для того чтобы защитить приложение от потери пакетов.

10.2.1.2 Влияние на процесс восстановления тактового сигнала IWF

Процесс восстановления тактового сигнала IWF включает алгоритм восстановления тактового сигнала из пакета, встроенный тактовый сигнал и используемый метод восстановления хронирования (то есть адаптивный или дифференциальный). Производительность процесса восстановления тактового сигнала IWF представляет собой комбинацию нагрузки пакетной сети, алгоритма, используемого для преодоления нагрузки сети, тактового сигнала, встроенного в IWF, и используемого метода восстановления хронирования.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Для всех возможных сценариев должны быть определены ограничения потери пакетов и нарушения очередности пакетов для защиты восстановления тактового сигнала IWF и восстановления тактового сигнала услуг; эти ограничения подлежат дополнительному изучению.

10.2.1.3 Влияние на восстановление рабочего тактового сигнала

Требуется, чтобы процесс восстановления рабочего тактового сигнала выдерживал значительно более высокий уровень потери пакетов, чем сам канал TDM, чтобы рабочий тактовый сигнал оставался в рамках спецификации за точкой, где данные объявляются недействительными. Восстановление тактового сигнала IWF прямо влияет на производительность восстановления рабочего тактового сигнала.

10.2.2 Случай потери значительного блока пакетов

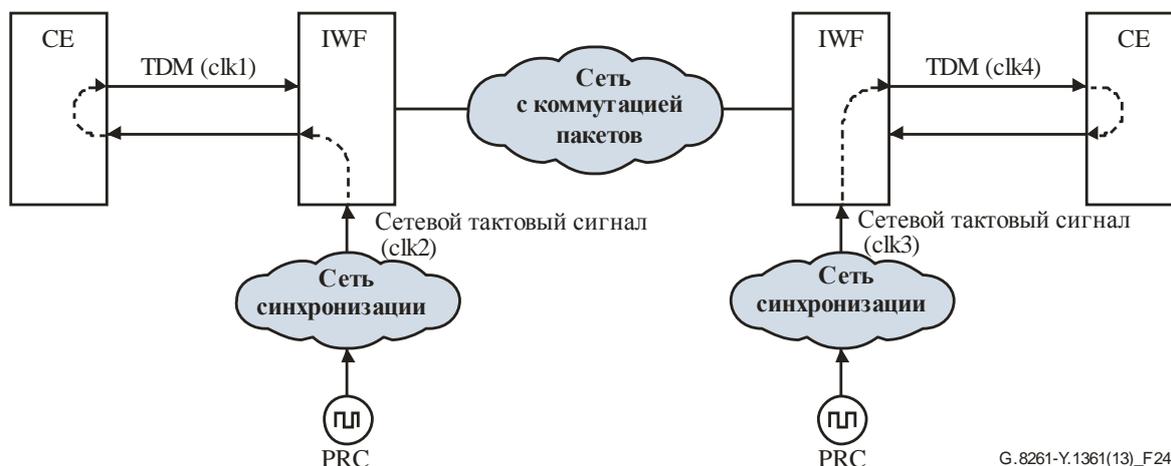
В Рекомендациях [ITU-T Y.1540] и [ITU-T Y.1561] случай потери значительного блока определен как имеющий место в случае, когда для блока пакетов, наблюдаемого на входном интерфейсе в течение временного интервала T , отношение потерянных пакетов к общему числу пакетов превышает пороговое значение. Аналогичные эффекты предполагаются в сетях Ethernet.

В случае таких искажений механизм восстановления хронирования должен контролировать общую потерю пакетов, как обсуждалось в пункте 10.2.1. Этот вопрос подлежит дополнительному изучению.

11 Влияние искажения первичного эталонного генератора на восстановление рабочего тактового сигнала

11.1 Искажения для методов синхронной работы сети

Тактовые сигналы, задействованные в транспортировке сигналов TDM по пакетной сети, показаны на рисунке 24.



G.8261-Y.1361(13)_F24

Два PRC могут также исходить из одного источника

Рисунок 24 – Тактовые сигналы, задействованные при транспортировке сигналов TDM по пакетной сети для синхронной работы сети

Имеются следующие тактовые сигналы:

- тактовый сигнал, генерирующий сигнал TDM (clk1 на рисунке);
- опорный сетевой тактовый сигнал, используемый для депакетизации слева в IWF (clk2 на рисунке);
- опорный сетевой тактовый сигнал, используемый для депакетизации справа в IWF (clk3 на рисунке);
- тактовый сигнал, генерирующий сигнал TDM после пакетной сети (clk4 на рисунке).

Сигнал clk1 должен быть доступным для контроля посредством PRC; он может быть получен либо с использованием кольцевого хронирования, как показано на рисунке 24, либо другим способом. Если это не сделано, использование сетевого первичного эталонного генератора в депакетизаторе (то есть clk3 на рисунке) создаст серьезные проблемы.

Для того чтобы в выходном сигнале TDM содержалось корректное хронирование, тактовые сигналы, генерирующие (то есть clk1) и восстанавливающие хронирование (то есть clk4) сигнала TDM, должны иметь одну и ту же долгосрочную частоту (или в пределах ограничений PRC); в противном случае может быть сгенерирована неприемлемая скорость проскальзываний (краткосрочный шум должен удерживаться в пределах применяемых ограничений).

В нормальных условиях работы сетевой опорный тактовый сигнал на источнике TDM (clk1) и сетевой опорный тактовый сигнал на депакетизаторе привязаны к опорному сигналу хронирования, доступному для контроля посредством PRC. Вместе с тем если имеют место условия возникновения сбоя с сети синхронизации, эти тактовые сигналы могут быть привязаны к опорному сигналу хронирования, доступному для контроля посредством тактового сигнала, работающего в режиме отсрочки. В случае если имеют место условия возникновения сбоя, эти тактовые сигналы должны предоставлять соответствующую отсрочку на основе целей выполнения проскальзываний [ITU-T G.822].

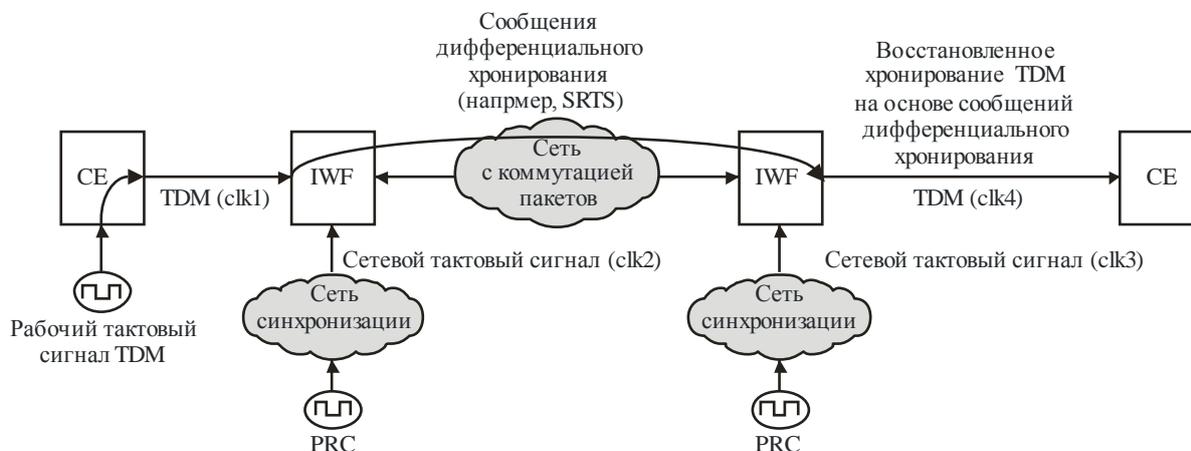
Тактовый сигнал, предоставляющий эту функцию отсрочки в условиях возникновения сбоя в сети синхронизации, может быть или интегрирован в само оборудование, или быть доступен на узле (например, интегрирован в элемент сети передачи или в автономное оборудование синхронизации (SASE)). За выбор наиболее приемлемого решения отвечает планировщик сети.

Подводя итоги следует сказать, что синхронный режим работы сети требует либо введения точных тактовых сигналов в приемник IWF, либо системы, позволяющей переключиться на другой подходящий тактовый сигнал в случае потери синхронизации от тактового сигнала сети (PRC).

Для обнаружения периодов потери синхронизации необходимо какое-либо наблюдение за доступностью (например, SSM).

11.2 Искажения для дифференциального метода

Тактовые сигналы, задействованные в транспортировке сигналов TDM по пакетной сети, показаны на рисунке 25.



Два PRC могут исходить из одного и того же источника

G.8261-Y.1361(08)_F25

Рисунок 25 – Тактовые сигналы, задействованные при транспортировке сигналов TDM по пакетной сети для дифференциального метода

Имеются:

- тактовый сигнал, генерирующий сигнал TDM, PDH или SDH (clk1 на рисунке); этот тактовый сигнал может быть плезиохронным, хотя считается, что большинство сигналов сейчас являются синхронными;
- сетевой тактовый сигнал, используемый для генерации сообщений дифференциального хронирования (clk2 на рисунке);
- сетевой тактовый сигнал (clk3 на рисунке), используемый для повторной генерации тактового сигнала TDM (clk4 на рисунке) на основе сообщений дифференциального хронирования.

Любой фазовый шум этих тактовых сигналов вызывает фазовый шум в хронировании выходного сигнала TDM.

Для того чтобы в выходном сигнале TDM содержалось корректное хронирование, тактовые сигналы, генерирующие (то есть clk1) и восстанавливающие хронирование (то есть clk4) сигнала TDM, должны иметь одну и ту же долгосрочную частоту (или в пределах ограничений PRC); в противном случае может быть сгенерирована неприемлемая скорость проскальзываний (краткосрочный шум должен удерживаться в пределах применяемых ограничений).

В нормальных условиях работы сетевые тактовые сигналы, генерирующие сообщения дифференциального хронирования и повторно генерирующие тактовый сигнал TDM (clk2 и clk3 на рисунке), привязаны к опорному сигналу хронирования, доступному для контроля посредством PRC. Вместе с тем если имеют место условия возникновения сбоя в сети синхронизации, эти тактовые сигналы могут быть привязаны к опорному сигналу хронирования, доступному для контроля посредством тактового сигнала, работающего в режиме отсрочки. В случае если имеют место условия возникновения сбоя, эти тактовые сигналы должны предоставлять соответствующую отсрочку на основе целей выполнения проскальзываний [ITU-T G.822].

Тактовый сигнал, предоставляющий эту функцию отсрочки в условиях возникновения сбоя в сети синхронизации, может быть или интегрирован в само оборудование, или быть доступен на узле (например, интегрирован в элемент сети передачи или SASE). За выбор наиболее приемлемого решения отвечает планировщик сети.

Для обнаружения периодов потери синхронизации необходимо какое-либо наблюдение за доступностью (например, SSM).

12 Результаты и последствия использования различных методов синхронизации в эталонных сетевых моделях

Рекомендации, касающиеся методики распространения опорной синхронизации (домен PNT) и восстановления хронирования услуг TDM (домен CES), различаются в зависимости от используемых сетевых сценариев и требований к синхронизации, касающихся конкретных приложений.

12.1 Рекомендации для домена CES

В рамках настоящей Рекомендации обозначены следующие сценарии (относительно сетевых моделей, приведенных в пункте 9.1).

12.1.1 Рекомендации по восстановлению хронирования услуги TDM (случай развертывания 1)

Сетевые ограничения для сигналов PDH в этом случае определены в пункте 9.1 для случая развертывания 1.

Восстановление хронирования сигналов PDH, передаваемых по пакетной сети, может быть выполнено посредством:

- синхронной работы сети, когда сигнал, доступный для контроля посредством PRC, доступен на IWF и не требуется сохранять рабочий тактовый сигнал;
- дифференциальных методов, когда на IWF доступен опорный сигнал, доступный для контроля посредством PRC. С помощью данного метода возможно сохранение рабочего тактового сигнала;
- адаптивных методов, когда возможно контролировать колебания задержки в сети. С помощью данного метода возможно сохранение рабочего тактового сигнала.

ПРИМЕЧАНИЕ. – В этих сценариях сетевые ограничения являются достаточно строгими. Однако предполагается, что когда сеть может быть смоделирована в соответствии с моделью А (по меньшей мере сценарий 2 и сценарий 3, см. Дополнение V), адаптивные методы должны допускать соблюдение сетевых ограничений, определенных в пункте 9.1.

Возможность использования адаптивного метода в сети, которая может быть смоделирована в соответствии с моделью В (см. Дополнение V), подлежит дополнительному изучению.

Транспортировка сигналов SDH в данном сценарии подлежит дополнительному изучению. Следует отметить, что восстановление тактовых сигналов для сигналов SDH должно обеспечивать уровень качества, определенный для интерфейсов синхронизации в [ITU-T G.823] для сетей на основе иерархии 2048 кбит/с и в [ITU-T G.824] для сетей на основе иерархии 1544 кбит/с. Использование этих методов для поддержки синхронной работы сети, как описано в пункте 7.1, может гарантировать выполнение указанных требований.

12.1.2 Рекомендации по восстановлению хронирования услуги TDM (случай развертывания 3)

Сетевые ограничения для сигналов PDH в этом случае определены в пункте 9.1 для случая развертывания 3.

Восстановление хронирования сигналов PDH, передаваемых по пакетной сети, может быть выполнено посредством:

- синхронной работы сети, когда сигнал, доступный для контроля посредством PRC, доступен на IWF и не требуется сохранять рабочий тактовый сигнал;
- дифференциальных методов, когда на IWF доступен опорный сигнал, доступный для контроля посредством PRC. С помощью данного метода возможно сохранение рабочего тактового сигнала;
- адаптивных методов, когда возможно контролировать колебания задержки в сети. С помощью данного метода возможно сохранение рабочего тактового сигнала.

ПРИМЕЧАНИЕ. – В этих сценариях сетевые ограничения являются менее строгими, чем для сценариев в пункте 12.1.1. Предполагается, что когда сеть может быть смоделирована в соответствии с моделью А, адаптивные методы должны допускать соблюдение сетевых ограничений, определенных в пункте 9.1.

Возможность использования адаптивного метода в сети, которая может быть смоделирована в соответствии с моделью В, подлежит дополнительному изучению.

Транспорт сигналов SDH в данном сценарии подлежит дополнительному изучению. Следует отметить, что восстановление тактовых сигналов для сигналов SDH должно обеспечивать уровень качества, определенный для интерфейсов синхронизации в [ITU-T G.823] для сетей на основе иерархии 2048 кбит/с и в [ITU-T G.824] для сетей на основе иерархии 1544 кбит/с. Использование этих методов для поддержки синхронной работы сети, как описано в пункте 7.1, может гарантировать выполнение указанных требований.

12.1.3 Рекомендации по восстановлению хронирования услуги TDM (случай развертывания 2 Приложения А)

Сетевые ограничения для сигналов PDH в этом случае определены в пункте 9.1 для случая развертывания 2 Приложения А.

Восстановление хронирования сигналов PDH, передаваемых по пакетной сети, может быть выполнено посредством:

- синхронной работы сети, когда сигнал, доступный для контроля посредством PRC, доступен на IWF и не требуется сохранять рабочий тактовый сигнал;
- дифференциальных методов, когда на IWF доступен опорный сигнал, доступный для контроля посредством PRC. С помощью данного метода возможно сохранение рабочего тактового сигнала;
- адаптивных методов, когда возможно контролировать колебания задержки в сети. С помощью данного метода возможно сохранение рабочего тактового сигнала.

ПРИМЕЧАНИЕ. – В этих сценариях сетевые ограничения являются менее строгими, чем для сценариев в пункте 12.1.1. Предполагается, что когда сеть может быть смоделирована в соответствии с моделью А, адаптивные методы должны допускать соблюдение сетевых ограничений, определенных в пункте 9.1.

Возможность использования адаптивного метода в сети, которая может быть смоделирована в соответствии с моделью В, подлежит дополнительному изучению.

Транспорт сигналов SDH в данном сценарии подлежит дополнительному изучению. Следует отметить, что восстановление тактовых сигналов для сигналов SDH должно обеспечивать уровень качества, определенный для интерфейсов синхронизации в [ITU-T G.823] для сетей на основе иерархии 2048 кбит/с и в [ITU-T G.824] для сетей на основе иерархии 1544 кбит/с. Использование этих методов для поддержки синхронной работы сети, как описано в пункте 7.1, может гарантировать выполнение указанных требований.

12.1.4 Рекомендации по восстановлению хронирования услуги TDM (случай развертывания 2 Приложения В)

Сетевые ограничения для сигналов PDH в этом случае определены в пункте 9.1 для случая развертывания 2 Приложения В.

Восстановление хронирования сигналов PDH, передаваемых по пакетной сети, может быть выполнено посредством:

- синхронной работы сети, когда сигнал, доступный для контроля посредством PRC, доступен на IWF и не требуется сохранять рабочий тактовый сигнал;
- дифференциальных методов, когда на IWF доступен опорный сигнал, доступный для контроля посредством PRC. С помощью данного метода возможно сохранение рабочего тактового сигнала;
- адаптивных методов, когда возможно контролировать колебания задержки в сети. С помощью данного метода возможно сохранение рабочего тактового сигнала.

ПРИМЕЧАНИЕ. – В этих сценариях сетевые ограничения зависят от характеристик оконечного оборудования, которое в нормальных условиях способно выдерживать ограничения интерфейса трафика [ITU-T G.823] и [ITU-T G.824]. Предполагается, что когда сеть может быть смоделирована в соответствии с моделью А, адаптивные методы должны допускать соблюдение положений [ITU-T G.823] или [ITU-T G.824] в зависимости от того, какая из них применима.

Возможность использования адаптивного метода в сети, которая может быть смоделирована в соответствии с моделью В, подлежит дополнительному изучению.

Транспорт сигналов SDH в данном сценарии подлежит дополнительному изучению. Следует отметить, что восстановление тактовых сигналов для сигналов SDH должно обеспечивать уровень качества, определенный для интерфейсов синхронизации в [ITU-T G.823] для сетей на основе иерархии 2048 кбит/с и в [ITU-T G.824] для сетей на основе иерархии 1544 кбит/с. Использование этих методов для поддержки синхронной работы сети, как описано в пункте 7.1, может гарантировать выполнение указанных требований.

12.2 Рекомендация для домена PNT

В рамках настоящей Рекомендации обозначены следующие сценарии (относительно сетевых моделей, приведенных в пункте 9.2).

12.2.1 Рекомендации по распространению опорного сигнала хронирования по синхронной сети Ethernet

Сетевые ограничения для опорных сигналов хронирования в этом случае определены в пункте 9.2.

Развертывание сетей синхронизации поверх физического уровня с использованием методов уровня 1, таких как синхронный Ethernet, описанный в пункте 7.1.1, обеспечивает способ транспорта сигналов синхронизации, который не подвержен какой-либо пакетной нагрузке (то есть не зависит от колебания задержки пакетов).

Сетевые ограничения, определенные в пункте 9.2, выполняются при условии, что сеть синхронизации конструктивно реализована по тем же правилам проектирования, которые уже определены для сетей синхронизации на основе SDH, то есть в соответствии с эталонной цепью сети синхронизации [ITU-T G.803], см. рисунки 8-1 и 8-2 [ITU-T G.803], где SEC следует заменить на EEC [ITU-T G.8262]. В частности на основе этой модели самая длинная эталонная цепь сети синхронизации не должна превышать 10 модулей источников синхронизации (SSU) и 60 EEC (вариант 1), а число EEC между любыми двумя SSU не должно превышать 20.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Значения параметров тактовых генераторов варианта 2 подлежат дальнейшему изучению.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Для использования такого метода требуется, чтобы все элементы сети в цепи синхронизации между первичным опорным тактовым генератором и сетевым элементом, подлежащим синхронизации (например, базовой станцией), поддерживали синхронный Ethernet.

Следует отметить, что доставка сигнала синхронизации на уровень 1 возможна в пределах одного домена оператора сети. Взаимодействие между разными доменами оператора сети подлежит дальнейшему исследованию.

12.2.2 Рекомендации по распространению опорного сигнала хронирования посредством пакетов

Общая архитектура распространения частоты с использованием пакетных методов описана в [ITU-T G.8265].

Пакетные методы основаны на адаптивных методах восстановления синхронизации, и следовательно, колебания задержки пакетов в сети, как правило, влияют на их характеристики (см. раздел 10).

Ввиду этого при использовании таких методов предпочтительно осуществлять синхронизацию по должным образом спроектированной сети, в которой поток хронирования переносится в канале, минимизирующем нарушения в пакетной сети. Частью этого процесса может быть присвоение такому потоку наивысшего приоритета.

Следует отметить, что совместный характер передачи подразумевает, что все потоки в той или иной степени взаимодействуют друг с другом независимо от приоритета по отношению к хронированию.

Вопрос о том, что конкретно представляет собой должным образом спроектированная сеть для транспорта сигнала хронирования, в настоящее время изучается. В частности, в рамках этого изучения рассматривается ряд параметров. Они должны быть основаны на комплексе значений задержки пакетов и колебания задержки пакетов.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Термины "задержка пакетов" и "колебания задержки пакетов" (PDV), используемые в настоящей Рекомендации, основаны на определениях, данных в [ITU-T G.8260].

Одним из ключевых факторов, влияющих на достижимые показатели, являются характеристики генератора, реализованного в оконечном оборудовании. Поэтому характеристики генератора должны зависеть от требований, которым должен отвечать восстановленный сигнал хронирования, и от уровня шума (колебания задержки пакетов), генерируемого в сети.

Спецификация тактовых генераторов, которая должна быть реализована в функции восстановления тактового сигнала на основе пакетных методов, не входит в сферу охвата настоящей Рекомендации.

Фактический формат пакетов не оказывает существенного влияния на характеристики пакетных методов. Однако необходимо использовать пакеты подходящей длины и надлежащие основные параметры формата данных меток времени (два примера формата меток времени – RTP и NTP).

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Методы с поддержкой со стороны узлов пакетной сети для уменьшения влияния колебания задержки пакетов (например, средства измерения колебания задержки пакетов, добавляемой каждым участком пакетной сети) находятся на стадии изучения (например, в рамках исследований профиля электросвязи [b-IEEE 1588]). В число изучаемых аспектов входят архитектурные аспекты, масштабируемость, требования к тактовым генераторам и т. д.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Этот вид подхода предполагает реализацию некоторой аппаратной поддержки в сетевом оборудовании, задействованном в пути синхронизации.

12.2.2.1 Рекомендации для случая развертывания 1

Сетевые ограничения для опорных сигналов хронирования в этом случае определены в пункте 9.2.2 для случая развертывания 1.

Требования для данного случая выражены применительно к очень низкому уровню шума (дрожанию и фазовому дрейфу), который может генерироваться в сети.

В данном случае пакетные методы пригодны только при низких уровнях колебания задержки пакетов, создаваемого в сети для пакетов, выбранных алгоритмом восстановления хронирования.

Характеристики тактовых генераторов, значения параметров и соответствующие ограничения, при которых могут быть выполнены ограничения сети для случая развертывания 1, находятся в стадии изучения.

12.2.2.2 Рекомендации для случая развертывания 2

Сетевые ограничения для опорных сигналов хронирования в этом случае определены в пункте 9.2.2 для случая развертывания 2.

В этом случае уровень шума, который может быть сгенерирован, зависит от устойчивости конечного приложения.

Например, типичный фазовый дрейф, допустимый для конечных приложений, может быть выражен применительно к маскам трафика [ITU-T G.823] и [ITU-T G.824]. В [ITU-T G.8261.1] определены условия, при которых пакетная сеть подходит для поддержки пакетных методов, а в [ITU-T G.8263] – соответствующие характеристики тактовых генераторов.

Дополнительная информация приведена в Дополнении III.

Приложение А

Предлагаемая сетевая архитектура синхронного Ethernet

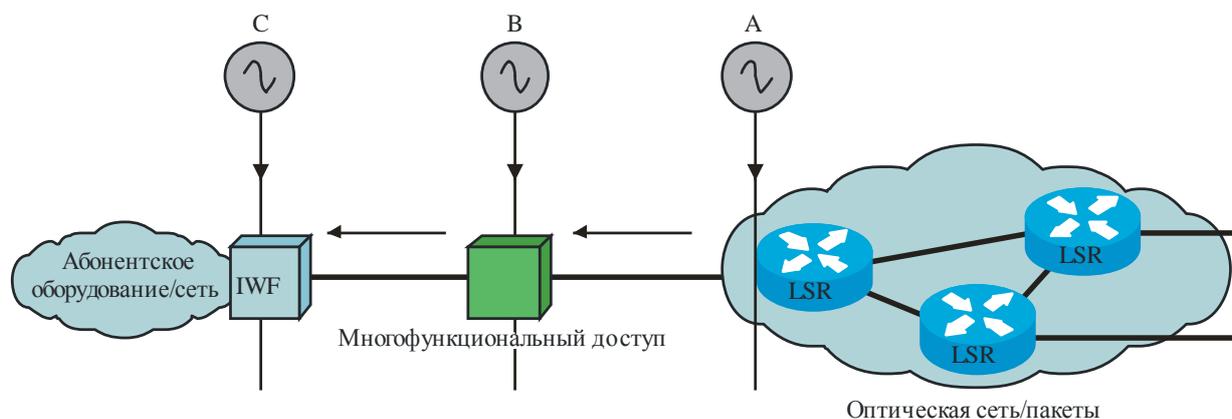
(Данное Приложение является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

А.1 Расположение PRC

В рамках типовой архитектуры синхронного Ethernet PRC может быть расположен в одной из трех позиций в зависимости от общей архитектуры, которой планирует придерживаться оператор сети. Вместе с тем возможны следующие три общих варианта расположения PRC.

См. рисунок А.1:

- случай А – расположение в базовом узле – PRC располагается в базовом узле, см. рисунок А.1 расположение А. Данная архитектура предполагает небольшое количество узлов PRC, то есть центральное расположение с использованием определенной формы распространения первичного эталонного генератора для IWF;
- случай В – расположение в точке доступа к услугам – PRC располагается в некоторой точке, удаленной в обратном направлении относительно направления потока синхронизации внутри сети (географически отделенной от IWF), как правило, в точке доступа к множественным услугам, см. рисунок А.1 расположение В. Данная архитектура предполагает использование большего, по сравнению со случаем А, количества узлов PRC, то есть центральное расположение с использованием определенной формы распространения первичного эталонного генератора для IWF;
- случай С – расположение в IWF – PRC располагается географически совместно с IWF, и существует прямое соединение синхронизации с IWF, см. рисунок А.1 расположение С. Это предполагает использование множества узлов PRC, то есть по одному PRC на каждый IWF.



G.8261-Y.1361(08)_FA.1

Рисунок А.1 – Расположение первичного эталонного генератора

На этом рисунке поток синхронизации обеспечивается от базовой сети к IWF. Он не предназначен для распространения хронирования от клиентского оборудования (CE) в направлении базовой сети.

А.2 Ограничение дрожания и фазового дрейфа в синхронном Ethernet

Для выполнения сетевых ограничений требуется ограничить дрожание и фазовый дрейф, создаваемые в сети на основе синхронного Ethernet в среде глобальной сети.

Функция синхронизации в коммутаторе Ethernet, поддерживающем синхронный Ethernet, должна основываться на качественных показателях встроенного тактового сигнала. Такой тактовый сигнал должен соответствовать [ITU-T G.8262], чтобы гарантировать правильную работу сети, когда этот тактовый сигнал синхронизирован с другим аналогичным тактовым сигналом Ethernet или с тактовым сигналом более высокого качества. Использование такого сетевого тактового сигнала

обеспечивает согласованность взаимодействия в плане синхронизации в тех случаях, когда такое синхронное сетевое решение Ethernet комбинируется с SSU [ITU-T G.812] или SASE и, следовательно, с PRC [ITU-T G.811], как определено в режимах работы синхронизации типа ведущий–ведомый. Это также позволяет наладить взаимодействие между существующими сетями TDM и новыми пакетными сетевыми архитектурами.

Следует также отметить, что эта работа не влияет на существующие определения [IEEE 802.3] относительно допустимого отклонения частоты и т. д., но относится к функциональным возможностям тактового генератора дополнительного сетевого элемента.

А.3 Аспекты проектирования сети синхронизации на основе синхронного Ethernet

Правильная конструкция сети синхронизации является основной предпосылкой гарантии надлежащего качества и надежности распространения опорного сигнала хронирования.

Это относится и к случаю сети синхронизации на основе синхронного Ethernet.

В частности, так как по своей архитектуре сеть синхронизации на основе синхронного Ethernet может оказаться сложнее сети синхронизации на основе SDH (например, из-за ячеистой структуры и в связи с потенциальным применением оборудования, не поддерживающего синхронный Ethernet), планирование мероприятий по синхронизации становится еще важнее.

В частности конструкция должна анализировать все элементы сети, участвующие в тракте синхронизации.

В ней должен быть реализован ЕЕС или (в случае некоторых простых элементов сети, таких как двухпортовые устройства) хотя бы функция сквозного хронирования, подобная той, что реализована в регенераторах SDH.

Функция сквозного хронирования для оборудования синхронного Ethernet подлежит дальнейшему изучению.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Характеристики тактовых генераторов, реализованных в оборудовании, размещенном в конце цепи синхронизации, зависят от конкретного приложения, реализованного в оконечном оборудовании. Характеристики этих тактовых генераторов могут отличаться от некоторых спецификаций ЕЕС. Это подлежит дальнейшему изучению.

Еще один подлежащий рассмотрению важный аспект связан с правильной обработкой SSM в цепи синхронизации.

Передача сообщений статуса синхронизации обеспечивает механизм определения нижележащими ЕЕС возможности проследить схему распространения сигнала синхронизации до PRC или тактового генератора наивысшего уровня из числа доступных. Функция синхронизации обрабатывает SSM.

При отказе в подлежащей сети функция синхронизации принимает соответствующие меры с использованием SSM и предустановленных приоритетов и выбирает альтернативный источник синхронизации. Это может быть другой источник в сети или внешний источник.

Таким образом, основная роль SSM в синхронных сетях Ethernet, как и в сетях SDH, – поддержка конструкции сетей синхронизации для правильной обработки условий отказа.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – SSM может помочь в предотвращении замкнутых петель синхронизации, тем не менее правильное планирование остается обязательным условием их исключения.

SSM в сетях синхронного Ethernet не всегда может обнаружить, исходит ли линия от оборудования (или линии), не поддерживающего синхронный Ethernet (и которое, например, по ошибке может быть включено в тракт синхронизации). Как уже упоминалось, это необходимо предотвратить с помощью мероприятий по правильному проектированию сети синхронизации.

Определение в будущем более сложных функций SSM (например, передачи информации о полном пути синхронизации) может обеспечить значительные преимущества.

При проектировании сети синхронизации необходимо гарантировать, что обработка SSM происходит в каждом элементе сети, способном изменять поток хронирования (например, в результате перехода внутреннего генератора в состояние удержания синхронизации).

Кроме того, следует избегать распространения сигнала хронирования с хорошим качеством, но без поддержки SSM.

Процесс выбора приемного оборудования опорного сигнала хронирования можно настроить на использование или неиспользование входящих SSM.

SSM для синхронного Ethernet подробнее рассматривается в [ITU-T G.8264].

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Кроме SSM в [b-ITU-T G.781] рассматриваются другие нарушения, такие как потеря сигнала, которые можно использовать для дисквалификации опорных сигналов хронирования.

A.4 Пример распространения сигнала хронирования по синхронному Ethernet

На рисунке A.2 приведен пример распространения сигнала хронирования по синхронному Ethernet. Сигнал хронирования распространяется из PRC в IWF по сети с коммутацией пакетов.

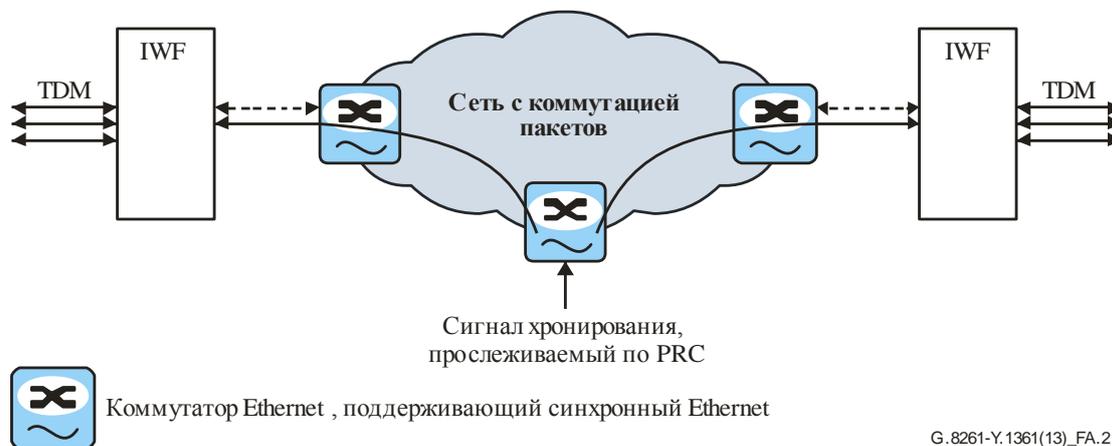


Рисунок A.2 – Пример распространения сигнала хронирования по синхронному Ethernet

A.5 Взаимодействие Ethernet с интерфейсами синхронного Ethernet

A.5.1 Определения типов интерфейса и режимов работы

Согласно [IEEE 802] интерфейсы Ethernet являются асинхронными. С введением синхронного Ethernet следует различать разные типы портов Ethernet и разные режимы работы, связанные с синхронизацией.

Определены следующие режимы (см. [ITU-T G.8264]):

- асинхронный режим работы;
- синхронный режим работы.

Режимом работы по умолчанию для синхронного интерфейса Ethernet является асинхронный режим.

См. таблицу A.1.

Таблица A.1 – Определение типа интерфейса и режимов работы

| Тип интерфейса | Режим работы | Процесс QL | Процесс ESMC |
|---------------------|---|------------------------|---------------|
| Ethernet | Асинхронный режим | Нет | Нет |
| Синхронный Ethernet | Асинхронный режим | Нет | Нет |
| | Синхронный режим (режим с включенным QL) | Активный, все значения | Да |
| | Синхронный режим (режим с выключенным QL) | Неактивный | Факультативно |

В дополнение к синхронному порту Ethernet, который способен как принимать, так и передавать сигнал хронирования, можно предусмотреть порты, которые обеспечивают ограниченную функциональность синхронного Ethernet. Под ограниченной функциональностью синхронного Ethernet понимается способность поддерживать синхронизацию только в одном направлении. Существуют ограниченные синхронные интерфейсы Ethernet двух типов:

- 1) порт синхронного Ethernet, работающий только на передачу, – такой порт выполняет все функции передачи синхронного Ethernet, то есть передает сообщения уровня качества (QL) по каналу передачи сообщений синхронизации Ethernet (ESMC), а также передает физический тактовый сигнал ЕЕС по линии Ethernet;
- 2) порт синхронного Ethernet, работающий только на прием, – такой порт выполняет все функции приема синхронного Ethernet, то есть получает и обрабатывает сообщения QL поверх ESMC и восстанавливает физический тактовый сигнал линии Ethernet, предоставляя его в качестве потенциального сигнала синхронизации.

При планировании сети синхронизации следует тщательно продумать использование узлов синхронного Ethernet с ограниченной функциональностью. Ожидается, что такие узлы будут использоваться в конце цепи синхронизации.

Таблица А.1а – Синхронный Ethernet с ограниченной функциональностью с включенным QL

| Тип интерфейса | Режим работы | Процесс QL | Процесс ESMC |
|---|------------------------------------|---------------------------------------|---|
| Синхронный Ethernet с ограниченной функциональностью (QL включен) | Синхронный режим (только передача) | Активный (только со стороны передачи) | Сторона передачи – да Сторона Rx – факультативно |
| | Синхронный режим (только прием) | Активный (только со стороны приема) | Сторона приема – да Сторона передачи – факультативно |

Таблица А.1б – Синхронный Ethernet с ограниченной функциональностью с выключенным QL

| Тип интерфейса | Режим работы | Процесс QL | Процесс ESMC |
|--|------------------------------------|------------|---------------|
| Синхронный Ethernet с ограниченной функциональностью (QL выключен) | Синхронный режим (только передача) | Неактивный | Факультативно |
| | Синхронный режим (только прием) | Неактивный | Факультативно |

А.5.2 Требования межсетевое взаимодействия

В таблице А.2 приведены требования к взаимодействию между различными интерфейсами и режимами работы. Любая комбинация должна обеспечивать правильную передачу трафика Ethernet. Для того чтобы синхронный Ethernet можно было использовать для сети синхронизации, на обоих концах каждого звена синхронизации, участвующего в пути синхронизации, должны располагаться порты синхронного Ethernet, работающие в синхронном режиме.

Таблица А.2 – Взаимодействие между портами синхронного Ethernet и Ethernet

| Тип интерфейса | Межсетевой обмен трафиком с | | | | Межсетевой обмен сигналами синхронизации сети с | | |
|---------------------|-----------------------------|-------------------|------------------|-----------------------------|---|---|-----------------------------|
| | Режим работы | Ethernet | | портом синхронного Ethernet | Ethernet | | портом синхронного Ethernet |
| | | Асинхронный режим | Синхронный режим | Асинхронный режим | Синхронный режим | | |
| Ethernet | Асинхронный режим | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Синхронный Ethernet | Асинхронный режим | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Синхронный Ethernet | Синхронный режим | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✓ |

✓ Взаимодействие возможно
✗ Взаимодействие невозможно

А.5.3 Взаимодействие по частоте

Ethernet работает с максимальным сдвигом частоты ± 100 ppm (миллионных долей).

Синхронный Ethernet в режиме синхронизации использует сигнал синхронизации сети, полученный от PRC. Наихудшим случаем является удержание синхронизации с максимальным сдвигом частоты $\pm 4,6$ ppm.

Для восстановления данных входной допуск на частоту синхронного Ethernet должен составлять ± 100 ppm.

В таблице А.3 приведены требования к взаимодействию по частоте.

Таблица А.3 – Межсетевое взаимодействие по частоте

| Тип интерфейса | Режим работы | Частота | | |
|---------------------|-------------------------------|--|---------------------------|--------------------------------------|
| | | Максимальное отклонение частоты на выходе | Входной допуск | |
| | | | Для восстановления данных | Для восстановления тактового сигнала |
| Ethernet | Асинхронный режим | ± 100 ppm | ± 100 ppm | Н. п. |
| Синхронный Ethernet | | Может быть привязан к ЕЕС, в противном случае должен оставаться в пределах ± 100 ppm | | |
| Синхронный Ethernet | Синхронный режим (Примечание) | Привязан к ЕЕС (в худшем случае $\pm 4,6$ ppm) | | Не более $\pm 4,6$ ppm |

ПРИМЕЧАНИЕ. – Для режимов с включенным QL и с выключенным QL.

А.5.4 Взаимодействие по шуму

Дрожание в Ethernet определяется согласно IEEE. Фазовый дрейф не мешает обработке трафика Ethernet.

Дрожание и фазовый дрейф для синхронных интерфейсов определяются согласно МСЭ-Т. Для интерфейсов синхронного Ethernet в синхронном режиме работы соответствующие требования установлены в Рекомендациях [ITU-T G.8261] и [ITU-T G.8262].

Для восстановления данных интерфейс синхронного Ethernet должен допускать дрожание интерфейсов Ethernet.

Подробные сведения приведены в таблице А.4.

Таблица А.4 – Межсетевое взаимодействие по шуму

| Тип интерфейса | Режим работы | Шум | | | | | |
|---------------------|-------------------|---|---------------|---|---------------|--------------------------------------|---------------|
| | | Максимальный уровень шума на выходе | | Переносимость входного шума оборудованием | | | |
| | | Дрожание | Фазовый дрейф | Для восстановления данных | | Для восстановления тактового сигнала | |
| | | | | Дрожание | Фазовый дрейф | Дрожание | Фазовый дрейф |
| Ethernet | Асинхронный режим | Согласно IEEE | Н. п. | Согласно IEEE | Н. п. | Н. п. | Н. п. |
| Синхронный Ethernet | | | | | | | |
| Синхронный Ethernet | Синхронный режим | Согласно G.8261 (сеть), G.8262 (оборудование) | | | | Согласно G.8262 | |

А.5.5 Соответствующие измерения дрожания

Измерения дрожания портов Ethernet описаны в документах IEEE. При измерении дрожания по IEEE используется метод глазковых и U-образных диаграмм. Интерфейсы синхронного Ethernet при межсетевом взаимодействии для восстановления данных должны измеряться тем же способом.

Характеристики дрожания интерфейсов синхронного Ethernet в синхронном режиме работы для меж сетевого взаимодействия в отношении синхронизации включены в Рекомендации [ITU-T G.8261] и [ITU-T G.8262].

Измерения дрожания интерфейсов синхронного Ethernet в синхронном режиме работы подлежат дальнейшему изучению. См. Дополнение X.

Краткие сведения приведены в таблице А.5.

Таблица А.5 – Измерение дрожания

| Тип интерфейса | Режим работы | Допуск на дрожание на входе | Генерирование шума дрожания | Передача шума дрожания | Ограничения сети |
|---------------------|-------------------|---|-----------------------------|------------------------|------------------|
| Ethernet | Асинхронный режим | Согласно IEEE | Согласно IEEE | Н. п. | Н. п. |
| Синхронный Ethernet | | | | | |
| Синхронный Ethernet | Синхронный режим | Подлежит дальнейшему изучению; об измерении дрожания см. в Дополнении X | | | |

А.5.6 Соответствующие измерения фазового дрейфа

Требования по фазовому дрейфу для интерфейсов Ethernet не установлены.

Измерения фазового дрейфа для интерфейсов синхронного Ethernet в синхронном режиме работы подлежат дальнейшему изучению. См. Дополнение X.

Краткие сведения приведены в таблице А.6.

Таблица А.6 – Измерение фазового дрейфа

| Тип интерфейса | Режим работы | Допуск на фазовый дрейф на входе | Генерирование шума фазового дрейфа | Передача шума фазового дрейфа | Ограничения сети |
|-----------------------|---------------------|---|---|--------------------------------------|-------------------------|
| Ethernet | Асинхронный режим | Н. п. | | | |
| Синхронный Ethernet | | | | | |
| Синхронный Ethernet | Синхронный режим | Подлежит дальнейшему изучению; об измерении дрожания см. Дополнение X | | | |

ПРИМЕЧАНИЕ. – Рекомендации по интерфейсам и оборудованию синхронного Ethernet с ограниченной функциональностью приведены в [ITU-T G.8264].

Приложение В

Функциональное разбиение IWF на IWF CES и IWF PNT и примеры сетей

(Данное Приложение является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

В.1 Общие положения

IWF – это функциональный блок, который передает данные из TDM-сети в пакетную сеть и обратно (см. рисунок В.1).

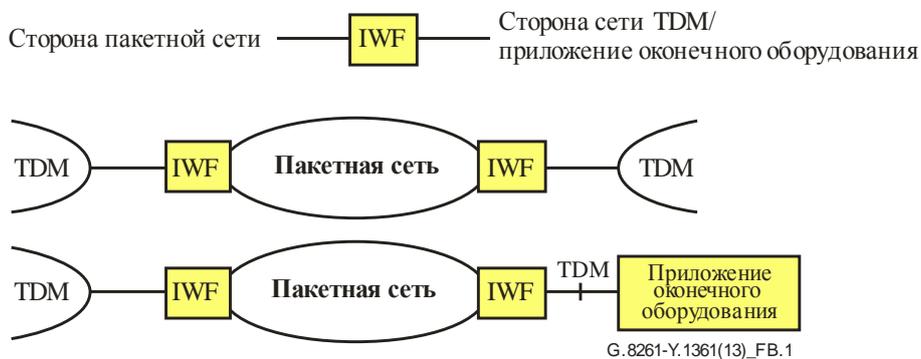


Рисунок В.1 – IWF в сети

В некоторых случаях функция IWF может изменять уровень, в котором осуществляется хронирование (то есть с пакетного на физический и наоборот), см. рисунок В.2.

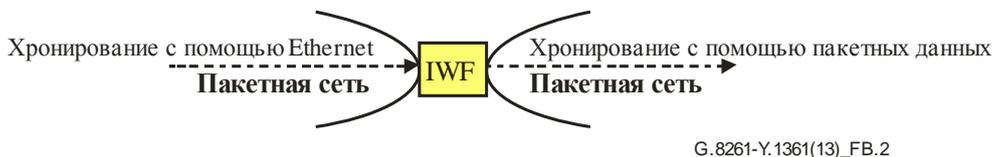


Рисунок В.2 – IWF изменяет уровень, в котором осуществляется хронирование

IWF определяется в соответствии с двухдоменной структурой (см. рисунок В.3), причем IWF CES занимается аспектами синхронизации домена рабочего тактового генератора, а IWF PNT (packet network timing – хронирование пакетной сети) – аспектами синхронизации домена тактового генератора сети.

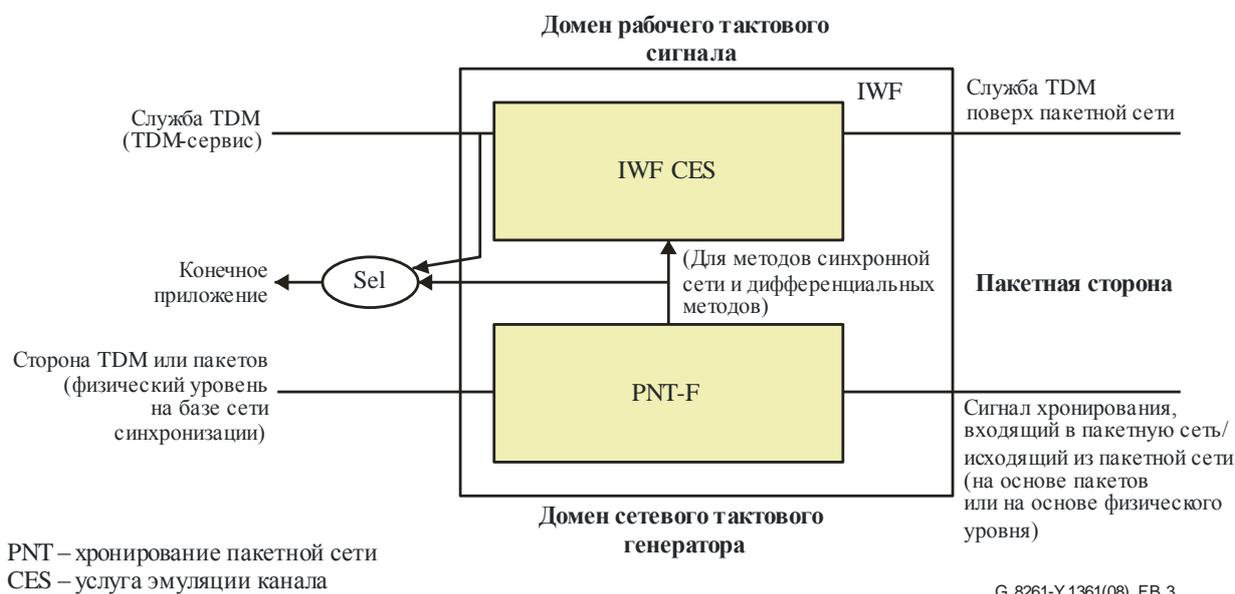


Рисунок В.3 – Домены CES и PNT в составе IWF

В частности, IWF CES должна восстанавливать хронирование услуг, осуществляемое по пакетной сети (восстановление рабочего тактового сигнала), а также надлежащим образом поддерживать генерирование пакетов CES, направляемых в пакетную сеть.

Как говорится в разделе 8, возможны следующие методы работы:

- синхронная работа сети;
- дифференциальные методы;
- адаптивные методы;
- тактовый генератор в оконечных системах TDM.

В зависимости от применяемых методов может потребоваться реализация в IWF CES различных типов тактовых сигналов.

Это подробно описано в разделе В.3.

Распределение сигналов хронирования на входе и выходе IWF PNT может осуществляться традиционными или новыми методами. Фактически этот блок может восстановить хронирование сети синхронизации либо со стороны TDM (например, из SDH), либо со стороны пакетов (например, с помощью синхронного Ethernet или новых методов, основанных на выделенных пакетах).

Ниже приведен пример возможных случаев распространения сигналов хронирования на входе и выходе PNT:

- выделенный внешний опорный сигнал (например, из SASE);
- с помощью синхронного физического уровня (например, SDH, синхронный Ethernet). Сигнал хронирования переносится пакетами (например, [b-IEEE 1588], NTP).

В некоторых случаях IWF PNT должна доставлять в IWF CES точный опорный сигнал хронирования, полученный из сети синхронизации. На самом деле этот опорный сигнал может понадобиться IWF CES для поддержки механизма восстановления тактового сигнала – это относится и к методу синхронной сети, и к дифференциальному методу. Дополнительные сведения приведены в разделе В.2.

В.2 Тактовые генераторы IWF

На рисунке В.4 показаны тактовые генераторы, которые могут быть реализованы в IWF CES. Это следующие тактовые генераторы:

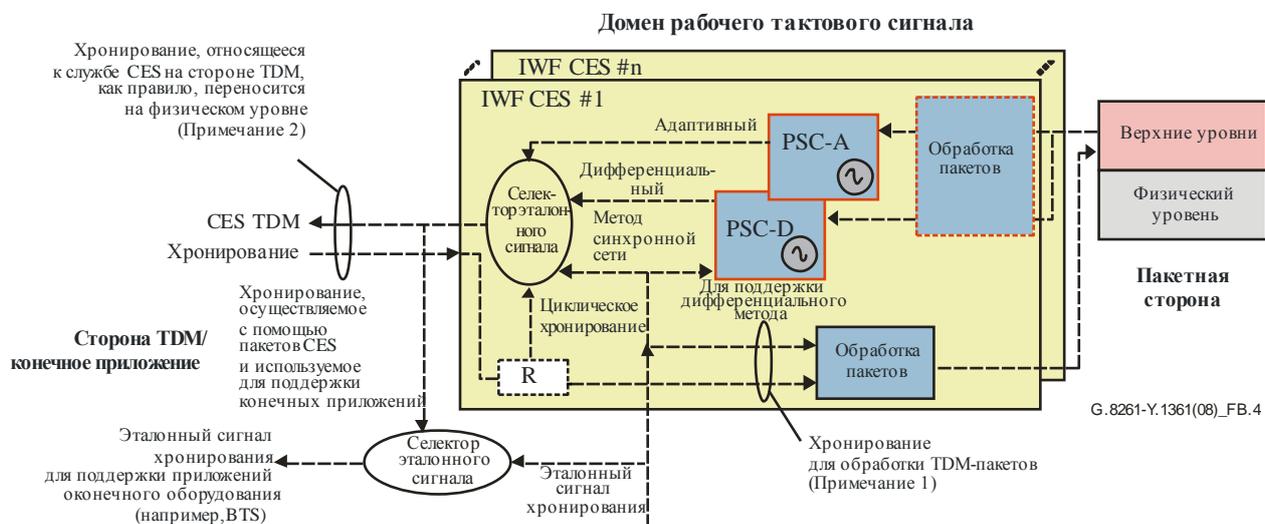
- адаптивный к рабочему тактовому сигналу на базе пакетной передачи (PSC-A) – тактовый генератор, который восстанавливает рабочий тактовый сигнал CES по пакетам трафика в соответствии с адаптивным методом;
- дифференциальный по отношению к рабочему тактовому сигналу на базе пакетной передачи (PSC-D) – тактовый генератор, который восстанавливает рабочий тактовый сигнал CES по пакетам трафика в соответствии с дифференциальным методом.

Эти тактовые генераторы отвечают за функции хронирования IWF CES (в том числе несинхронизированные, с удержанием, с фильтрацией, с отбором и т. д.).

Тактовые генераторы PSC-A и PSC-D специфичны для каждого пользователя CES (то есть любого пользователя с выделенным тактовым генератором). Удержание синхронизации не должно быть обязательным (но факультативно оно может быть предусмотрено), так как фактически для соблюдения минимальных требований PDN (например, 50 ppm для сигналов 2048 кбит/с) необходима лишь некоторая независимая точность. Как правило, для поддержки CES TDM обрабатываются только однонаправленные пакеты.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Могут быть определены новые "услуги" распространения специальных пакетов хронирования (с помощью одно- или двусторонних протоколов) и различные тактовые генераторы. Это подлежит дальнейшему изучению.

Подробные сведения об этих тактовых генераторах подлежат дальнейшему изучению.



n – количество пользователей CES с окончаниями IWF CES

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Это хронирование обеспечивает формирование исходящих пакетов и служит основой для формирования сообщений хронирования для адаптивных или дифференциальных методов.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Некоторые из потоков CES могут также переносить сигнал синхронизации сети. Если обработка IWF осуществляется владельцем тактового генератора сети, то она может выполняться в домене тактового генератора сети (посредством PES). Если IWF относится к другому оператору (который предлагает транспортные услуги другому оператору), их обработка выполняется как любая другая услуга TDM в домене услуг (посредством PSC).

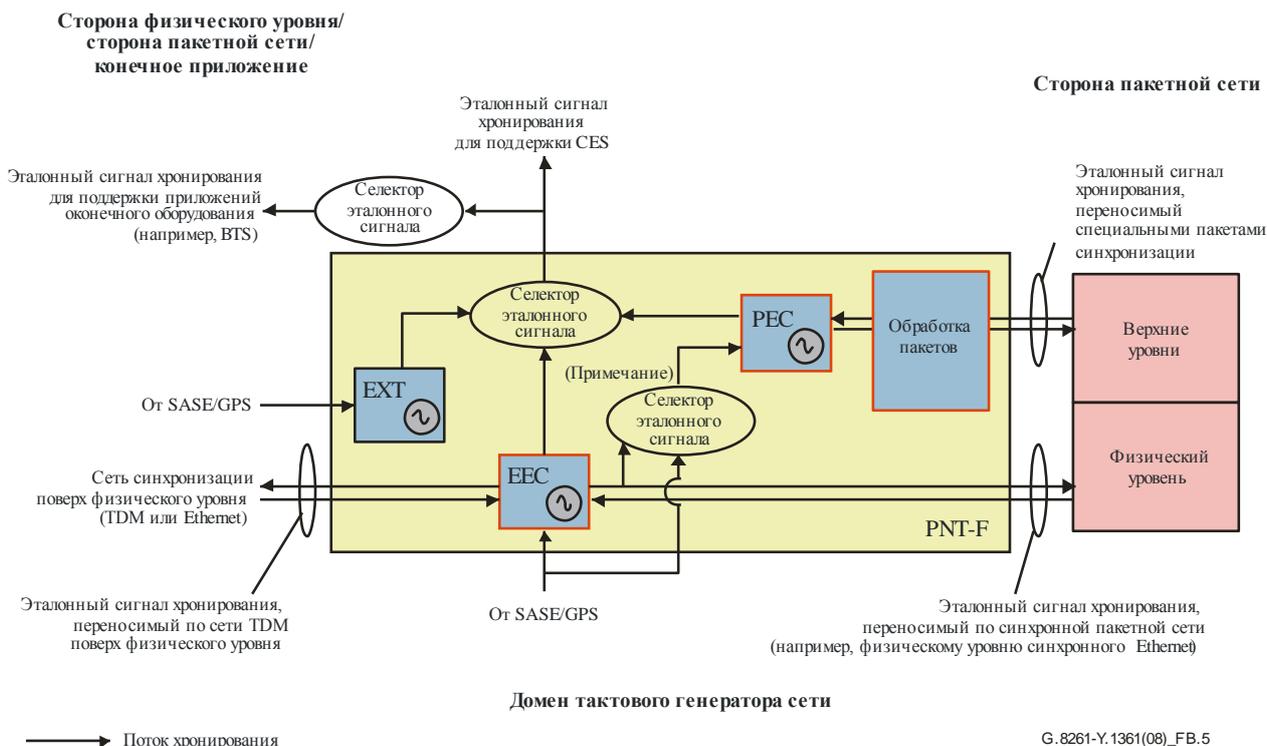
Рисунок В.4 – Тактовые генераторы в IWF CES и IWF PNT

В отношении синхронизации от IWF CES со стороны TDM в основном требуется генерирование синхронного физического уровня в соответствии с установленными требованиями (например, ограничениями по дрожанию и фазовому дрейфу) и восстановление хронирования в соответствии с действующими масками допуска на дрожание и фазовый дрейф.

Функция синхронизации IWF CES со стороны пакетной сети относится к пакетам "абонентские данные". Например, в направлении пакетная сеть – сеть TDM и в случае применения адаптивных методов хронирования TDM восстанавливается с помощью некоторого алгоритма фильтрации на основе интервалов времени между поступлением пакетов (этой функцией занимается PSC-A).

Для регенерирования хронирования TDM используется блок R в составе IWF CES: он может быть зациклен в случае функции циклического хронирования и может использоваться для управления потоком пакетов в направлении сеть TDM – пакетная сеть (например, для генерирования сообщений хронирования, используемых дифференциальным методом). В частности, блок "обработка пакетов" отвечает за генерирование сообщений хронирования, поддерживающих дифференциальный метод (для этой цели необходимы как тактовый генератор сети, так и хронирование TDM), и за генерирование пакетов, скорость которых непосредственно связана с хронированием TDM (справедливо для всех методов).

На рисунке В.5 показаны тактовые генераторы в PNT-F, поддерживающие распространение опорного сигнала хронирования по пакетным сетям (см. раздел 7).



ПРИМЕЧАНИЕ. – Эталонный сигнал хронирования для поддержки генерирования сигналов хронирования в направленной пакетной сети.

Рисунок В.5 – Тактовые генераторы в PNT-F

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – На рисунке показаны не все взаимосвязи между блоками в составе PNT.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Если хронирование осуществляется только с помощью TDM (например, SDH), в PNT может быть реализован другой тактовый генератор. Он должен быть основан на соответствующих Рекомендациях (например, [ITU-T G.813]).

На рисунке В.5 определены следующие тактовые генераторы PNT (тактовые генераторы сети синхронизации):

- PСC – тактовый генератор для восстановления и передачи сигнала хронирования сети в специальных пакетах;
- EEC – тактовый генератор для поддержки хронирования, осуществляемого с помощью синхронного Ethernet (см. [ITU-T G.8262]);
- EXT – хронирование по внешнему выделенному опорному тактовому сигналу (например, SASE/GPS).

Подробные сведения о PСC подлежат дальнейшему изучению.

Тактовым сигналом сети управляют PЕC и EEC, поэтому имеется одна частота на сеть. Для каждой единицы оборудования существует один тактовый сигнал/одна частота. Для этих тактовых генераторов требуется удержание синхронизации.

PEC может быть способен обрабатывать двусторонние пакеты (например, RTP, NTP).

Можно отметить, что PSC-A и PEC могут быть основаны на аналогичной реализации, поскольку оба они опираются на адаптивный метод, но к ним могут предъявляться разные требования. Кроме того, в то время как PSC-A должен только заканчивать распространение сигнала хронирования (он занимается восстановлением рабочего хронирования TDM для последующей генерации потока TDM), PEC в принципе может быть частью цепи распространения сигнала синхронизации.

Внешний тактовый генератор (EXT) может быть основан на других соответствующих Рекомендациях МСЭ-Т (например, [ITU-T G.812] и [ITU-T G.813]).

Следует отметить, что в зависимости от приложения сети в IWF должны быть реализованы лишь некоторые из функций (и некоторые из тактовых генераторов), показанных на рисунках В.4 и В.5. Например, тактовый генератор EXT не требуется, если в PNT имеются другие тактовые генераторы (например, EEC): они могут заняться получением внешнего опорного сигнала для использования в системе вместо него.

Как показано на рисунке В.5, может существовать также опорный сигнал хронирования для поддержки приложений оконечного оборудования (например, BTS).

Исходящий опорный сигнал хронирования, показанный на рисунке В.4, также может переноситься сигналом CES. Восстановленный сигнал хронирования может быть предоставлен в виде внешнего интерфейса (например, соответствующего [ITU-T G.703]) или может быть внутренним по отношению к системе (в этом случае IWF интегрирован в конечное приложение с помощью этого опорного сигнала хронирования).

Примеры типовых приложений IWF приведены в Дополнении IX.

Примеры приложений сети описаны в разделе В.3.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – В дополнение к тактовым генераторам IWF могут существовать тактовые генераторы, реализованные в других элементах пакетной сети. Типичным примером является EEC в коммутаторах Ethernet, которые входят в состав цепи распространения сигналов синхронизации. В этом случае элемент сети реализует только функции PNT, а функции синхронизации могут быть представлены соответствующим тактовым генератором (например, EEC).

В более общем случае когда функции CES не требуются, а EEC с обеих сторон соединен с физическим уровнем одного и того же типа (например, синхронным Ethernet), IWF отсутствует.

В.3 Примеры сетей

На следующих рисунках показаны некоторые примеры сетей, чтобы дать более наглядное представление о модели, изображенной на рисунках В.1 и В.2.

На рисунке В.6 показана схема восстановления рабочего тактового сигнала TDM на основе метода синхронной сети – в этом примере опорный сигнал хронирования (тактовый сигнал сети) распространяется от IWF PNT, имеющей доступ к PRC (например, GPS), к IWF PNT/CES на границах пакетной сети (например, посредством синхронного Ethernet). Сигнал хронирования услуг TDM является производным от этого сетевого тактового сигнала (то есть применяется метод синхронной сети).

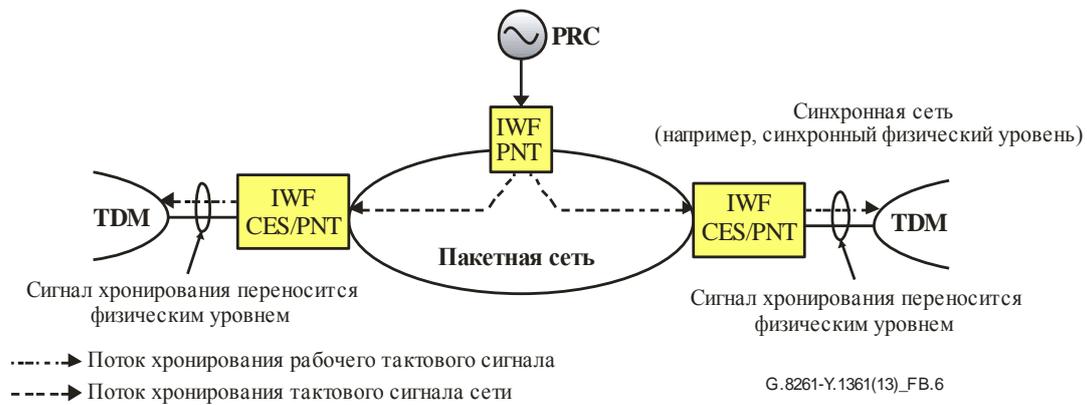


Рисунок В.6 – Пример восстановления хронирования на основе метода синхронной сети

На рисунке В.7 представлена схема восстановления сигнала синхронизации услуг на основе дифференциального метода. В этом примере IWF PNT распространяет опорный сигнал хронирования между IWF CES/PNT, которые используют этот сигнал для реализации дифференциального метода (поток от левой IWF к правой IWF соответствует распределению дифференциальной информации через сообщения хронирования).

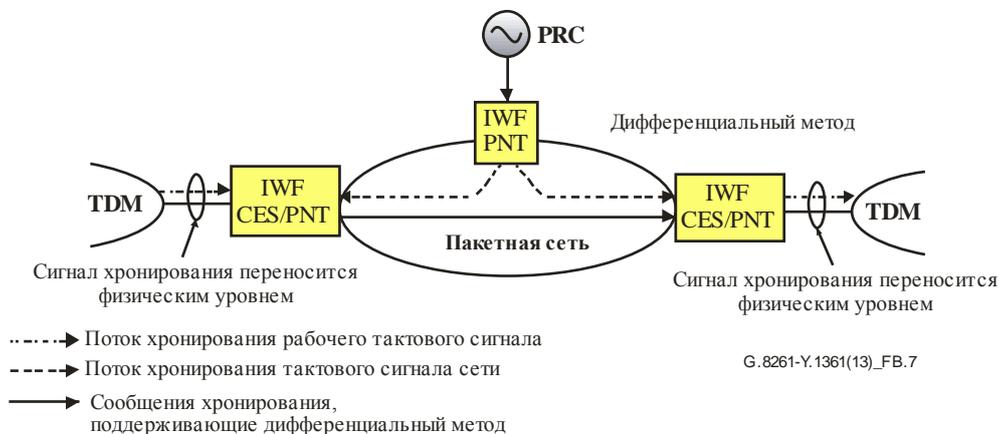


Рисунок В.7 – Пример восстановления хронирования на основе дифференциального метода

На рисунке В.8 показан пример восстановления синхронизации услуг с помощью адаптивного метода. В этом случае опорного сигнала хронирования не требуется (и на рисунке отсутствует IWF PNT).



Рисунок В.8 – Пример восстановления хронирования на основе адаптивного метода

Наконец на рисунке В.9 показан IWF PNT с возможностью доступа к PRC (первичному эталонному тактовому генератору), который распространяет опорный сигнал хронирования по пакетной сети (например, через синхронный Ethernet) к другим IWF PNT на границах пакетной сети. В этом примере правый PNT IWF поддерживает требования, предъявляемые к хронированию окончательным оборудованием. Типичным примером является поддержка требований хронирования BTS GSM (например, 50 ppb (миллиардных долей) для радиointерфейса).

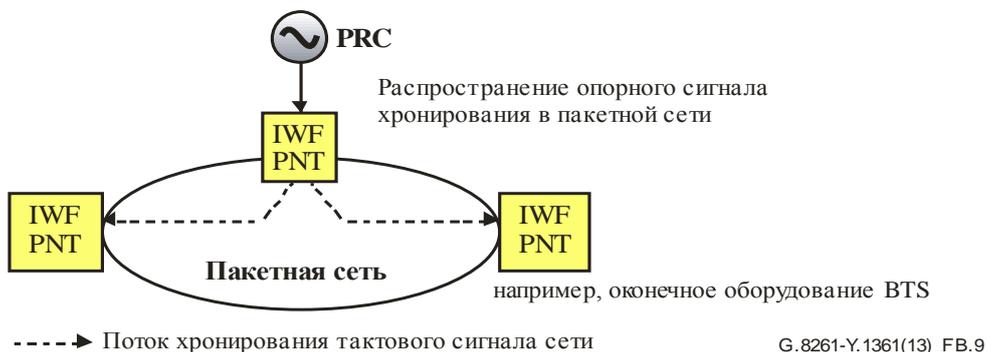


Рисунок В.9 – Распространение сигнала хронирования между IWF PNT

Приложение С

Требования IWF CES, связанные с синхронизацией

(Данное Приложение является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

С.1 Интерфейсы трафика

Приведенные ниже требования взяты из действующих Рекомендаций (например, [ITU-T G.823], [ITU-T G.824]).

ПРИМЕЧАНИЕ. – Интерфейсы SDH упомянуты в последующих пунктах исключительно в информационных целях, поскольку транспортирование сигналов SDH по пакетной сети подлежит дальнейшему изучению.

С.1.1 Физические, электрические и оптические характеристики

Физические и оптические характеристики интерфейсов E0 (64 кбит/с), E11 (1544 кбит/с), E12 (2048 кбит/с), всех интерфейсов PDH, интерфейсов 51 840 кбит/с (STM-0) и ES1 (STM-1) должны соответствовать требованиям [ITU-T G.703].

Физические и оптические характеристики интерфейсов STM-1, STM-4, STM-16 должны соответствовать требованиям соответствующих Рекомендаций по физическим интерфейсам, например [ITU-T G.957], [ITU-T G.691], [ITU-T G.959.1].

С.1.2 Устойчивость к дрожанию и фазовому дрейфу

Устойчивость к дрожанию и фазовому дрейфу на входе сетей на базе иерархии 2048 кбит/с с интерфейсами трафика E0, E12, E22, E31, E4 должна соответствовать требованиям раздела 7.1 [ITU-T G.823].

Устойчивость к дрожанию и фазовому дрейфу на входе сетей на базе иерархии 1544 кбит/с с интерфейсами трафика E11, E21, 32 064 кбит/с, E32, 97 728 кбит/с должна соответствовать требованиям раздела 7.2 [ITU-T G.824].

Устойчивость к дрожанию на входе сетей на базе SDH с интерфейсами трафика STM-1e, STM-1, STM-4, STM-16 должна соответствовать требованиям раздела 6.1.2 [ITU-T G.825]. Устойчивость к дрожанию на входе сетей с интерфейсом трафика 51 840 кбит/с должна соответствовать требованиям раздела 16.3 [ITU-T G.703].

Устойчивость к фазовому дрейфу на входе сетей на базе SDH с интерфейсами трафика 51 840 кбит/с, STM-1e, STM-1, STM-4, STM-16 в соответствии с разделом 6.1.1 [ITU-T G.825] должна соответствовать применимым требованиям раздела 9.1 [ITU-T G.812] или раздела 8.1 [ITU-T G.813]. Эти требования определены для интерфейсов синхронизации (соответственно SSU и SEC), поскольку интерфейсы трафика STM-N рассматриваются как интерфейсы синхронизации.

Методы измерения определены в [ITU-T O.171] и [ITU-T O.172].

С.2 Интерфейсы синхронизации

Приведенные ниже требования взяты из действующих Рекомендаций (например, [ITU-T G.703]).

С.2.1 Физические и электрические характеристики

Физические и электрические характеристики интерфейса синхронизации T12 (2048 кГц) должны соответствовать требованиям раздела 13 [ITU-T G.703].

Физические и электрические характеристики интерфейса синхронизации E12 (2048 кбит/с) должны соответствовать требованиям раздела 9 [ITU-T G.703].

Физические и электрические характеристики интерфейса синхронизации E11 (1544 кбит/с) должны соответствовать требованиям раздела 5 [ITU-T G.703].

С.2.2 Устойчивость к дрожанию и фазовому дрейфу

Устойчивость к входному дрожанию в интерфейсах синхронизации T12, E12 согласно разделу 7.2 [ITU-T G.823] должна соответствовать требованиям раздела 9.2 [ITU-T G.812] (тип I) для интерфейсов SSU или раздела 8.2 [ITU-T G.813] (вариант 1) для интерфейсов SEC в зависимости от того, какие требования применимы.

Устойчивость к входному дрожанию в интерфейсе синхронизации E11 согласно разделу 7.3 [ITU-T G.824] должна соответствовать требованиям раздела 9.2 [ITU-T G.812] (типы II и III) для интерфейсов SSU или раздела 8.2 [ITU-T G.813] (вариант 2) для интерфейсов SEC, в зависимости от того, какие требования применимы.

Устойчивость к входному фазовому дрейфу в интерфейсах синхронизации T12, E12 согласно разделу 7.2 [ITU-T G.823] должна соответствовать требованиям раздела 9.1 [ITU-T G.812] (тип I) для интерфейсов SSU или раздела 8.1 [ITU-T G.813] (вариант 1) для интерфейсов SEC в зависимости от того, какие требования применимы.

Устойчивость к входному фазовому дрейфу в интерфейсе синхронизации E11 согласно разделу 7.3 [ITU-T G.824] должна соответствовать требованиям раздела 9.1 [ITU-T G.812] (типы II и III) для интерфейсов SSU или раздела 8.1 [ITU-T G.813] (вариант 2) для интерфейсов SEC в зависимости от того, какие требования применимы.

С.3 Функция синхронизации IWF

Подробные сведения о функции синхронизации IWF приведены в Приложении В.

В зависимости от предоставляемых услуг функция IWF должна поддерживать соответствующий поднабор вариантов хронирования, описанный в Приложении В.

Рекомендуется предусмотреть контроль проскальзываний в направлении передачи TDM для контроля возможного переполнения/недогрузки буфера, см. IWF CES на рисунке В.4. Проскальзывание должно выполняться кадрами по $n \times 125$ мкс.

Проскальзывания (вероятнее всего неконтролируемые) возникают, когда тактовый сигнал передатчика и/или приемника TDM находится в состоянии удержания синхронизации или прослеживается до тактовых генераторов, находящихся в состоянии удержания синхронизации, и используется синхронное восстановление тактового сигнала (дифференциальный метод или синхронная работа сети).

При выборе нового источника хронирования уровень выходного фазового дрейфа может временно превышать установленное пороговое значение. Тем не менее к окончанию периода, называемого "период стабилизации", выходной фазовый дрейф должен вернуться в рамки установленных для него ограничений. Требования к периоду стабилизации подлежат дальнейшему изучению; более подробные сведения приведены в Дополнении II.

Еще одной характеристикой, имеющей значение для IWF, является задержка. Требования к задержке, как правило, определены на уровне сети и четко устанавливают общую задержку сквозного соединения. Требования к "вкладу" IWF в общую задержку подлежат дальнейшему изучению.

Спецификация общего шума, который может вноситься сегментом CES, определена в разделе 9.1. Там же определены характеристики передачи шума для всего сегмента CES, включая пару IWF, преобразующих поток TDM на входе пакетной сети.

Приложение D

Сетевые приложения и требования к тактовым генераторам, описанным в МСЭ-Т G.8262/Y.1362

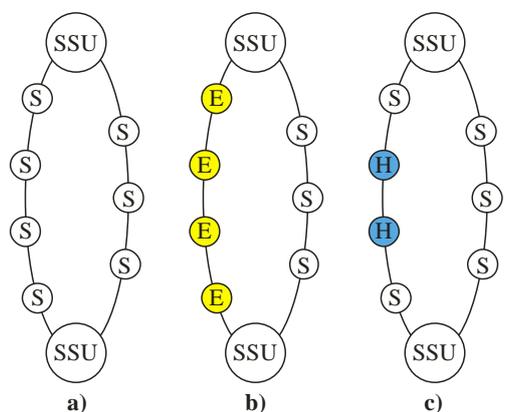
(Данное Приложение является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

В сети синхронизации согласно [ITU-T G.803] используются устройства PRC, SSU и SEC. Устройства SSU часто представляют собой автономное оборудование. Информация хронирования передается через элементы сети (NE) SDH от PRC к SSU и от SSU к SSU более низкого уровня иерархии. Для отказоустойчивости используются два или более маршрутов. Это показано на рисунке D.1 (a).

С введением синхронизации в сетях с коммутацией пакетов (PSN) NE с коммутацией пакетов, поддерживающие синхронный Ethernet, должны быть в состоянии передавать информацию хронирования и взаимодействовать с NE SDH (например, содержащими SEC). Элементы сети с коммутацией пакетов, содержащие ЕЕС, должны быть в состоянии обеспечить линии синхронизации между PRC и SSU и доставлять сигнал синхронизации приложениям, зависящим от времени. Для функционального взаимодействия с сетью синхронизации новые линии хронирования, проходящие по сетям с коммутацией пакетов, должны быть согласованы с существующими линиями хронирования SDH. На рисунке D.1 (b) показаны две цепочки синхронизации, одна из которых образована сетевыми элементами SDH (кружки с буквой S), а другая формируется элементами сети с коммутацией пакетов с использованием интерфейсов синхронного Ethernet (кружки с буквой E).

Гибридные NE описаны в Дополнении I [ITU-T G.8262]. Гибридные NE предлагают как интерфейсы STM-N со связанными функциями кросс-соединения SDH-VC, так и интерфейсы синхронного Ethernet (ЕТУ) с соответствующей коммутацией пакетов. Должна быть предусмотрена возможность использования таких гибридных NE в любом месте цепей синхронизации. Пример приведен на рисунке D.1 (c). Верхний гибридный NE (кружок с буквой H) использует интерфейс STM-N на входе и интерфейс ЕТУ на выходе. Нижний гибридный NE использует интерфейс ЕТУ на входе и интерфейс STM-N на выходе. Сигнал хронирования передается от STM-N к ЕТУ и от ЕТУ в STM-N соответственно.

Характеристики тактовых генераторов ЕЕС могут поддерживать конструкцию цепочек распределения сигнала хронирования, которые ведут себя так же, как цепочки SEC (см. рисунок D.1 (b)).



G.8261-Y.1361(13)_FD.1

Рисунок D.1 – Цепочки синхронизации, реализованные с помощью NE разного типа

Дополнение I

Характеристики коммутаторов Ethernet, сетей Ethernet, маршрутизаторов и технологий доступа

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

I.1 Характеристики коммутаторов и сетей Ethernet

I.1.1 Характеристики задержки коммутаторов Ethernet

I.1.1.1 Функциональные операции в коммутаторе Ethernet

В типовом коммутаторе Ethernet, рассматриваемом как "черный ящик", над кадром Ethernet производится четыре функциональные операции. Эти операции показаны на рисунке I.1.

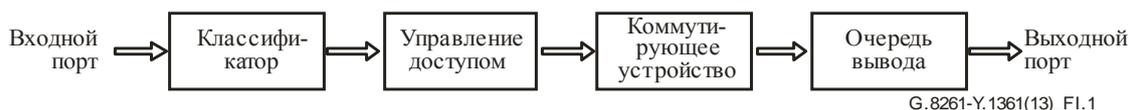


Рисунок I.1 – Типовые функции коммутатора Ethernet

- Классификация – идентификация потока, к которому принадлежит кадр, и определение выходного порта и приоритета;
- Управление доступом – применение правил управления трафиком к потоку (ограничение, формирование, маркировка);
- Коммутация – переадресация к соответствующему выходному порту;
- Очередь вывода – ожидание слота передачи у выходного порта. Обычно применяется политика постановки в очередь, такая как строгий приоритет, организация очередности на основании весовых коэффициентов (WFQ) или карусель.

В последующих разделах обсуждаются свойства задержки различных функций внутри коммутатора.

I.1.1.2 Задержка на входе

Время, требуемое для выполнения этапов классификации и управления доступом, в большинстве случаев должно быть примерно постоянным. В то же время задержка при выполнении данных функций может варьироваться в зависимости от конструкции коммутатора и нагрузки трафика на коммутатор. Например, в некоторых коммутаторах как классификация, так и управление доступом могут выполняться программным обеспечением сетевого процессора. При полной загрузке программное обеспечение может не справиться с обработкой необходимого количества кадров, что приведет к возрастанию задержки и выпадению кадров. Аналогичная ситуация может возникнуть и при использовании некоторых конструкций на основе аппаратного обеспечения.

На рисунке I.2 показан упрощенный вид кривой изменения задержки на входе в зависимости от загрузки коммутатора. При низкой нагрузке коммутатор способен справиться с проходящим через него количеством кадров трафика без увеличения задержки. По мере увеличения скорости поступления кадров, хотя общая пропускная способность коммутатора не превышает, в отдельные моменты скорость поступления кадров может превосходить производительность коммутатора. Это вызовет буферизацию кадров, ожидающих обработки, и может возникнуть некоторая дополнительная задержка. Наконец, в определенной точке средняя скорость поступления кадров может превысить пропускную способность коммутатора, что повлечет дальнейшее увеличение задержки и в некоторых случаях выпадение кадров вследствие недостаточной емкости буферов.



Рисунок I.2 – Изменение задержки в зависимости от нагрузки

I.1.1.3 Задержка коммутации

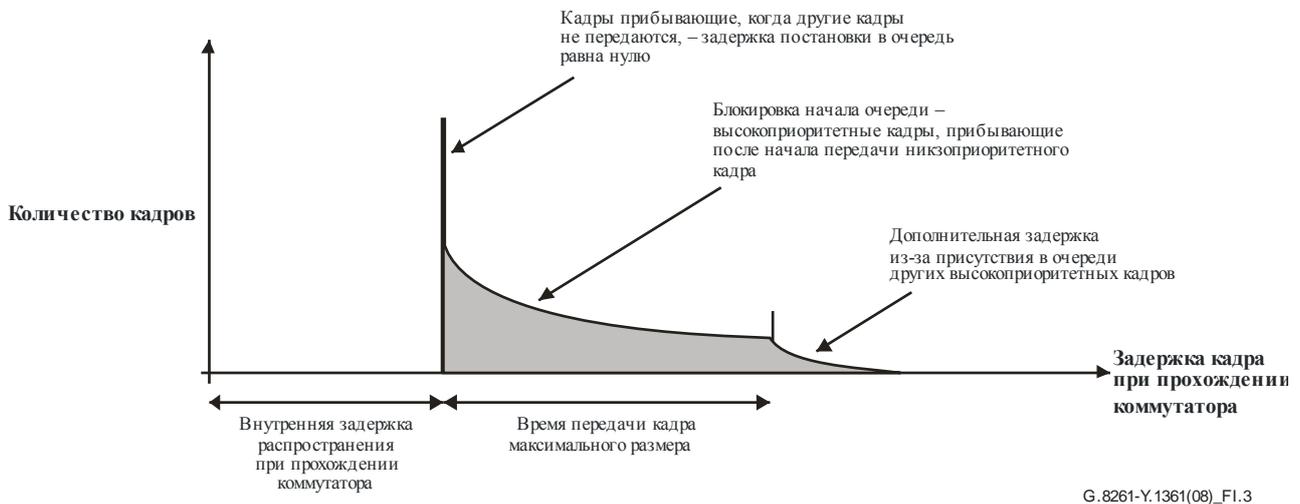
Задержка при прохождении непосредственно коммутирующего устройства также зависит как от архитектуры коммутатора, так и от нагрузки трафика. Например, во многих коммутаторах выполняются алгоритмы планирования для коммутации кадров от входных портов к выходным, и это может вызвать небольшую вариацию задержки кадров в зависимости от времени их прибытия по отношению к "импульсам" планировщика. Вместе с тем в большинстве случаев эта вариация задержки невелика благодаря высокой частоте работы планировщика.

При очень высоких скоростях поступления кадров само коммутирующее устройство может быть перегружено и не справиться с полным объемом подлежащего коммутации трафика. Это приводит к выпаданию кадров.

I.1.1.4 Задержка постановки в очередь вывода

Масштаб задержки, привносимой очередью вывода, зависит от используемой политики постановки в очередь и приоритета потока трафика. Например, поток трафика с высоким приоритетом (такой, какой мог бы использоваться для пакетного потока хронирования) в сочетании с жесткой политикой приоритета может испытывать задержку блокировки начала очереди. Такая ситуация имеет место, когда кадр, хотя и обладает высшим приоритетом, прибывает к выходному порту сразу после начала передачи кадра с низким приоритетом. В этом случае кадр с высоким приоритетом вынужден ждать завершения передачи другого кадра.

На рисунке I.3 изображен профиль задержки, испытываемой группой высокоприоритетных кадров при использовании жесткой политики постановки в очередь на основе приоритетов. Для упрощения на этой диаграмме предполагается, что кадры испытывают приблизительно постоянную задержку при прохождении других функций коммутатора, называемую здесь внутренней задержкой распространения при прохождении коммутатора. Часть кадров поступает в очередь вывода в тот момент, когда никакие другие кадры не передаются. Эти кадры передаются немедленно. Оставшиеся кадры вынуждены ожидать в очереди окончания текущей передачи. Дополнительная задержка может возникать из-за того, что в очереди также присутствуют другие высокоприоритетные пакеты.



G.8261-Y.1361(08)_F1.3

Рисунок I.3 – Постановка в очередь на основе жестких приоритетов – блокировка начала очереди

I.1.1.5 Типовые задержки в коммутаторах Ethernet

На основе модели, описанной в разделе I.1, можно упрощенно смоделировать задержки, вызываемые коммутатором Ethernet, выделив два основных фактора задержки.

Первый связан с операциями классификации, управления доступом и коммутации; второй – с очередью вывода и передачей.

Первый тип задержки в основном связан с пропускной способностью обработки коммутатора, тогда как второй зависит от битовой скорости линии вывода (например, 1 Гбит/с) и используемых политики/приоритетов постановки в очередь.

Предполагая, что в конструкции сети Ethernet не используются коммутаторы Ethernet, где узким местом является пропускная способность механизма обработки коммутатора Ethernet, можно предположить, что вклад пропускной способности механизма обработки в задержку не будет превышать 10 мкс (на самом деле пребывание пакета размером 1500 байтов в очереди вывода для канала с пропускной способностью 1 Гбит/с занимает 12 мкс) и что перегрузка обработки и буферизация обработки отсутствуют (см. рисунок I.2).

Что касается второго типа задержки, то соответствующие значения можно рассчитать исходя из модели, приведенной в Дополнении V.

Упрощенная модель приведена на рисунке I.4.



Фиксированная задержка зависит от скорости вывода и размера пакета (например, 12 мкс для пакета размером 1500 байтов и канала 1 Гбит/с)

ПРИМЕЧАНИЕ. Угол наклона может меняться в зависимости от распределения трафика в сети.

G.8261-Y.1361(13)_F1.4

Рисунок I.4 – Упрощенная модель задержек в коммутаторе Ethernet

Относительно рисунка I.4 следует отметить, что обработка очереди также может оказать влияние на форму распределения задержки.

I.1.2 Характеристики коммутируемых сетей Ethernet

I.1.2.1 Топология сетей Ethernet

Существует множество возможных вариантов топологии сети, но в целях рассмотрения прохождения конкретного потока через сеть ее можно смоделировать как цепь коммутаторов Ethernet, показанную на рисунке I.5. Существует потенциальная возможность задержки кадра Ethernet в результате воздействия механизмов, описанных в разделе I.1, в каждом из коммутаторов цепи. На эту задержку оказывает влияние другой трафик, проходящий через коммутатор. Трафик, направляемый на тот же порт вывода, оказывает влияние на задержку постановки в очередь вывода, тогда как суммарный объем всего трафика, проходящего через коммутатор (включая идущий на другие порты), оказывает влияние на величину задержки обработки и коммутации.

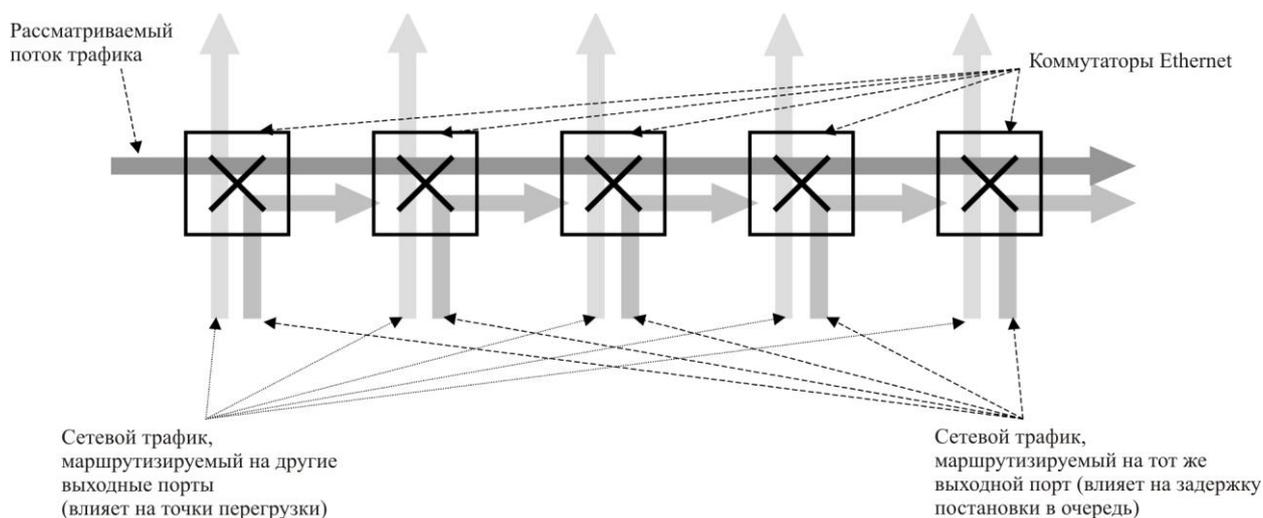


Рисунок I.5 – Поток данных в сети Ethernet

Длина цепи влияет на общую задержку системы; понятно, что чем больше коммутаторов в сети, тем больше общая задержка и колебания задержки. Вместе с тем во многих сетях Ethernet длина цепи может быть достаточно малой. Например, в иерархической сети часто может быть только два или три уровня иерархии, что дает цепь длиной до пяти коммутаторов.

В некоторых случаях может применяться кольцевая топология. Обычно такая сеть может содержать около 10 коммутаторов, что дает максимальное расстояние по кольцу, равное 5 коммутаторам. Иногда могут использоваться взаимосвязанные кольца, в результате чего расстояние может удвоиться и стать равным приблизительно 10 коммутаторам.

I.1.2.2 Шаблоны и уровни трафика

Трафик в сети, за исключением трафика с постоянной битовой скоростью и трафика режима реального времени, по большей части является чрезвычайно неравномерным по своей природе. Наблюдения показывают, что изменение трафика присутствует практически на всех уровнях. Например, на очень малом уровне неравномерность присутствует из-за открытия и закрытия окна протокола управления передачей (TCP). На большем уровне неравномерность может возникать вследствие природы приложения (например, загрузка больших файлов), тогда как на еще большем уровне может присутствовать неравномерность в зависимости от времени суток (например, более высокий уровень активности днем, чем ночью).

При рассмотрении характеристик задержки транспортного потока TDM следует учитывать влияние другого трафика в сети. Например, на рисунке I.5 каждый из потоков трафика в сети может варьироваться в какой-либо форме независимо от других потоков.

В [b-ITU-T G.1020] для моделирования распределения потери пакетов предлагается использовать модели Маркова с четырьмя состояниями. Аналогичная методика может быть применена к длине

пакетов в каждом потоке, что позволит моделировать пакеты или группы пакетов. Далее в качестве постепенной вариации в плотности пакетов может быть использован более длительный период (например, суточные изменения).

I.1.2.3 Возмущающие события в сетях Ethernet

Существует несколько типов возмущающих событий, которые могут вызвать неожиданные изменения в задержке в сети Ethernet. Возникающие в результате изменения задержки могут быть временными или постоянными. В число таких событий входят:

- изменения маршрутизации, вызывающие постоянное ступенчатое изменение задержки;
- временная перегрузка сети, вызывающая значительное, но временное изменение задержки;
- временная потеря обслуживания, вызывающая потерю всех пакетов за определенный период.

I.2 Характеристики задержки маршрутизаторов

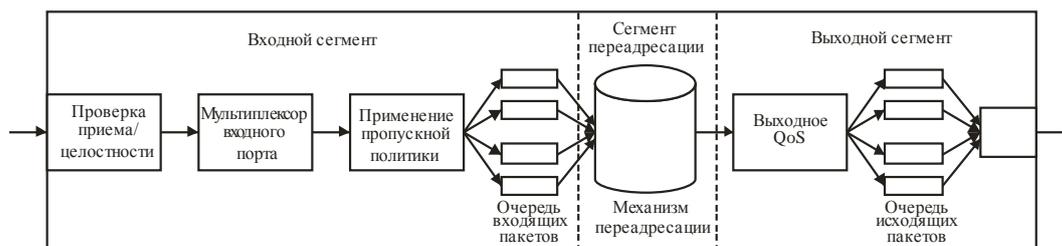
В этом разделе содержится описание характеристик задержки маршрутизаторов. Здесь имеется сходство с коммутаторами Ethernet, описанными в предыдущих разделах.

Для того чтобы определить потенциальные источники задержки в маршрутизаторе, полезно описать путь пакета хронирования, проходящего через узел сети.

В общем случае узел сети можно смоделировать тремя основными сегментами:

- 1) входной сегмент – соответствует всем функциям, которые могут использоваться пакетами хронирования в сетевом узле от физического входного порта до входа в механизм переадресации узла;
- 2) сегмент переадресации – соответствует механизму переадресации узла сети;
- 3) выходной сегмент – соответствует всем функциям, которые могут использоваться пакетами хронирования в сетевом узле от выхода из механизма переадресации узла до физического выходного порта.

Эти три основных сегмента показаны на следующем рисунке.



G.8261-Y.1361(13)_F1.6

Рисунок I.6 – Иллюстрация трех основных сегментов маршрутизатора

Модели, характеризующие каждый из этих сегментов, подлежат дальнейшему изучению.

I.3 Характеристики задержки, связанной с технологией доступа (микроволновые узлы, PON, DSL)

Характеристики задержки, связанной с технологией доступа (микроволновые узлы, PON, DSL), подлежат дальнейшему изучению.

Дополнение II

Период стабилизации

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

Период стабилизации – это параметр, который может быть важен на начальном этапе (для быстрой установки оборудования) или при переключении между опорными источниками хронирования (для ограничения фазового перехода). Если оборудование в течение длительного периода (например, часов) работало в режиме удержания синхронизации, то бóльшую часть фазовой погрешности при выборе нового опорного тактового сигнала будет составлять фазовая погрешность, вызванная частотной погрешностью тактового сигнала в режиме удержания синхронизации.

В случае использования адаптивного метода требования по периоду стабилизации могут зависеть от реального фазового шума в пакетной сети. При высоком колебании задержки пакетов в пакетной сети может пройти длительный период времени, прежде чем тактовый сигнал сможет привязаться к опорному источнику хронирования.

Не менее важны и реализация фильтра, и характеристики внутреннего генератора. В зависимости от характеристик режима удержания синхронизации (например, тип II или тип III [ITU-T G.812]) для переключения с одного опорного сигнала на другой может быть отведен более длительный период времени, поскольку хорошее удержание синхронизации позволяет использовать более длительные периоды блокировки (основным требованием является ограничение общей фазовой погрешности в течение процесса переключения между опорными сигналами).

Требования по периоду стабилизации изучаются.

При выполнении тестов, описанных в Дополнении VI, для адаптивных методов предлагается использовать период стабилизации длительностью как минимум 900 с, поскольку для правильной оценки статистики колебания задержки сети может потребоваться достаточно длительный период.

Дополнение III

Некоторые аспекты пакетных методов

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

В некоторых приложениях требуется восстанавливать опорные сигналы хронирования, соответствующие параметрам фазового дрейфа, которые можно выразить применительно к маскам трафика [ITU-T G.823] и [ITU-T G.824]. При определенных условиях эти сетевые ограничения находятся в области параметров, достижимых пакетными методами в правильно спроектированных пакетных сетях (например в сетях, которые можно моделировать как сеть, представленную в модели А, см. Дополнение V). Правильно спроектированная пакетная сеть в настоящее время является предметом изучения, см. также пункт 12.2.2.

В случае транзитной подвижной связи использование пакетного метода синхронизации BTS/узла В зависит от ряда сложных проблем, в значительной мере определяемых встроенной функциональностью BTS/узла В.

Необходимо учитывать следующие факторы:

- 1) стабильность генератора BTS/узла В;
- 2) интерфейс физического уровня к BTS/узлу В (например, TDM или Ethernet);
- 3) спецификацию допуска на вводе BTS/узла В (в случае TDM-интерфейсов она определяется применительно к маскам интерфейса трафика, введенным проектом партнерства третьего поколения (3GPP), см. [ITU-T G.823]/[ITU-T G.824]).

Что касается пункта 1, то когда важна только точность частоты, стабильный генератор может дать возможность смягчить требования к колебанию задержки пакетов в сети, что позволит ввести более длительный период фильтрации. Следует отметить, что в базовых станциях, как правило, применяются стабильные генераторы ввиду требований кратковременной стабильности, предъявляемых к интерфейсу, и требований удержания синхронизации. Эта область (например время, прошедшее с момента включения генератора, по истечении которого должно выполняться то или иное конкретное требование) подлежит дальнейшему изучению.

Дополнение IV

Приложения и примеры использования

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

IV.1 Базовая информация

Цель настоящего Дополнения заключается в предоставлении пояснительной информации по трем категориям сценариев использования. Особое внимание уделяется ситуациям, когда транспортная сеть PDH/SDH, поддерживающая сценарий использования, заменяется на сеть Ethernet.

Существует три основных типа синхронизации, которые имеют значение. У каждого конкретного приложения могут быть разные потребности, и необходимо гарантировать способность транспортной сети обеспечить эту функциональность; в противном случае оператор сети должен обеспечить альтернативные методы. Вот эти три категории синхронизации:

- 1) частотная синхронизация;
- 2) фазовая синхронизация;
- 3) временная синхронизация.

Частотная синхронизация – это выравнивание тактовых сигналов по частоте – процесс, который также называют синтонизацией. Фазовая и временная синхронизация определены в [ITU-T G.8260]. Для некоторых приложений достаточно частотной синхронизации; для других может потребоваться ее сочетание с синхронизацией по времени/фазе. Для некоторых приложений можно определить источник отсчетов времени/хронирования, а для других таким источником может быть любой из набора (ведущих) тактовых генераторов.

Дополнительная информация по фазовой и временной синхронизации приведена в [МСЭ-Т G.8271].

Здесь рассматриваются три категории сценариев использования:

- 1) беспроводные сети;
- 2) инфраструктура;
- 3) медиашлюзы.

IV.2 Беспроводные сети

IV.2.1 Приложения

В рамках этой общей категории сценариев использования имеется несколько важных приложений. Некоторым из них необходима только информация о частоте, другим – о времени суток, а третьим – о фазе. В отношении хронирования приложение предоставляет базовой станции (например, узлу В) соответствующую информацию хронирования.

IV.2.2 Примеры

IV.2.2.1 Базовая станция GSM (частотная синхронизация)

Требования по синхронизации, применимые к радиоинтерфейсу GSM, содержатся в [b-ETSI TS 145 010]. От радиоинтерфейса базовой станции GSM требуется точность по частоте ± 50 ppb (миллиардных долей). В случае базовых станций пикосетей точность может быть понижена до ± 100 ppb. Необходимость этого требования вытекает прежде всего из необходимости поддержки переключения мобильных вызовов между базовыми станциями. Следует отметить, что соответствующие спецификации не относятся непосредственно к (проводному) сетевому интерфейсу. Тем не менее в случае сетей TDM требования к синхронизации входных сигналов, как правило, выражаются применительно к маскам фазового дрейфа на выходе, представленным в [ITU-T G.823] и [ITU-T G.824], и прослеживаются до источника PRC.

Следует отметить, что в случае сети радиодоступа GSM нет таких строгих требований к точности частоты, связанных с ограничением скорости проскальзывания. В самом деле, в этих случаях данные одного пользователя хранятся в относительно большом буфере (от 10 до 30 мс), и в предположении точности частоты в 50 ppb данные будут потеряны (из-за опустошения или переполнения буфера) через длительное время, гораздо более продолжительное, чем для классических элементов коммутируемой сети, где буферы обработки данных значительно меньше (125 мкс).

IV.2.2.2 Базовая станция FDD UMTS (частотная синхронизация)

Требования по хронированию, применимые к радиоинтерфейсу дуплексного режима с частотным разделением (FDD) WCDMA, содержатся в [b-ETSI TS 125 104].

Требование к точности частоты радиоинтерфейса базовых станций FDD универсальной системы подвижной электросвязи (UMTS) составляет ± 50 ppb; в режиме FDD не предъявляются какие-либо требования по выравниванию фазы.

Как и в случае сетей GSM, здесь нет строгих требований к точности частоты, связанных с ограничением скорости проскальзывания, ввиду большого буфера, используемого для хранения данных одного пользователя.

IV.2.2.3 Базовая станция TDD UMTS (частотная и фазовая синхронизация)

Требования по синхронизации, применимые к радиоинтерфейсу дуплексного режима с временным разделением (TDD) WCDMA, содержатся в [b-ETSI TS 125 105].

Требование к точности частоты радиоинтерфейса базовых станций TDD UMTS составляет ± 50 ppb; к режиму TDD предъявляется дополнительное требование к выравниванию фазы для соседних базовых станций в пределах 2,5 мкс.

Как и в случае сетей GSM, здесь нет строгих требований к точности частоты, связанных с ограничением скорости проскальзывания, ввиду большого буфера, используемого для хранения данных одного пользователя.

IV.2.2.4 Базовая станция CDMA2000 3GPP2 (частотная и временная синхронизация)

Соответствующие стандарты CDMA2000 [b-3GPP2 C.S0010-B] и [b-3GPP2 C.S0002-C].

Согласно спецификациям CDMA2000 средняя разность между фактической частотой несущей передачи CDMA и указанным присвоением передающей частоты CDMA должна составлять менее ± 50 ppb.

В спецификациях CDMA2000 также указано, что каждая базовая станция должна использовать базовое эталонное время, синхронизированное с системным временем CDMA. Системное время CDMA синхронно времени UTC (за исключением дополнительных секунд), и для него используется тот же источник времени, что и для времени GPS. Все базовые станции используют одно и то же системное время (в пределах небольшой допустимой погрешности). Для всех базовых станций экспериментальная ошибка согласования должна быть меньше 10 мкс и рекомендуется, чтобы она была меньше 3 мкс.

Ввиду указанных выше требований базовые станции CDMA обычно оснащаются приемниками GPS.

IV.2.2.5 Базовая станция TD-SCDMA (частотная и фазовая синхронизация)

Требования по синхронизации, применимые к радиоинтерфейсу TD-SCDMA, содержатся в [b-3GPP TR 25.836].

Требование к точности частоты радиоинтерфейса базовых станций TD-SCDMA составляет ± 50 ppb; существует дополнительное требование выравнивания фазы для соседних базовых станций в пределах 3 мкс (соблюдение этого требования проверяется путем сравнения фазы соседних базовых станций).

Ввиду указанных выше требований базовые станции TD-SCDMA обычно оснащаются приемниками GPS.

IV.2.3 Замечания

Требования, перечисленные в приведенных выше разделах, применяются к радиоинтерфейсам. Когда опорные сигналы времени или частоты переносятся по сети, применяются другие требования. Они зависят от нескольких факторов, таких как характеристики генератора базовой радиостанции, способность фильтрации базовой радиостанции и т.д. Например, для опорного сигнала хронирования, передаваемого по сети, когда нужно соблюдать требование точности частоты радиоинтерфейса в 50 ppb, может потребоваться долговременная точность частоты значительно выше 50 ppb. Иногда упоминается значение 16 ppb (точность частоты типа II [ITU-T G.812]).

В целом может допускаться долговременный дрейф опорного сигнала хронирования в n ppb, при условии что это значительно ниже максимально допустимого отклонения (то есть n ppb \ll 50 ppb \ll 100 ppb или, в других случаях, \ll 250 ppb). Это приводит к такому допуску для маски МТИЕ, когда кратковременное ограничение устанавливается масками трафика [ITU-T G.823] и [ITU-T G.824], а долговременное – уровнем n ppb (где n ниже соответствующего требования для радиоинтерфейса).

ПРИМЕЧАНИЕ. – Известны случаи, когда базовые станции менее терпимы к кратковременному фазовому дрейфу, чем указано в масках трафика [ITU-T G.823] и [ITU-T G.824].

Аналогичным образом в том случае, когда на базовые радиостанции должно распространяться точное время и/или фаза, для соблюдения требований к радиоинтерфейсу сети необходимо выделить бюджет, который может быть гораздо меньше требований, определяемых стандартами беспроводных сетей. Эти аспекты подлежат дальнейшему изучению.

В ряде случаев, таких как ситуация с базовыми станциями GSM, такое оборудование развернуто, работает и способно получать необходимое ему хронирование из интерфейса трафика (проводной) сети, такой как PDH или SDH. Если линию PDH/SDH заменить линией Ethernet или синхронного Ethernet, требования базовой станции все равно должны удовлетворяться.

Распространение фазы/времени по линиям PDH/SDH обычно не производится. Точные фаза и время обычно распространяются через GPS. В зависимости от требований точности и условий работы сети для этой цели также могут подходить методы, основанные на метках времени (см. раздел 7.2). В некоторых реализациях используются двусторонние протоколы.

IV.3 Инфраструктура

В этой категории сценариев использования есть несколько приложений, в том числе мультиплексор доступа к цифровой абонентской линии IP (IP DSLAM), модульная система завершения кабельного модема (M-CMTS), многофункциональный узел доступа (MSAN), оконечная оптическая линия (OLT) и т. д. Эта область подлежит дальнейшему изучению.

IV.4 Медиашлюзы

Предмет дальнейшего изучения.

Дополнение V

Эталонные модели пакетных сетей

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

Эталонные модели пакетных сетей, которые использовались для измерения колебаний задержки пакетов, показаны на рисунках V.1 и V.2; модель A на рисунке V.1 относится к приложениям с очень строгими требованиями к задержке и колебаниям задержки, модель B на рисунке V.2 относится к сценариям с менее строгими требованиями к колебаниям задержки пакетов.

В данных моделях не описывается то, как должны быть построены пакетные сети. Цель данных моделей – обеспечить лишь общее понимание характеристик типовых пакетных сетей.

V.1 Модели сетей Ethernet

Для случая сетей Ethernet определены следующие модели (рисунки V.1 и V.2).

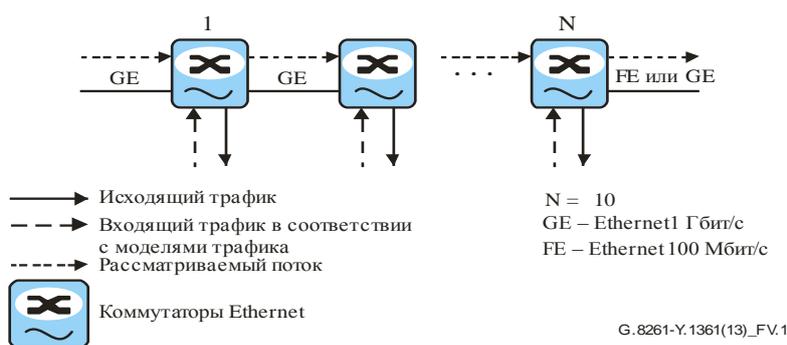


Рисунок V.1 – Эталонная модель A пакетной сети (коммутируемая сеть Ethernet)

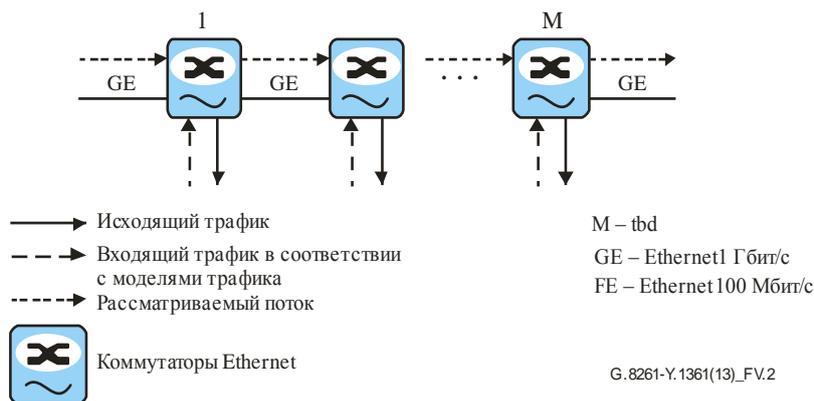


Рисунок V.2 – Эталонная модель B пакетной сети (коммутируемая сеть Ethernet)

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Что касается количества коммутаторов Ethernet (M) на рисунке V.2, обычно считается, что разумное количество – 20. Это требует подтверждения.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – В новых моделях могут рассматриваться каналы связи 10 Гбит/с.

Были рассмотрены следующие случаи:

- сценарий 1: коммутируемая сеть Ethernet – качество обслуживания – на наилучшем уровне, который возможен в данных условиях с избыточной пропускной способностью (одна очередь);
- сценарий 2: коммутируемая сеть Ethernet – качество обслуживания в соответствии с [IEEE 802.1Q], [b-IEEE 802.1p] (как минимум две очереди, где одна очередь выделена для обработки данных режима реального времени и WFQ);
- сценарий 3: коммутируемая сеть Ethernet – качество обслуживания в соответствии с [IEEE 802.1Q], [b-IEEE 802.1p] (с одной очередью, выделенной для обработки данных, используемых для восстановления хронирования, например меток времени).

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Для понимания применимости моделей, представленных на рисунках V.1 и V.2, можно использовать простой подход с определением двух основных классов сетевых сценариев – магистральная сеть, которая также может использоваться для переноса услуг в сети доступа (например, аренда полосы пропускания), и выделенная сеть доступа. Эталонная модель В (рисунок V.2) в основном применима к первому типу пакетных сетей (магистраль), тогда как модель А (рисунок V.1) в основном применима к сетям доступа (например, беспроводной сети доступа).

В отношении моделей, описанных в разделе 9, это означает, что в целом (в большинстве случаев) в случае 1 и в случае 3 участок СЕ можно охарактеризовать в рамках эталонной модели В пакетной сети, тогда как в случае 2 участок СЕ можно охарактеризовать в рамках эталонной модели А пакетной сети. Третий случай – когда полоса пропускания арендуется оператором для соединения двух оконечных точек посредством коммутаторов Ethernet (например, гарантированная полоса пропускания в 100 Мбит/с в транспортном канале 1 Гбит/с). В этом случае также могут быть использованы модели, приведенные в настоящем Дополнении. Если между потребителем и оператором сети Ethernet существует надлежащее соглашение об уровне обслуживания (SLA), можно предположить, что создающий помехи трафик в промежуточных узлах может рассматриваться как трафик с более низким приоритетом. В этом случае SLA может гарантировать полосу пропускания и повысить приоритет, поскольку оба эти пункта будут являться ключевыми элементами высокоуровневого SLA, например такого, которое операторы сотовой связи требуют от своих поставщиков услуг Ethernet. В таком случае данный сценарий можно рассматривать как сценарий с промежуточными характеристиками обработки трафика между характеристиками сценария 2 и сценария 3. Что касается ожидаемых результатов, то по сравнению со сценариями 1 и 2 при аренде полосы пропускания в пакетной сети, как правило, достигается более высокий уровень характеристик.

Ниже приведены условия, рассматриваемые в качестве базы для характеристики пакетной сети:

- нагрузка трафика – статическая 60%;
- скорость прохождения пакетов – 10 пакетов в секунду;
- интервалы наблюдений – 60 минут;
- модели трафика – согласно Дополнению VI;
- длина пакетов – 90 октетов.

С учетом приведенных выше условий могут рассматриваться и характеристики сигналов 2 Мбит/с – то есть пакеты с полезной нагрузкой 256 октетов и скоростью прохождения пакетов 1000 пакетов в секунду.

На основе приведенных выше моделей следующие параметры описывают типовое поведение пакетной сети в различных случаях.

Таблица V.1 – Параметры соответствующих сетевых моделей

| Сетевая модель | | Средняя задержка (мкс) | Минимальная задержка + пороговое значение (Примечание) (x%) (мкс) |
|--|------------|------------------------------|--|
| Модель А | Сценарий 1 | 1 400 | 800 + 1 700 (95%) 800 + 800 (50%) 800 + 20 (10%) 800 + 1 (1%) |
| | Сценарий 2 | Предмет дальнейшего изучения | Предмет дальнейшего изучения |
| | Сценарий 3 | Предмет дальнейшего изучения | Предмет дальнейшего изучения |
| Модель В | Сценарий 1 | Предмет дальнейшего изучения | Предмет дальнейшего изучения |
| | Сценарий 2 | Предмет дальнейшего изучения | Предмет дальнейшего изучения |
| | Сценарий 3 | Предмет дальнейшего изучения | Предмет дальнейшего изучения |
| ПРИМЕЧАНИЕ. – Это значение представляет собой максимальную вариацию задержки для x% пакетов (справочные значения – 95, 50, 10 и 1%). | | | |

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Данные значения основаны на конфигурации только с каналами передачи данных 100 Мбит/с. Это консервативный сценарий, особенно для пакетов с более высокой вариацией задержки. Необходима дополнительная работа для подтверждения и завершения заполнения данной таблицы.

Подробная информация по тестовым примерам, необходимым для проверки сети в нестатических условиях или в условиях отказа, также приведена в Дополнении VI.

Для тестирования различных приложений и повышения производительности алгоритмов фильтрации могут использоваться различные скорости прохождения пакетов (это касается адаптивных методов или более общего случая, когда синхронизация переносится посредством пакетов).

V.2 Другие сетевые модели

На основе соображений, рассмотренных в настоящем разделе, можно определить другие сетевые модели.

В частности, в настоящем разделе особое внимание уделяется составным сетям, способным поддерживать услуги эмуляции каналов, и показано, что при различных конструкциях сети можно вводить новые переменные для передачи данных хронирования, показателей работы и сценариев испытаний.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В других контекстах терминология псевдопроводки TDM (PW TDM) используется для описания передачи трафика TDM по пакетной сети, но в этом разделе она будет использоваться иначе для рассмотрения аспектов CES.

В частности, представленные здесь сетевые сценарии показывают:

- что PW TDM может переноситься по единственному домену, выполненному с использованием единого метода транспортирования (Ethernet, IP или MPLS);
- PW TDM может переноситься по единственному домену, выполненному с использованием разных методов транспортирования;
- PW TDM может переноситься по разным доменам, выполненным с использованием разных методов транспортирования;
- PW TDM, переносимая по разным доменам или с использованием разных методов транспортирования, может предполагать преобразование пакетных уровней IWF (например, из IP в MPLS).

При хронировании PW TDM с использованием адаптивной модели восстановления тактового сигнала на качество восстановленного хронирования могут влиять разнообразные виды оборудования, меры политики (например, QoS) и методы передачи.

В настоящем разделе приведены наиболее распространенные примеры, которые, как ожидается, будут использоваться. Тем не менее они не рассчитаны на охват всех возможных сценариев, таких как использование при проектировании трафика туннелирования (присваивание меток MPLS или [b-IEEE 802.1ah]) или деление на уровни (общая процедура формирования кадра (GFP), T-MPLS).

Развернутые сети выполнены с применением различных технологий. Например, в случае PW TDM услуга TDM, организованная между двумя IWF, может использовать несколько технологий передачи и сетевых доменов.

Ниже приведен ряд примеров.

На входе может присутствовать сеть Ethernet, состоящая только из коммутаторов Ethernet, как показано на рисунке V.3.

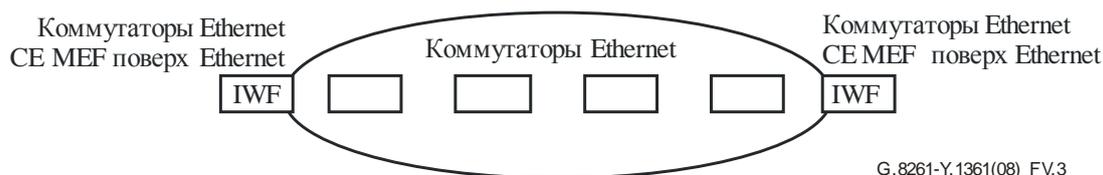


Рисунок V.3 – Сеть из одних коммутаторов Ethernet

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Сценарий, показанный на этом рисунке, можно смоделировать с помощью эталонных моделей, показанных на рисунках V.1 и V.2.

Также это может быть сеть MPLS с P-устройствами и IWF на стороне поставщика услуг (PE), как показано на рисунке V.4.



Рисунок V.4 – Сеть только из PE/P MPLS

Это также может быть IP-сеть с IP-маршрутизаторами и IWF в составе маршрутизаторов, как показано на рисунке V.5.

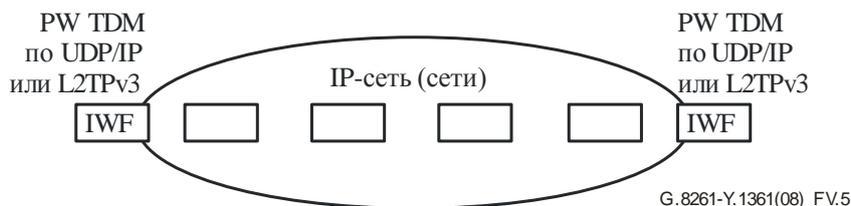


Рисунок V.5 – Сеть только с IP-маршрутизаторами

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Оценка характеристик сети в отношении колебания задержки пакетов для сценариев, показанных на рисунках V.4 и V.5 (кроме случаев, когда используется программное устройство переадресации), может быть основана на результатах моделей, показанных на рисунках V.1 и V.2.

Тем не менее применяемые в настоящее время сети часто сложнее; они могут содержать разные транспортные технологии даже в рамках одного домена или оператора. PW TDM также может пересекать разные домены.

Ниже приведено пять примеров.

1) Псевдопроводка TDM сети MPLS, пересекающая сеть MPLS другого оператора (рисунок V.6).



Рисунок V.6 – Сеть MPLS поверх сети MPLS

2) Псевдопроводка TDM сети MPLS, оканчивающаяся на IWF-устройствах другого оператора (рисунок V.7).

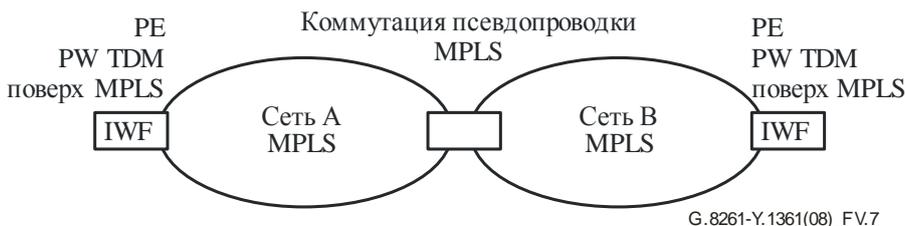


Рисунок V.7 – Пересечение других сетей или доменов MPLS

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Такой сценарий может также отражать изменение на транспортном уровне, как показано на рисунке V.8, где PW TDM переходит из MPLS в IP-сеть. В этом случае полезная нагрузка с инкапсуляцией TDM-пакетов не изменяется; изменяется только уровень PSN.

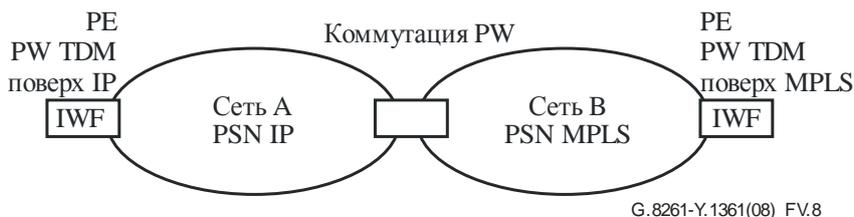


Рисунок V.8 – Замена уровня PSN

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – Возможно, что поток TDM должен будет восстанавливаться в точке пересечения двух доменов или сетей операторов – либо потому, что предыдущий сценарий невозможен (различные способы инкапсуляции PW TDM), либо потому, что операторы не согласовали способ пересечения (в отношении местоположения или управления коммутирующим узлом, инкапсуляции или плоскости управления). Этот случай показан на рисунке V.9.

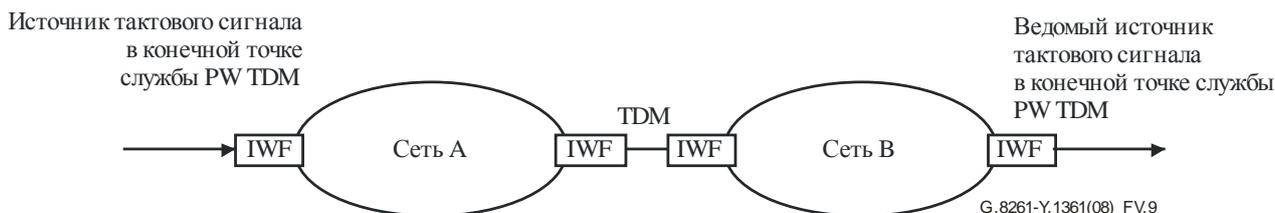


Рисунок V.9 – Пересечение сетей разных операторов без функции коммутации PW

3) Псевдопроводка TDM IP-сети с применением сети MPLS, факультативно с использованием службы L3VPN (рисунок V.10).

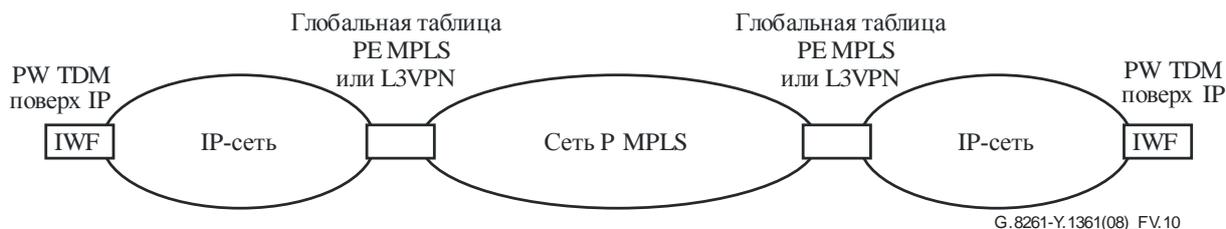


Рисунок V.10 – Сеть MPLS поверх IP-сети

4) Псевдопроводка TDM Ethernet с использованием сети MPLS для передачи (рисунок V.11).

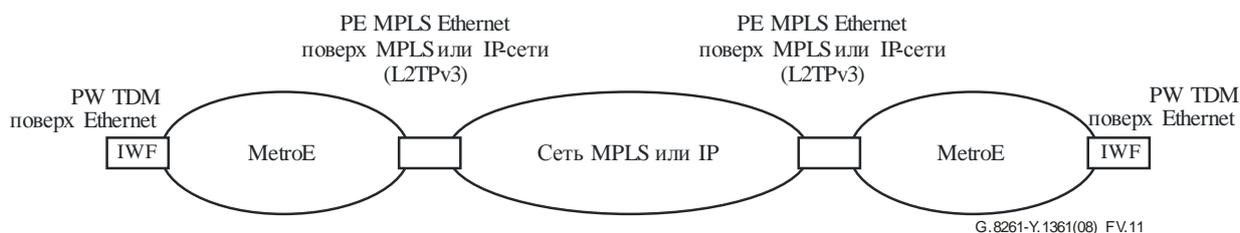


Рисунок V.11 – Ethernet поверх MPLS или IP-сети

5) Псевдопроводка TDM IP с использованием услуги PW Ethernet поверх сети MPLS (рисунок V.12).

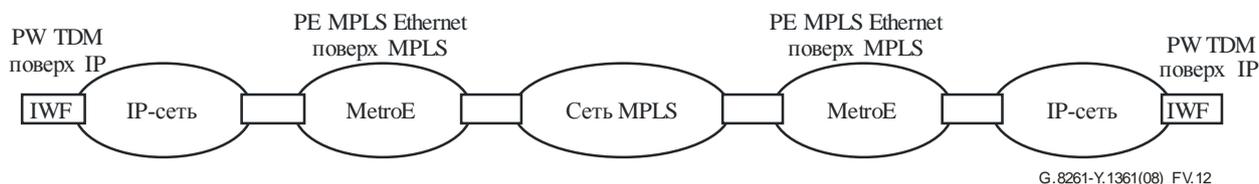


Рисунок V.12 – IP поверх Ethernet поверх сети MPLS

К ключевым аспектам таких сложных сетей относятся следующие:

- сетевое оборудование будет обладать различными характеристиками;
- сетевая политика (например, QoS) может быть различной, если пересекаются разные домены;
- может различаться архитектура хранилища.

Дополнение VI

Руководство по измерениям для пакетных методов

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

Руководящие указания в настоящем Дополнении имеют цель помочь в определении технических характеристик, используемых для установления результатов сравнительного анализа.

Важно учитывать, что при сравнении характеристик конфигурации сравниваемых систем должны быть как можно ближе.

Результаты случаев испытаний, приведенных в настоящем Дополнении, не дают гарантии того, что в ситуации сложной сети при сложных и меняющихся условиях нагрузки оборудование будет работать ожидаемым образом.

Хотя случаи испытаний, приведенные в настоящем Дополнении, служат полезным руководством по характеристикам методов эмуляции каналов на базе Ethernet, настоятельно рекомендуется провести оценку в сценариях сложных сетей, имитирующих профиль развертывания.

VI.1 Опорные точки измерений

Опорные точки измерений приведены на рисунке VI.1 (дифференциальный метод восстановления тактового сигнала) и на рисунке VI.2 (адаптивный метод восстановления тактового сигнала). На этих двух рисунках представлены два наиболее актуальных примера испытаний. В последующих версиях настоящей Рекомендации могут быть приведены дополнительные сценарии.

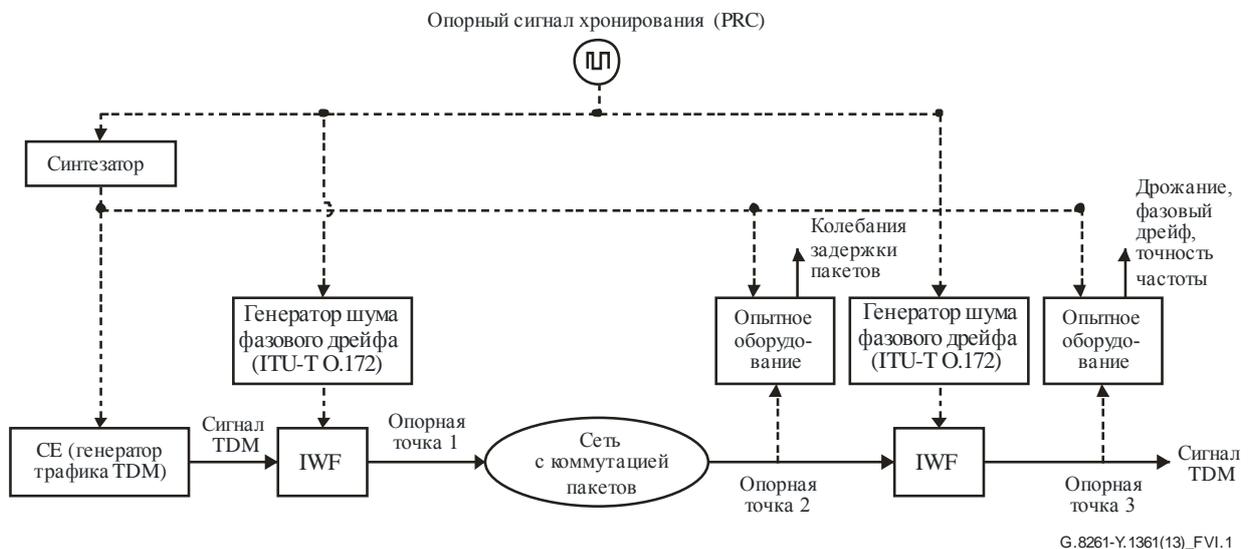


Рисунок VI.1 – Опорные точки измерений для дифференциального метода восстановления тактового сигнала

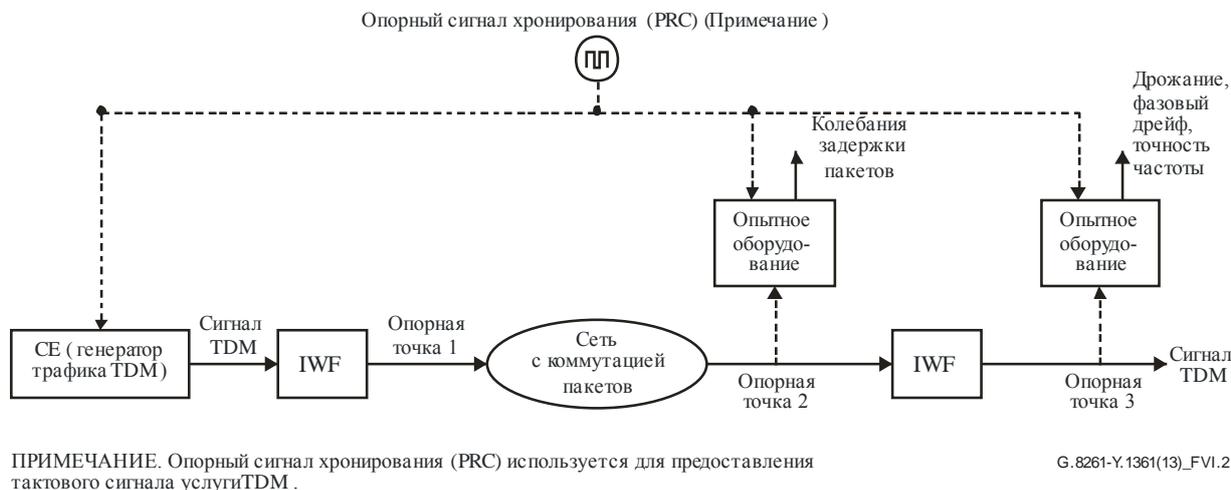


Рисунок VI.2 – Опорные точки измерений для адаптивного метода восстановления тактового сигнала

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Генератор шума фазового дрейфа на рисунке VI.1 добавлен для симуляции шума, генерируемого сетью синхронизации (как определено в [ITU-T O.172]). Выходной сигнал генерирования шума фазового дрейфа должен соответствовать требованиям к интерфейсам синхронизации, определенным в [ITU-T G.824] и [ITU-T G.823].

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Синтезатор на рисунке VI.1 необходим для изменения частоты асинхронных сигналов TDM (в рамках ограничений, установленных [ITU-T G.703]).

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – В настоящем Дополнении содержится набор тестов, предназначенных для оценки характеристик восстановления тактового сигнала в сетях с различной топологией, характеристиками трафика и искажениями. В то же время определяемые здесь тесты не являются исчерпывающими и не охватывают все возможные искажения, которые могут вызываться пакетной сетью. В дальнейшем могут быть определены дополнительные тесты, например:

- восстановление тактового сигнала в условиях присутствия объединения каналов связи, таких как [IEEE 802.lad];
- восстановление тактового сигнала в присутствии QoS;
- восстановление тактового сигнала в присутствии контроля потоков, такого как кадры паузы [b-IEEE 802.3x].

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Методики измерения для асинхронных сигналов приведены в Дополнении II [ITU-T G.823].

VI.2 Характеристики входящего трафика

Для того чтобы учитывать различные типы трафика в сети, определено два типа моделей возмущающего трафика, как описано в нижеследующих разделах VI.2.1 и VI.2.2.

Модель 1 сетевого трафика предназначена для моделирования трафика в сетях доступа, где большая часть трафика приходится на голосовые пакеты. Модель 2 сетевого трафика предназначена для моделирования трафика в сетях, где большая часть трафика приходится на пакеты данных.

Следует отметить, что трафик CES является дополнением к возмущающему трафику.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Способы ввода трафика должны определяться при проведении испытаний. Они должны учитывать такие аспекты, как способы смешивания трафика, типы коммутаторов Ethernet, принимающих трафик, скорость передачи пакетов в потоках CBR и т. д. В качестве примера способа смешивания трафика можно использовать следующий подход:

- пакеты с различными профилями размера поступают в случайном порядке с вероятностью 0,8, 0,15 и 0,05 соответственно. Процесс генерации случайных чисел имеет одно и то же независимое распределение (без корреляции), основанное на некоторой псевдослучайной двоичной последовательности (PRBS) с минимальным периодом 223-1 кадр.

Пакеты максимального размера поступают блоками продолжительностью от 0,1 с до 3 с. Длительность каждого блока выбирается случайным образом с помощью независимого генератора случайных чисел с равномерным распределением от 0,1 с до 3 с.

ПРИМЕЧАНИЕ 1А. – Предлагаются разные интерпретации того, как генерируются блоки трафика в следующих моделях сетевого трафика. Результат испытаний может зависеть от принятой конкретной интерпретации.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Трафик может вводиться последовательно (через один порт коммутатора Ethernet) или параллельно (через несколько портов коммутатора Ethernet) и в общем случае ожидается различное поведение. Вместе с тем когда статистика пакетов с минимальной задержкой не испытывает существенного влияния условий нагрузки, для случаев последовательного и параллельного ввода наблюдаются похожие статистические свойства колебания задержки пакетов на выходе пакетной сети. На статистику пакетов с минимальной задержкой могут повлиять следующие факторы:

- стратегия очереди в коммутаторах;
- количество коммутаторов в цепи;
- распределение статической и нестатической нагрузки.

В некоторых случаях испытаний (например, при испытаниях 2, 3, 13 и 14) трафик, вводимый в сеть с коммутацией пакетов, может приводить к очень низкой вариации частоты в зависимости от информации хронирования, передаваемой пакетами хронирования. В этом случае для того чтобы ослабить, отфильтровать или подавить такие низкочастотные эффекты ведомой CES, для PSC-A или PEC-S может потребоваться способность к низкочастотной фильтрации.

VI.2.1 Модель 1 сетевого трафика

В соответствии с 3GPP трафик в сети доступа состоит из разговорного (голосового), потокового (аудио-видео), интерактивного (например, http) и фоновый (короткие сообщения (sms), электронная почта) трафика. Известно, что в беспроводных сетях от 80 до 90% от общего трафика составляет разговорный трафик, причем средний вызов длится от 1 до 2 минут. Чтобы смоделировать такой трафик, 80% нагрузки должно приходиться на пакеты малого фиксированного размера с постоянной битовой скоростью, а 20% – на смесь из пакетов среднего и большого размера.

Профиль размера пакетов:

- 80% нагрузки должны составлять пакеты минимального размера (64 октета);
- 15% нагрузки должны составлять пакеты максимального размера (1518 октетов);
- 5% нагрузки должны составлять пакеты среднего размера (576 октетов).

Пакеты максимального размера встречаются в блоках длительностью от 0,1 с до 3 с.

VI.2.2 Модель 2 сетевого трафика

Сеть, обрабатывающая больше трафика данных, состоит из пакетов большего размера, чем модель 1 сетевого трафика. Чтобы смоделировать такой трафик, 60% нагрузки должно приходиться на пакеты максимального размера, а 40% – на смесь из пакетов минимального и среднего размеров.

Профиль размера пакетов:

- 60% нагрузки должны составлять пакеты максимального размера (1518 октетов);
- 30% нагрузки должны составлять пакеты минимального размера (64 октета);
- 10% нагрузки должны составлять пакеты среднего размера (576 октетов).

Пакеты максимального размера встречаются в блоках длительностью от 0,1 с до 3 с.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Модель 1 трафика основана на типовых характеристиках трафика сетей беспроводного доступа, которые основаны на технологиях подвижной связи первых поколений (GSM, WCDMA 3GPP до версии 4 и т. п.). В то же время бывают случаи, когда для того чтобы оптимизировать использование полосы пропускания в часы пик, пакеты на входе/выходе базовых станций с интерфейсом Ethernet объединяют в пакеты большего размера, в результате чего характеристики трафика приближаются к модели 2. В этом случае характеристики модели трафика могут изменяться со временем.

VI.3 Тестовые топологии для адаптивных методов

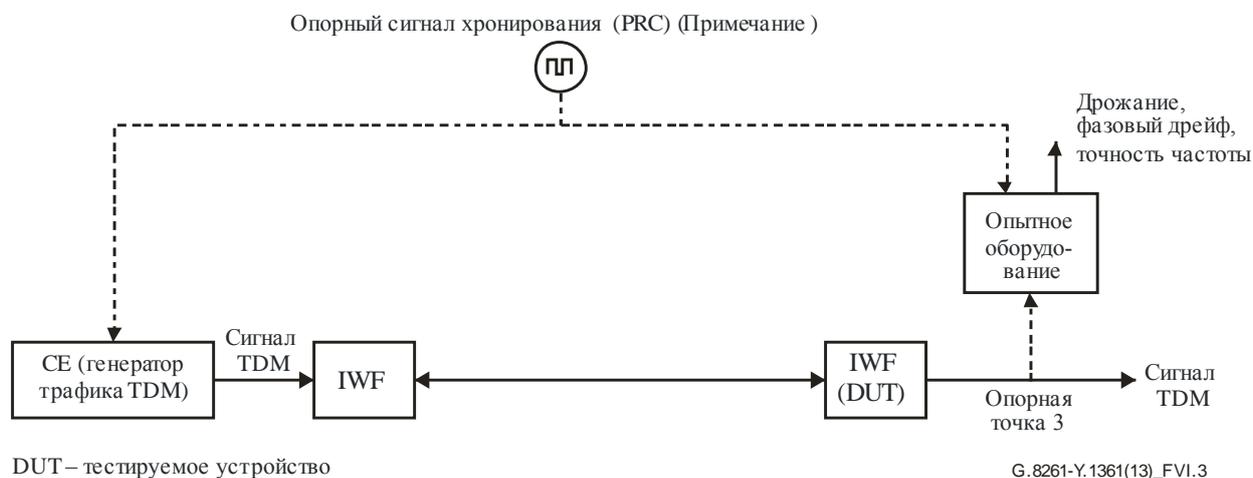
Описанные здесь тестовые топологии охватывают методы тестирования для методов синхронизации, применяемых в рамках настоящей Рекомендации.

Эти тесты определены в контролируемой среде (то есть не на местах).

ПРИМЕЧАНИЕ. – Случаи, представленные в настоящем разделе, относятся к испытаниям домена CES. Используя тот же подход, можно провести испытание домена PNT с использованием адаптивных методов восстановления тактового сигнала. Для этой цели может потребоваться некоторая адаптация настройки тестовых сценариев. Это предмет дальнейшего изучения.

VI.3.1 Базовый тест

Топология для базового теста показана на рисунке VI.3.



ПРИМЕЧАНИЕ. – Опорный сигнал хронирования (PRC) используется для предоставления тактового сигнала услуги TDM.

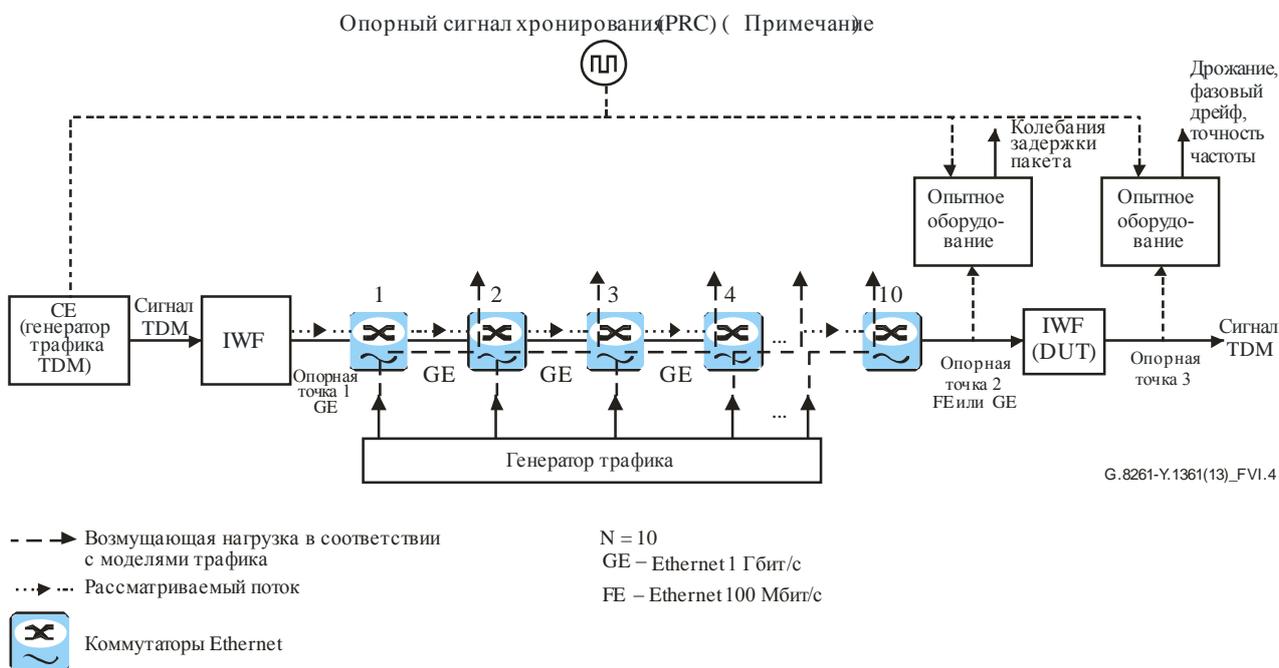
Рисунок VI.3 – Топология для базового теста

Базовый тест должен выполняться при соблюдении следующих условий:

- отсутствие пакетной нагрузки;
- тестовые измерения:
 - измерение TIE, MTIE и MRTIE (как описано в [ITU-T G.823] и [ITU-T G.824]);
 - измерение точности частоты (значение времени интегрирования для измерения точности частоты зависит от используемого окончного оборудования);
 - производительность должна соответствовать сетевым ограничениям для соответствующих случаев, как определено в разделе 9.

VI.3.2 Тест для измерения характеристик

Тест для измерения характеристик аналогичен модели А в Дополнении V в сочетании либо с 10-гигабитными, либо с 9-гигабитными коммутаторами Ethernet и одним коммутатором быстрого Ethernet (FE). Топология для этого теста показана на рисунке VI.4.



ПРИМЕЧАНИЕ. – Опорный сигнал хронирования (PRC) используется для представления тактового сигнала услуг TDM.

Рисунок VI.4 – Топология для измерения характеристик

Для выполнения этого теста при концентрации трафика с образованием затора необходима специальная топология, показанная на рисунке VI.5. Конфигурация этого вида создает эффект биений (см. рисунки 20 и 21).

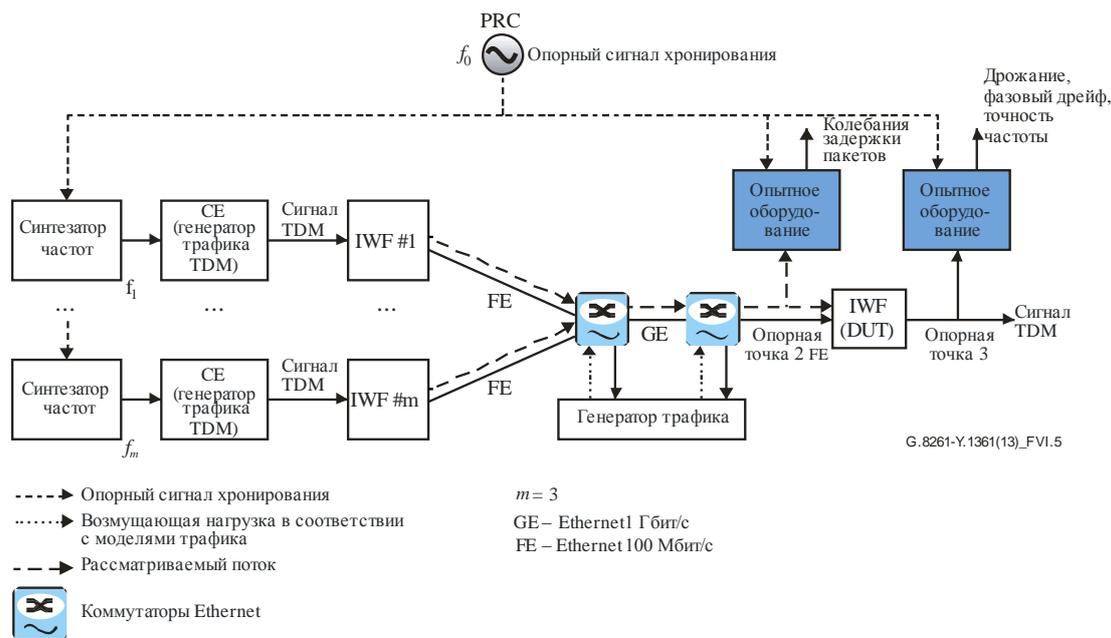


Рисунок VI.5 – Топология для измерения характеристик в случае концентрации трафика

Тестируемое устройство (DUT) должно проверяться на предмет стабильности работы в условиях возмущений, которые могут вызвать сбой синхронизации или сделать ее не соответствующей спецификации. Тестовые примеры, описанные в этом разделе, выполняются для проверки DUT в условиях вариации нагрузки, изменений в сети и потери пакетов.

Для каждого из тестовых примеров, описанных в настоящем разделе, следует выполнять следующие измерения:

- ПТЕ, МПТЕ и МРПТЕ (как описано в [ITU-T G.823] и [ITU-T G.824]);
- точности частоты (значение времени интегрирования для измерения точности частоты зависит от используемого оконечного оборудования);
- колебания задержки пакетов;
- характеристики должны соответствовать сетевым ограничениям для соответствующих случаев, как определено в разделе 9.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Тест, организованный как показано на рисунке VI.4, дает отправную точку для выполнения общего сценария тестирования.

Вместе с тем для того чтобы получить более простую в плане реализации тестовую среду и исключить риск получения разных результатов при использовании коммутаторов Ethernet, основанных на разных технологиях, предлагается заменить спецификацию, определенную на рисунке VI.4, другой организацией теста, где колебания задержки создаются не коммутаторами Ethernet и генератором трафика, а тестовым оборудованием, входными данными для которого служит профиль колебания задержки.

Профиль колебания задержки можно выразить применительно к тестовым векторам колебания задержки (тестовая последовательность) длительностью 15 минут, 60 минут и 24 часа. Колебания задержки должны быть выражены с достаточным разрешением временной шкалы хронирования.

Тестовые последовательности основываются на результатах тестов, выполненных с использованием тестовой топологии, показанной на рисунке VI.4.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – В дополнение к тестам, описанным в настоящем разделе, можно также рассмотреть детерминированные тестовые примеры. Это предмет дальнейшего изучения.

VI.3.2.1 Тестовый пример 1

В тестовом примере 1 моделируется статическая пакетная нагрузка. При выполнении тестового примера 1 в сети должны выполняться следующие условия:

- возмущающая нагрузка на сеть 80% в течение 1 часа. Тестовые измерения начинаются после того, как восстановление тактового сигнала находится в стабильном состоянии. Руководство по периоду стабилизации приведено в Дополнении II. Для фонового возмущающего трафика нагрузки на сеть используется модель сетевого трафика 2, определенная в разделе VI.2.2.

VI.3.2.2 Тестовый пример 2

В тестовом примере 2 моделируются внезапные значительные и устойчивые изменения загрузки сети. Он демонстрирует стабильность в случае внезапных значительных изменений сетевых условий и характеристики фазового дрейфа в случае присутствия низкочастотного PDV.

При выполнении тестового примера 2 в сети должны выполняться следующие условия:

- пакеты, нагружающие сеть, должны использовать модель 1 сетевого трафика, как определено в разделе VI.2.1;
- перед выполнением измерения обеспечить период стабилизации (в соответствии с Дополнением II), для того чтобы дать процессу восстановления тактового сигнала стабилизироваться;
- начать с возмущающей нагрузки на сеть на уровне 80% в течение 1 часа, затем понизить нагрузку до 20% на 1 час, увеличить до 80% на 1 час, снова понизить до 20% на 1 час, увеличить до 80% на 1 час и снова понизить до 20% на 1 час (см. рисунок VI.6);
- повторить тест с использованием для загрузки сети модели 2 сетевого трафика, определенной в разделе VI.2.2.

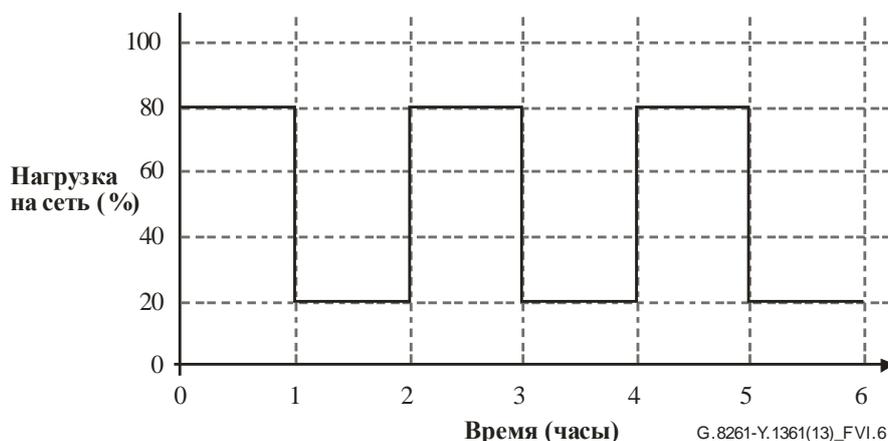


Рисунок VI.6 – Модуляция внезапной возмущающей нагрузки на сеть

VI.3.2.3 Тестовый пример 3

В тестовом примере 3 моделируется медленное изменение загрузки сети в чрезвычайно длительном масштабе времени. Он демонстрирует стабильность в условиях очень медленных изменений сетевых условий и характеристики фазового дрейфа в присутствии чрезвычайно низкочастотной PDV.

При выполнении тестового примера 3 в сети должны выполняться следующие условия:

- пакеты, нагружающие сеть, должны использовать модель 1 сетевого трафика, как определено в разделе VI.2.1;
- перед выполнением измерения обеспечить период стабилизации (в соответствии с Дополнением II), для того чтобы дать процессу восстановления тактового сигнала стабилизироваться;
- плавно изменять возмущающую нагрузку на сеть с 20 до 80% и обратно в течение 24-часового периода (см. рисунок VI.7);
- повторить тест с использованием для загрузки сети модели 2 сетевого трафика, определенной в разделе VI.2.2.

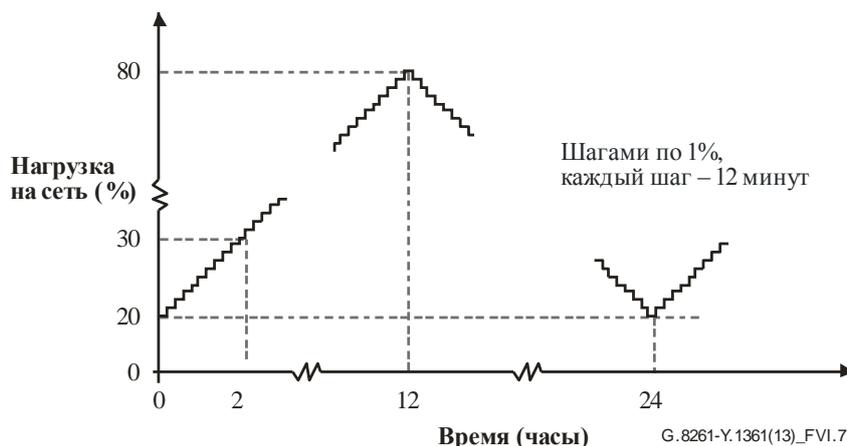


Рисунок VI.7 – Медленная модуляция загрузки сети

VI.3.2.4 Тестовый пример 4

В тестовом примере 4 моделируются временные отказы и восстановление сети в течение разных промежутков времени. Он демонстрирует способность сети переносить отказы и восстанавливать работоспособность. Следует отметить, что МТИЕ при перерыве в работе в 1000 с в значительной степени определяется качеством локального генератора, и его не следует считать показателем качества процесса восстановления тактового сигнала.

При выполнении тестового примера 4 в сети должны выполняться следующие условия:

- пакеты, нагружающие сеть, должны использовать модель 1 сетевого трафика, как определено в разделе VI.2.1;
- начать с возмущающей нагрузки на сеть на уровне 40%. По истечении периода стабилизации (в соответствии с Дополнением II) отключить сетевое соединение на 10 с, затем восстановить его. Обеспечить период стабилизации (в соответствии с Дополнением II) перед выполнением измерений, для того чтобы дать процессу восстановления тактового сигнала стабилизироваться. Повторить с прерыванием сетевого соединения на 100 с;
- повторить тест с использованием для загрузки сети модели 2 сетевого трафика, определенной в разделе VI.2.2.

VI.3.2.5 Тестовый пример 5

В тестовом примере 5 моделируются временные заторы в сети и их устранение в течение разных промежутков времени. Он демонстрирует способность пакетной сети переносить временные заторы.

При выполнении тестового примера 5 в сети должны выполняться следующие условия:

- пакеты, нагружающие сеть, должны использовать модель 1 сетевого трафика, как определено в разделе VI.2.1;
- начать с возмущающей нагрузки на сеть на уровне 40%. По истечении периода стабилизации (в соответствии с Дополнением II) увеличить возмущающую нагрузку на сеть до 100% (включая значительные задержки и потерю пакетов) на 10 с, затем восстановить прежнее значение. Обеспечить период стабилизации (в соответствии с Дополнением II) перед выполнением измерений, для того чтобы дать процессу восстановления тактового сигнала стабилизироваться. Повторить с периодом затора 100 с;
- повторить тест с использованием для загрузки сети модели 2 сетевого трафика, определенной в разделе VI.2.2.

VI.3.2.6 Тестовый пример 6

В тестовом примере 6 моделируются изменения маршрутизации.

При выполнении тестового примера 6 в сети должны выполняться следующие условия:

- изменять количество коммутаторов между DUT, вызывая ступенчатое изменение задержки пакетов в сети:
 - пакеты, нагружающие сеть, должны использовать модель 1 сетевого трафика, как определено в разделе VI.2.1;
 - начать с возмущающей нагрузки на сеть на уровне 40%. По истечении периода стабилизации (в соответствии с Дополнением II) перемаршрутизировать трафик в обход одного коммутатора на пути трафика. Это делается путем изменения опытной установки, изображенной на рисунке VI.4, с добавлением кабеля от коммутатора в позиции n до коммутатора в позиции $n + 2$ и либо с использованием катушки волоконно-оптического кабеля, либо с добавлением источника задержки, способного имитировать кабель различной длины (в качестве типичных примеров можно имитировать задержки на 10 мкс и 200 мкс). Конфигурация должна быть такой, чтобы поток тестового трафика направлялся по новой линии от коммутатора в позиции n прямо к коммутатору в позиции $n + 2$.
Отсоединив кабель, соединяющий коммутатор n с коммутатором $n + 2$ (так, чтобы тестовый трафик направлялся от коммутатора n к коммутатору $n + 1$), выждать период стабилизации согласно Дополнению II, чтобы процесс восстановления тактового сигнала стабилизировался, а затем вновь подсоединить кабель для восстановления трафика по первоначальному пути;
 - начать с возмущающей нагрузки на сеть на уровне 40%. По истечении периода стабилизации (в соответствии с Дополнением II) перемаршрутизировать трафик в обход трех коммутаторов на пути трафика. Это делается путем изменения опытной установки, изображенной на рисунке VI.4, с добавлением кабеля от коммутатора в позиции n до коммутатора в позиции $n + 4$ и либо с использованием катушки волоконно-оптического

кабеля, либо с добавлением источника задержки, способного имитировать кабель различной длины (в качестве типичных примеров можно имитировать задержки на 10 мкс и 200 мкс). Конфигурация должна быть такой, чтобы поток тестового трафика направлялся по новой линии от коммутатора в позиции n прямо к коммутатору в позиции $n + 4$.

Отсоединив кабель, соединяющий коммутатор n с коммутатором $n + 4$ (так, чтобы тестовый трафик направлялся от коммутатора n к коммутатору $n + 1$), выждать период стабилизации согласно Дополнению II, чтобы процесс восстановления тактового сигнала стабилизировался, а затем вновь подсоединить кабель для восстановления трафика по первоначальному пути;

- повторить тест с использованием для загрузки сети модели 2 сетевого трафика, определенной в разделе VI.2.2.

VI.3.2.7 Тестовый пример 7

В тестовом примере 7 моделируется эффект биений, вызванный концентрацией трафика от TDM-источников разной частоты. В частности, этот тестовый пример относится к TDM-потокам CES, связанным с битовым потоком 2048 Мбит/с или 1544 Мбит/с. Схема испытательной установки показана на рисунке VI.5 и должна использоваться при следующих условиях работы сети:

- возмущающая нагрузка на сеть на уровне 60% в течение всего периода испытаний. Измерения начинаются после восстановления тактового сигнала в установившемся состоянии и проводятся более 24 часов. Руководство по периоду стабилизации приведено в Дополнении II; для возмущающего фоновое трафика нагрузки на сеть должна использоваться модель 2 сетевого трафика, определенная в разделе VI.2.2;
- для тестирования случая асинхронных услуг применяются следующие частоты, получаемые от синтезаторов частот:

$$f_1 = f_0;$$

$$f_2 = f_0 + 1 \text{ ppm};$$

$$f_3 = f_0 - 50 \text{ ppm (сигналы 2048 кбит/с) или } f_0 - 32 \text{ ppm (сигналы 1544 кбит/с)};$$

- на выходе IWF справа (опорная точка 3) выбрать выходной сигнал TDM, передаваемый IWF #0, для измерения соответствующих предельных значений дрожания и фазового дрейфа и выходной сигнал TDM, передаваемый IWF #3, для измерения асинхронного рабочего тактового сигнала;
- запустить тест снова со следующими частотами для проверки тактовых сигналов при удержании синхронизации в сочетании с асинхронными услугами:

$$f_1 = f_0;$$

$$f_2 = f_0 + 16 \text{ ppb};$$

$$f_3 = f_0 - 50 \text{ ppm (сигналы 2048 кбит/с) или } f_0 - 32 \text{ ppm (сигналы 1544 кбит/с)}.$$

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Размер пакетов должен быть одинаковым для всех потоков пакетов CES.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Тот же сценарий можно использовать и для тестирования различных битовых потоков TDM CES (например, DS3 CES).

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Другие тестовые примеры, основанные на этом сценарии (например, нестатические тесты, в которых сдвиг частоты меняется со временем), подлежат дальнейшему изучению.

VI.3.2.8 Тестовый пример 8

В тестовом примере 8 моделируется механизм, зависящий от топологии, в пакетных сетях, в которых пакеты могут задерживаться больше, чем можно было бы ожидать, исходя только из соображений объема трафика (см. пункт 10.1.2.6).

Используется схема тестовой сети, описанная в разделе VI.3.2, рисунок VI.4, со следующим изменением: имеется только один источник возмущающего трафика, который подключен к коммутатору 1, и этот трафик пересекает всю сеть и выходит из отдельного порта коммутатора 10, вливаясь в трафик, чувствительный ко времени.

- Часть А тестового примера

Этот тест аналогичен тестовому примеру 3 (раздел VI.3.2.3). Он проверяет работу сети при постепенном увеличении и уменьшении интенсивности трафика в присутствии блокирующего эффекта, как описано в пункте 10.1.2.6. Вместе с тем чтобы продемонстрировать устойчивость к данному конкретному эффекту, не обязательно опускаться до той же крайне низкой частоты, как в тестовом примере 3 и, следовательно, выполнять такие длительные прогоны теста.

Начать с интенсивности возмущающего трафика 0%, используя модель 2 сетевого трафика. Обеспечить начальный период стабилизации в соответствии с Дополнением II. Затем повышать интенсивность трафика с шагом в 1% в минуту до достижения нагрузки 50%. Вновь уменьшить нагрузку до 0% шагами по 1%.

- Часть В тестового примера

Этот тест аналогичен тестовому примеру 2 (раздел VI.3.2.2). Он проверяет работу сети при внезапном увеличении и уменьшении интенсивности трафика в присутствии блокирующего эффекта, как описано в пункте 10.1.2.6.

Начать с интенсивности возмущающего трафика 0%, используя модель 2 сетевого трафика. Обеспечить начальный период стабилизации в соответствии с Дополнением II. Затем увеличить интенсивность трафика до 50% на 1 час. Повторить три раза.

VI.4 Тестовые топологии для дифференциальных методов

Тестовая топология показана на рисунке VI.8.

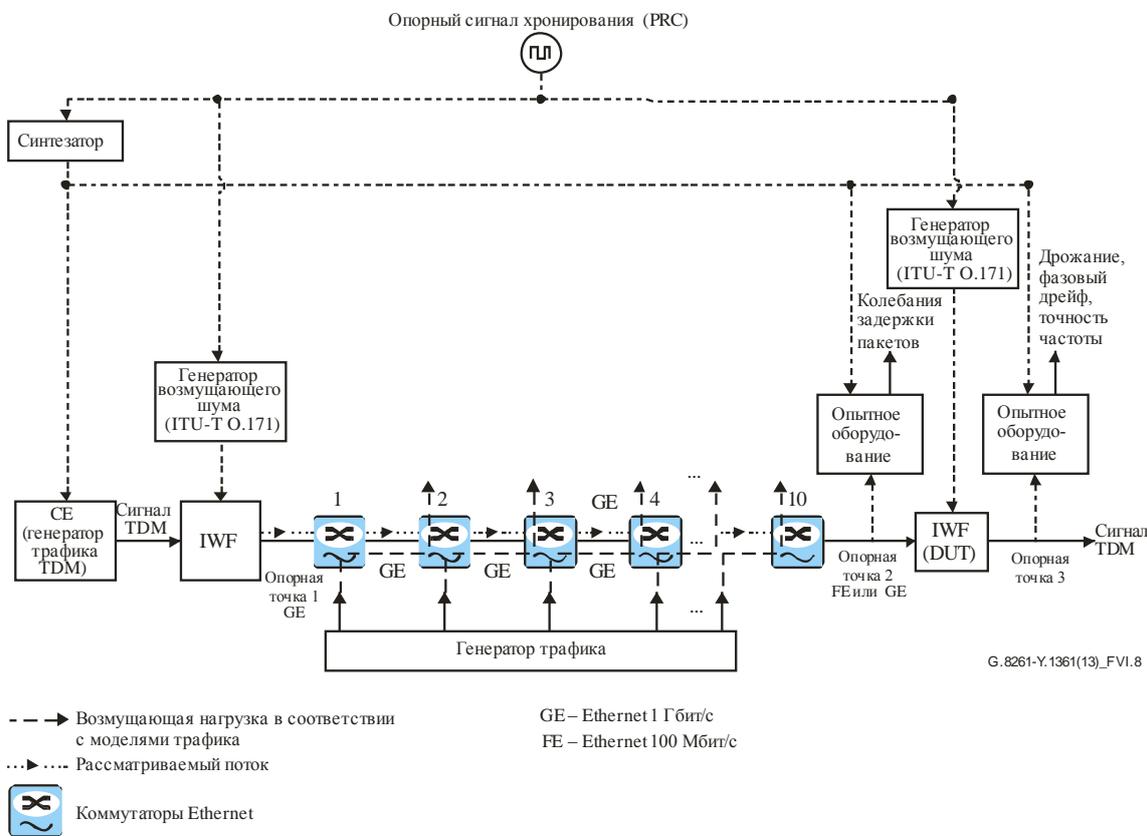


Рисунок VI.8 – Топология для моделирования характеристик дифференциального метода восстановления тактового сигнала

ПРИМЕЧАНИЕ. – Сдвиг частоты относительно PRC, введенный синтезатором, для всех тестовых примеров должен составлять + (или –) 50 ppm (2048 кбит/с) и + (или –) 32 ppm (1544 кбит/с).

VI.4.1 Тестовый пример 9

В тестовом примере 9 моделируются характеристики дифференциального метода восстановления тактового сигнала при статической нагрузке. Для тестового примера 9 должны применяться следующие условия сети:

- нагрузка возмущающего сетевого трафика с интенсивностью 80% в течение 1 часа. Тестовые измерения начинаются после восстановления тактового сигнала в стабильном состоянии. Руководство по периоду стабилизации приведено в Дополнении II. Для возмущающего фоновое трафика нагрузки на сеть используется модель 2 сетевого трафика, определенная в разделе VI.2.2.

VI.4.2 Тестовый пример 10

В тестовом примере 10 моделируются характеристики дифференциального метода восстановления тактового сигнала с добавлением шума в опорный сигнал хронирования в IWF. Он используется для имитации шума, создаваемого сетью синхронизации (как описано в [ITU-T O.172]).

Для тестового примера 10 должны применяться следующие условия сети:

- ввести шум фазового дрейфа в соответствии с Приложением С [ITU-T O.172] для имитации шума фазового дрейфа, создаваемого сетью синхронизации. Фактические значения параметров шума фазового дрейфа зависят от приложения (например, E1, DS1). Соответствующие маски шума фазового дрейфа подлежат дальнейшему изучению;
- возмущающая нагрузка сетевого трафика с интенсивностью 80% в течение 1 часа, при условии что процесс восстановления тактового сигнала проходит в установившемся режиме. Перед измерениями обеспечить период стабилизации процесса восстановления тактового сигнала в соответствии с Дополнением II. Для пакетов возмущающего трафика нагрузки на сеть используется модель 2 сетевого трафика, определенная в разделе VI.2.2.

VI.4.3 Тестовый пример 11

В тестовом примере 11 моделируются характеристики дифференциального метода восстановления тактового сигнала с периодами временной перегрузки и восстановления сети разной продолжительности. Он демонстрирует способность пакетной сети переносить временные перегрузки.

Для тестового примера 11 должны применяться следующие условия сети:

- для пакетов возмущающего трафика нагрузки на сеть используется модель 1 сетевого трафика, определенная в разделе VI.2.1;
- начать с возмущающей нагрузки на сеть на уровне 40%. По истечении периода стабилизации в соответствии с Дополнением II увеличить возмущающую нагрузку до 100% (что вызовет серьезные задержки и потерю пакетов) на 10 с, затем восстановить прежнюю нагрузку. Обеспечить период стабилизации процесса восстановления тактового сигнала в соответствии с Дополнением II. Повторить перегрузку с периодом 100 с.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Для дифференциального метода также подходят следующие тестовые примеры: удержание синхронизации (потеря опорного сигнала хронирования); различные случаи QoS. Это предмет дальнейшего изучения.

VI.5 Тестирование двусторонних протоколов

Описанные здесь топологии тестов охватывают методы тестирования протоколов двусторонней синхронизации, применяемых в рамках настоящей Рекомендации, (таких как протоколы распределения времени).

Эти тесты определены в контролируемой среде (то есть не на местах).

VI.5.1 Базовый тест

Топология для базового теста показана на рисунке VI.9.

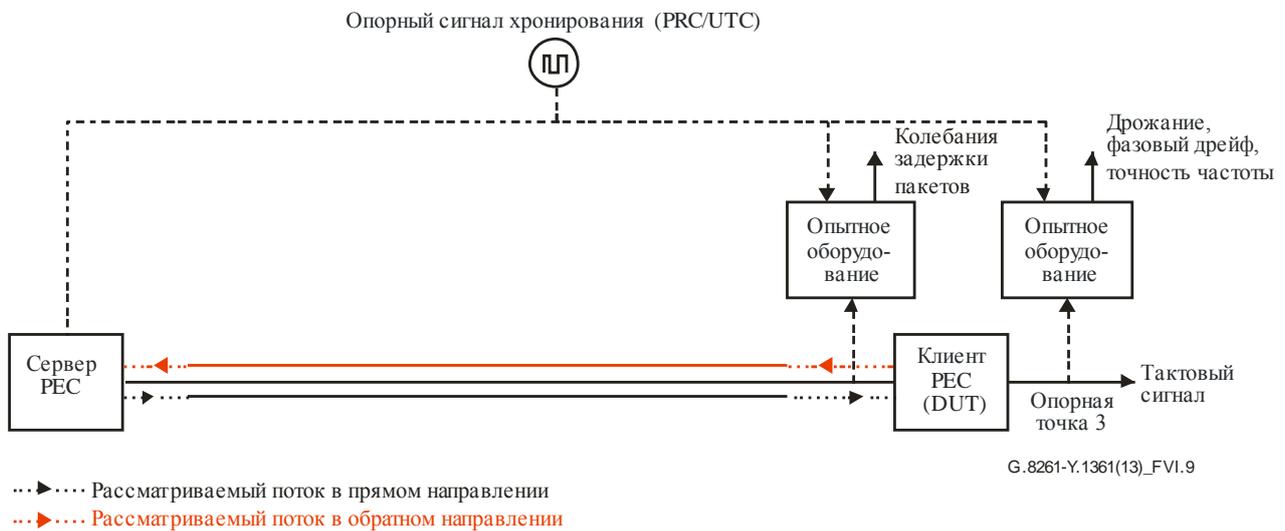


Рисунок VI.9 – Топология для двустороннего базового теста

Базовый тест должен выполняться при соблюдении следующих условий:

- отсутствие пакетной нагрузки;
- контрольные измерения:
 - измерить TIE, MTIE и MRTIE (как описано в [ITU-T G.823] и [ITU-T G.824]);
 - измерить точность частоты (значение времени интегрирования для измерения точности частоты зависит от окончного оборудования);
 - измерить точность ToD от пика до пика;
 - рабочие характеристики должны соответствовать сетевым ограничениям для соответствующих случаев, указанных в разделе 9.

VI.5.2 Определение рабочих характеристик

Определение рабочих характеристик выполняется так же, как для модели А из Дополнения V, с использованием либо 10 коммутаторов GE, либо 9 коммутаторов GE и коммутатора FE. Тестовая топология показана на рисунке VI.10.

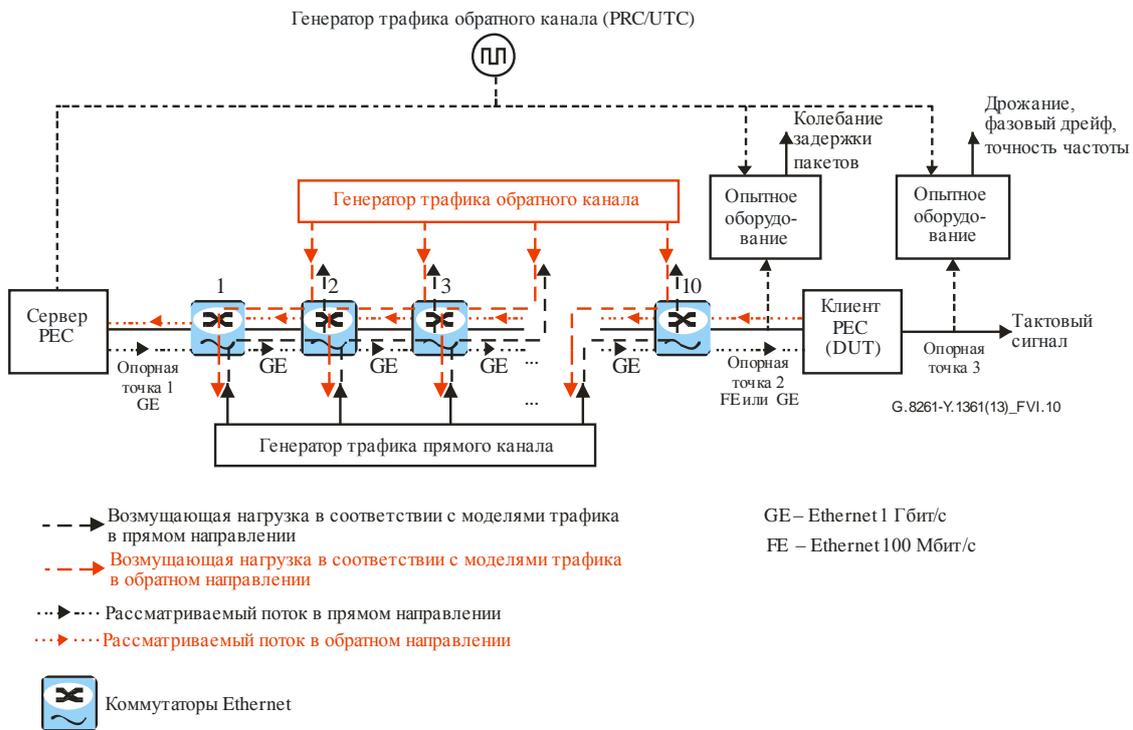


Рисунок VI.10 – Топология для определения рабочих характеристик двусторонних протоколов

DUT должно тестироваться на стабильность работы при возмущениях, которые могут привести к потере синхронизации или выходу за пределы диапазона допустимых рабочих характеристик. Тестовые примеры в настоящем разделе выполняются для проверки DUT при изменении нагрузки или конфигурации сети и при потере пакетов.

Для каждого из тестовых примеров, описываемых в настоящем разделе, проводятся следующие измерения:

- измерение TPE, MPE и MRTPE (как описано в [ITU-T G.823] и [ITU-T G.824]);
- измерение точности частоты (значение времени интегрирования для измерения точности частоты зависит от окончного оборудования);
- измерение колебания задержки пакетов;
- измерение точности ToD от пика до пика;
- рабочие характеристики должны соответствовать сетевым ограничениям для соответствующих случаев, определенных в разделе 9.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Опытная установка, показанная на рисунке VI.10, служит отправной точкой для общего сценария тестирования.

Тем не менее чтобы получить более простую в реализации тестовую среду и исключить риск получения разных результатов при использовании коммутаторов Ethernet, основанных на разных технологиях, обсуждается предложение о замене спецификации, приведенной на рисунке VI.10, новой установкой, в которой вместо коммутаторов Ethernet и генератора трафика для изменения задержки используется опытное оборудование, в которое вводится профиль колебания задержки.

Этот профиль может быть представлен в форме тестовых векторов колебаний задержки (тестовой последовательности) продолжительностью 15 минут, 60 минут и 24 часа. Колебания задержки должны выражаться с надлежащим временным разрешением.

Тестовые последовательности основываются на результатах испытаний, проведенных с использованием тестовой топологии, показанной на рисунке VI.10.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – В дополнение к тестам, описанным в этом разделе, можно также рассмотреть детерминированные тестовые примеры. Это предмет дальнейшего изучения.

VI.5.2.1 Характеристики входящего трафика

Здесь для тестирования двусторонних протоколов повторно используются модели трафика 1 и 2, определенные в разделах VI.2.1 и VI.2.2.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Определение особых условий для тестирования на асимметрию подлежит дальнейшему изучению. Простая опытная установка также позволяет рассматривать постоянную задержку в одном направлении.

VI.5.2.2 Тестовый пример 12

В тестовом примере 12 моделируется статическая нагрузка трафика пакетов. Для тестового примера 12 должны применяться следующие условия сети:

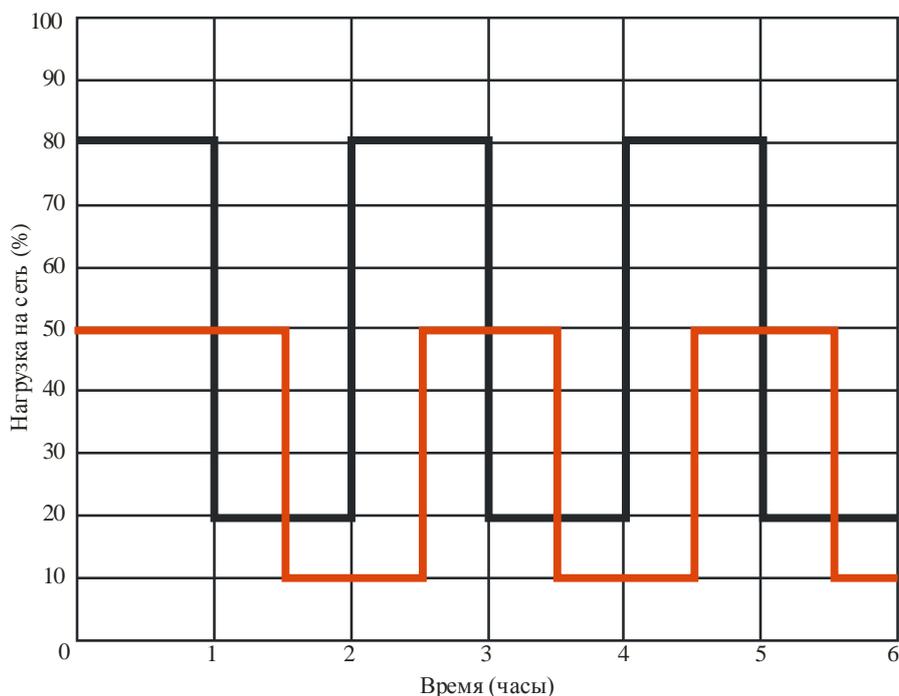
- возмущающая нагрузка на сеть 80% в прямом направлении (от сервера к клиенту) и 20% в обратном направлении (от клиента к серверу) в течение 1 часа. Тестовые измерения следует начать после восстановления тактового сигнала в стабильном состоянии. Руководство по периоду стабилизации приведено в Дополнении II. Для возмущающего фоновый трафика нагрузки на сеть используется модель 2 сетевого трафика, определенная в разделе VI.2.2.

VI.5.2.3 Тестовый пример 13

В тестовом примере 13 моделируются внезапные серьезные и постоянные изменения нагрузки на сеть. Он демонстрирует стабильность при неожиданных сильных изменениях условий сети и характеристики фазового дрейфа в присутствии низкочастотных PDV.

Для тестового примера 13 должны применяться следующие условия сети:

- для пакетов возмущающего трафика нагрузки на сеть используется модель 1 сетевого трафика, определенная в разделе VI.2.1;
- перед измерениями обеспечить период стабилизации процесса восстановления тактового сигнала в соответствии с Дополнением II;
- в **прямом** направлении – начать с возмущающей нагрузки на сеть 80% в течение 1 часа, уменьшить ее до 20% на 1 час, вновь увеличить до 80% на 1 час, вновь уменьшить до 20% на 1 час, вновь увеличить до 80% на 1 час и вновь уменьшить до 20% на 1 час. Одновременно в **обратном** направлении – начать с возмущающей нагрузки на сеть 50% в течение 1,5 часа, уменьшить ее до 10% на 1 час, вновь увеличить до 50% на 1 час, вновь уменьшить до 10% на 1 час, вновь увеличить до 50% на 1 час и вновь уменьшить до 10% на 0,5 часа (см. рисунок VI.11);



G.8261-Y.1361(08)_FVI.11

Рисунок VI.11 – Модуляция с внезапным изменением нагрузки двустороннего возмущающего трафика

- повторить тест, используя для загрузки сети модель 2 сетевого трафика, определенную в разделе VI.2.2.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Генераторы трафика в опытной установке независимы, поэтому форма трафика, показанная на рисунке VI.11, может дрейфовать со временем.

VI.5.2.4 Тестовый пример 14

В тестовом примере 14 моделируется медленное изменение нагрузки на сеть за чрезвычайно длительные интервалы времени. Он демонстрирует стабильность при очень медленных изменениях условий сети и характеристики фазового дрейфа в присутствии крайне низкочастотных PDV.

Для тестового примера 14 должны применяться следующие условия сети:

- для пакетов возмущающего трафика загрузки сети используется модель 1 сетевого трафика, определенная в разделе VI.2.1;
- перед измерениями обеспечить период стабилизации процесса восстановления тактового сигнала в соответствии с Дополнением II;
- в **прямом** направлении – плавно изменять возмущающую нагрузку на сеть от 20 до 80% и обратно в течение 24-часового периода. Одновременно в **обратном** направлении – плавно изменять возмущающую нагрузку на сеть от 10 до 55% и обратно в течение 24-часового периода (см. рисунок VI.12);

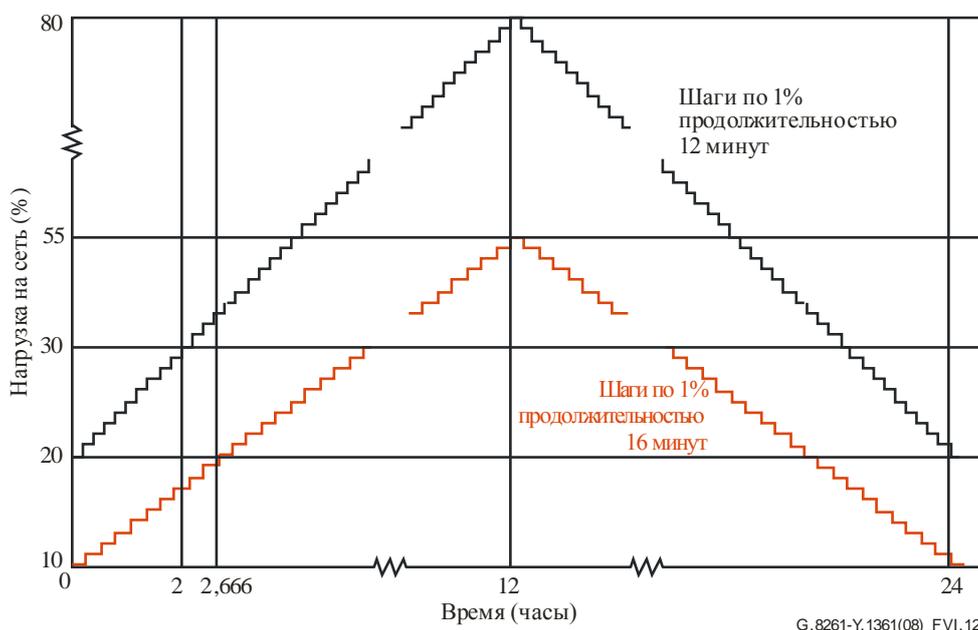


Рисунок VI.12 – Медленная модуляция нагрузки на сеть для двустороннего трафика

- повторить тест, используя для загрузки сети модель 2 сетевого трафика, определенную в разделе VI.2.2.

VI.5.2.5 Тестовый пример 15

В тестовом примере 15 моделируются периоды временного отключения и восстановления сети разной продолжительности. Он демонстрирует переносимость периодов отключения и восстановления сети. Следует отметить, что МТИЕ прерывания свыше 1000 с в основном определяется качеством локального генератора, и ее не следует рассматривать как показатель качества процесса восстановления синхронизации.

Для тестового примера 15 должны применяться следующие условия сети:

- для пакетов возмущающего трафика нагрузки на сеть используется модель 1 сетевого трафика, определенная в разделе VI.2.1;
- начать с возмущающей нагрузки на сеть 40% в **прямом** направлении и 30% в **обратном** направлении. После периода стабилизации в соответствии с Дополнением II разорвать сетевое соединение на 10 с, а затем восстановить его. Обеспечить период стабилизации процесса восстановления тактового сигнала в соответствии с Дополнением II. Повторить с прерываниями соединения на 100 с;
- повторить тест, используя для загрузки сети модель 2 сетевого трафика, определенную в разделе VI.2.2.

VI.5.2.6 Тестовый пример 16

В тестовом примере 16 моделируются периоды временной перегрузки и восстановления сети разной продолжительности. Он демонстрирует способность переносить временные перегрузки в пакетной сети.

Для тестового примера 16 должны применяться следующие условия сети:

- для пакетов возмущающего трафика нагрузки на сеть используется модель 1 сетевого трафика, определенная в разделе VI.2.1;
- начать с возмущающей нагрузки на сеть 40% в **прямом** направлении и 30% в **обратном** направлении. По истечении периода стабилизации в соответствии с Дополнением II увеличить возмущающую нагрузку до 100% в обоих направлениях (что вызовет серьезные задержки и потерю пакетов) на 10 с, затем восстановить прежнюю нагрузку. Обеспечить период стабилизации процесса восстановления тактового сигнала в соответствии с Дополнением II. Повторить перегрузку с периодом 100 с;

- повторить тест, используя для загрузки сети модель 2 сетевого трафика, определенную в разделе VI.2.2.

VI.5.2.7 Тестовый пример 17

В тестовом примере 17 моделируются изменения маршрутизации, вызванные отказами в сети.

Для тестового примера 17 должны применяться следующие условия сети:

- изменить количество коммутаторов между DUT, что вызовет резкое изменение задержки в пакетной сети. Для пакетов возмущающего трафика нагрузки на сеть используется модель 1 сетевого трафика, определенная в разделе VI.2.1:
 - изменить опытную установку, показанную на рисунке VI.10, добавив кабель, соединяющий коммутатор в позиции n с коммутатором в позиции $n + 2$ (на рисунке VI.13 показан пример, в котором $n = 1$ и обойден коммутатор 2). Таким образом, трафик (в обоих направлениях) перенаправляется в обход одного из коммутаторов. Это делается с помощью катушки волоконно-оптического кабеля или путем добавления источника задержки, позволяющего моделировать кабели различной длины (как типичные примеры могут моделироваться задержки 10 мкс и 200 мкс). Конфигурация должна быть такой, чтобы поток тестового трафика направлялся по новой линии от коммутатора в позиции n прямо к коммутатору в позиции $n + 2$;
 - начать с возмущающей нагрузки на сеть 40% в прямом направлении и 30% в обратном направлении;
 - после периода стабилизации в соответствии с Дополнением II отсоединить кабель от коммутатора n к коммутатору $n + 2$, чтобы направить тестируемый трафик через коммутатор $n + 1$ (на рисунке VI.14 показан пример, в котором $n = 1$, кабель между коммутатором 1 и коммутатором 3 удален и установлено соединение с коммутатором 2, чтобы трафик проходил через коммутатор 2);
 - обеспечить период стабилизации в соответствии с Дополнением II для стабилизации процесса восстановления тактового сигнала, а затем восстановить разомкнутое соединение, чтобы направить трафик по первоначальному пути;
- повторить тест с большим шагом фазового сдвига:
 - изменить опытную установку, показанную на рисунке VI.10, добавив кабель от коммутатора в позиции n к коммутатору в позиции $n + 4$. Таким образом трафик (в обоих направлениях) перенаправляется в обход трех коммутаторов. Это делается с помощью катушки волоконно-оптического кабеля или путем добавления источника задержки, позволяющего моделировать кабели различной длины (как типичные примеры могут моделироваться задержки 10 мкс и 200 мкс). Конфигурация должна быть такой, чтобы поток тестового трафика направлялся по новой линии от коммутатора в позиции n прямо к коммутатору в позиции $n + 4$;
 - применить возмущающую нагрузку на сеть 40% в прямом направлении и 30% в обратном направлении;
 - после периода стабилизации в соответствии с Дополнением II отсоединить кабель от коммутатора n , чтобы переключиться на коммутатор $n + 4$ (направив тестируемый трафик через коммутатор в позиции $n + 1$);
 - обеспечить период стабилизации в соответствии с Дополнением II для стабилизации процесса восстановления тактового сигнала, а затем восстановить разомкнутое соединение, чтобы направить трафик по первоначальному пути;

- повторить тест, используя для загрузки сети модель 2 сетевого трафика, определенную в разделе VI.2.2.

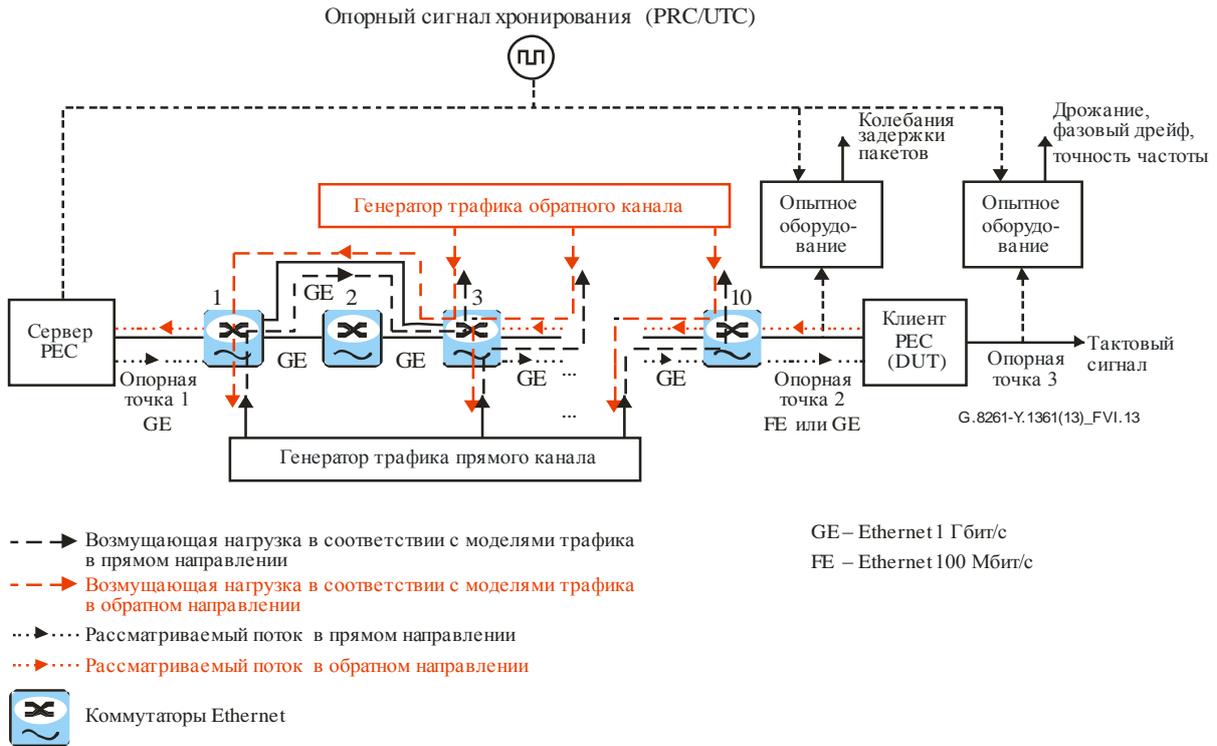


Рисунок VI.13 – Схема установки для тестового примера 17

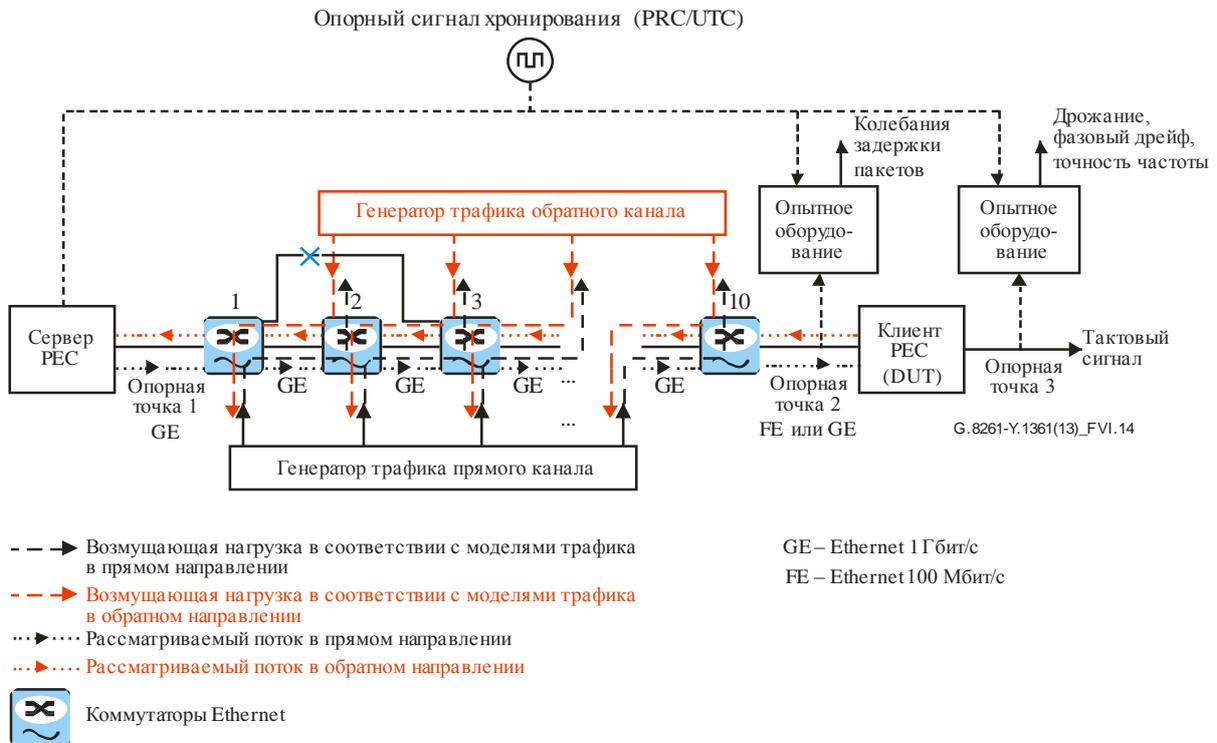


Рисунок VI.14 – Схема установки для тестового примера 17

Дополнение VII

Ограничения фазового дрейфа в случае 1 развертывания

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

VII.1 Ограничения для интерфейса 2048 кбит/с

Данные для таблицы 1 рассчитаны на основе следующих соображений с учетом Приложения А [ITU-T G.823].

Бюджет фазового дрейфа можно разделить на три основных компонента:

- суточный фазовый дрейф;
- асинхронное преобразование 2048 кбит/с;
- фазовый дрейф, вызванный шумом тактового сигнала и переходными процессами.

Суточный фазовый дрейф

Изменять его нет причин, и его амплитуда мала – 1 мкс.

Асинхронное преобразование 2048 кбит/с

Для расчета накопленного 2UI на один участок использовался среднеквадратический закон (RMS), три участка аккумулируют $\sqrt{3} * 2UI$, то есть 1,7 мкс вместо 2 мкс в исходной сетевой модели.

Фазовый дрейф, вызванный шумом тактового сигнала и переходными процессами

В соответствии с разделом I.1.5 [ITU-T G.823] процесс накопления может различаться в зависимости от величины сдвига частоты, который может повлечь за собой возникновение коррелированных или некоррелированных эффектов. Условлено, что накопление шума происходит по среднеквадратическому закону. Это означает, что каждый из четырех участков отвечает за половину бюджета фазового дрейфа, как указано в настоящей Рекомендации. В новой сетевой модели три участка SDH отвечают за $\sqrt{3}$ бюджета одного участка SDH в соответствии со среднеквадратическим законом накопления.

Общий объем фазового дрейфа, выделяемого [ITU-T G.823], равен 15 мкс, а моделирование дало результат 12,6 мкс.

Закон накопления между SDH и CES отличается от аналогичного закона между участками SDH.

Шум, генерируемый участком SDH, является результатом событий указателя VC-12, являющегося редким, по крайней мере для сдвига частоты в диапазоне от 10^{-9} до 10^{-10} , как установлено в разделе I.1.5 [ITU-T G.823]; результатом этого является очень низкая вероятность того, что событие данного указателя произойдет одновременно на нескольких участках.

Что касается шума на участке CES, то он сильно отличается от того, что наблюдается на участках SDH. Этот шум появляется в результате PDV.

Поскольку было показано, что среднеквадратический закон накопления применяется между участками CES и SDH, в новой модели предлагается использовать среднеквадратический закон накопления для трех участков SDH и линейный закон накопления для CES.

Таким образом, бюджет фазового дрейфа, который может быть выделен CES, равен:

$$18 - (1(\text{суточный фазовый дрейф}) + \sqrt{3} * 2UI(3 \text{ преобразования VC-12}) + 12,6/2 * \sqrt{3}(3 \text{ участка SDH})) = 4,3 \text{ мкс.}$$

Фазовый дрейф в размере 4,3 мкс выделяется CES на период 24 часа, а для другого плоского отрезка, получаемого из таблицы 2 [ITU-T G.823], шаблон фазового дрейфа уменьшается на коэффициент $4,3/18$ (0,24).

VII.2 Ограничения для интерфейса 1544 кбит/с

Эталонная модель фазового дрейфа и бюджет для 1544 кбит/с определены в [ITU-T G.824], и эта модель состоит из восьми участков SDH. Компонентами бюджета являются синхронизация коммутатора, преобразование между DS1 и DS3, преобразование между DS1 и VC-11, суточный фазовый дрейф (влияние температуры на оптическое волокно), шум и фазовый дрейф NE вследствие случайных указателей. Общий бюджет из 18 мкс (на 24 часа) допускает возникновение фазового дрейфа в 14,3 мкс между коммутаторами (см. рисунок А.1 [ITU-T G.824]) и подразделяется для приспособления к замене одного из участков SDH участком CES. Используемая процедура предполагает, что накопление фазового дрейфа преобразования, шума и фазового дрейфа синхронизации, возникающего из-за указателей, основывается на среднеквадратическом добавлении. На основе среднеквадратического добавления доступная каждому из восьми участков часть от 18 мкс (то есть 12,7, см. таблицу VII.1) теперь равна 4,5 мкс ($12,7/\sqrt{8}$).

Таблица VII.1 – Распределение бюджета фазового сдвига 1544 кбит/с по компонентам

| Компонент бюджета | Выделение | Часть, доступная для дальнейшего деления |
|--------------------------------------|-----------|--|
| Синхронизация коммутатора | 3,7 | |
| Соответствия E11–E31 | 0,3 | |
| Соответствия E11–VC-11 | 2,6 | 2,6 |
| Суточный фазовый дрейф (температура) | 1,3 | |
| Шум синхронизации NE/указатели | 10,1 | 10,1 |
| Всего | 18,0 | 12,7 |

Результирующий фазовый дрейф для каждого участка применительно к МТИЕ по всем периодам наблюдений до 24 часов приведен в таблице 2. Эта таблица основывается на равномерном приведении спецификации интерфейса в таблице 2 [ITU-T G.824]. Отметим, что в этой таблице также рассматриваются требования к дрожанию установления соответствий для отдельного участка VC-11 – 0,7 U_{pp}, как определено в [b-ITU-T G.783] (см. таблицу 15-3 [b-ITU-T G.783]).

Изучение накопления фазового дрейфа, предпринятое в целях выведения компонентов фазового дрейфа SDH, основывалось на расширенном моделировании, для того чтобы подтвердить, что требование 18 мкс может быть выполнено в эталонной модели SDH. Дальнейшие работы по моделированию могут потребоваться, когда сетевые модели и соответствия CES будут определены подробнее. Приведенные здесь цифры могут быть пересмотрены на основе результатов этих работ.

Дополнение VIII

Передача сообщений статуса синхронизации на физическом уровне синхронного Ethernet

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

SSM для синхронного Ethernet подробнее рассматривается в [ITU-T G.8264].

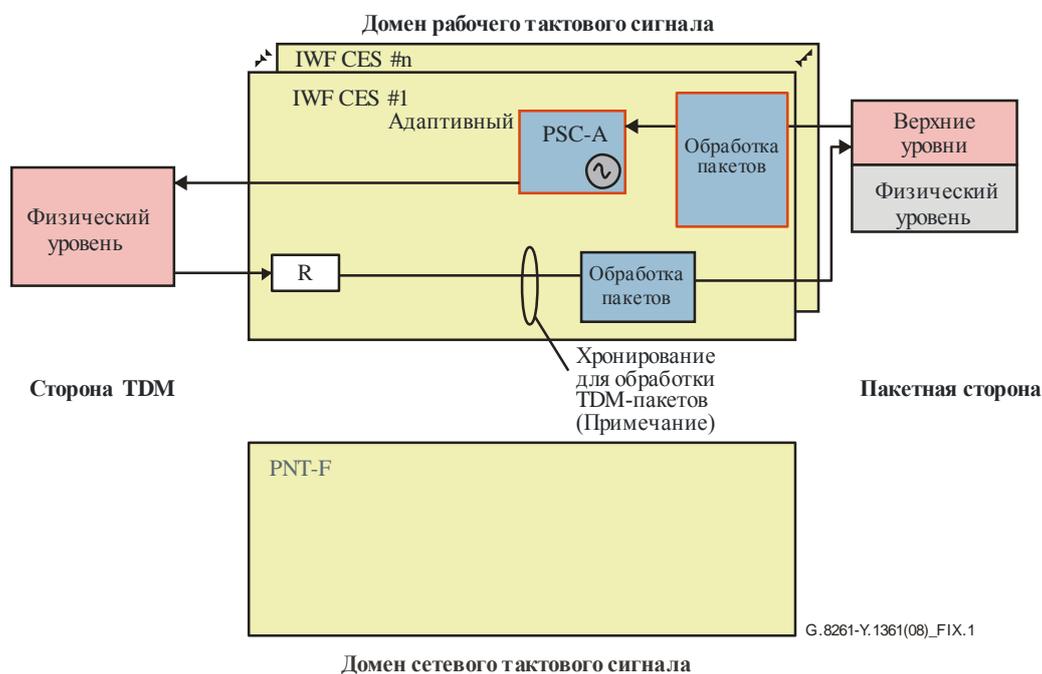
Дополнение IX

Примеры IWF

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

Ниже приведены примеры типовых приложений IWF.

На рисунке IX.1 показан случай, когда управление хронированием рабочего тактового сигнала осуществляется с помощью адаптивного метода и функция PNT не реализована (доступ к тактовому генератору сети отсутствует).



ПРИМЕЧАНИЕ. Это хронирование обеспечивает формирование исходящих пакетов и служит основой для формирования сообщений хронирования адаптивных методов.

Рисунок IX.1 – Адаптивный метод в IWF CES – функция PNT отсутствует

На следующих рисунках представлен пример рабочего и сетевого доменов в случае восстановления тактового сигнала TDM в соответствии с дифференциальным методом, когда общий опорный сигнал распространяется через синхронный Ethernet.

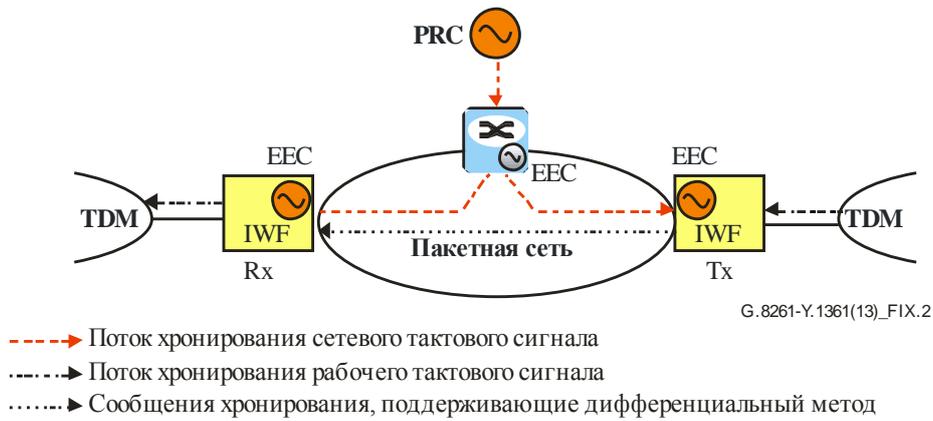


Рисунок IX.2 – Пример использования дифференциального метода, когда общий опорный сигнал распространяется по синхронному Ethernet

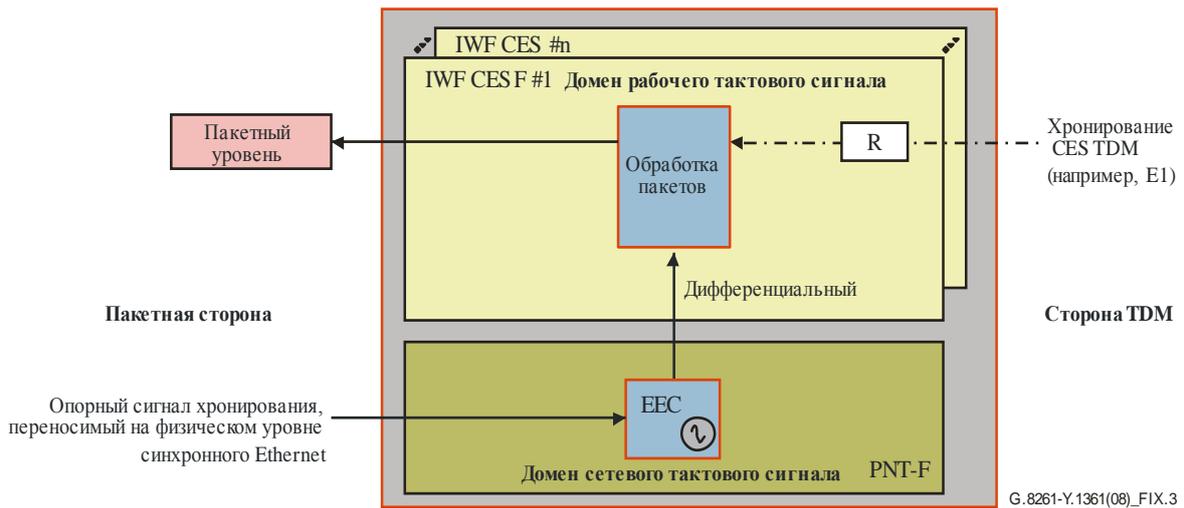
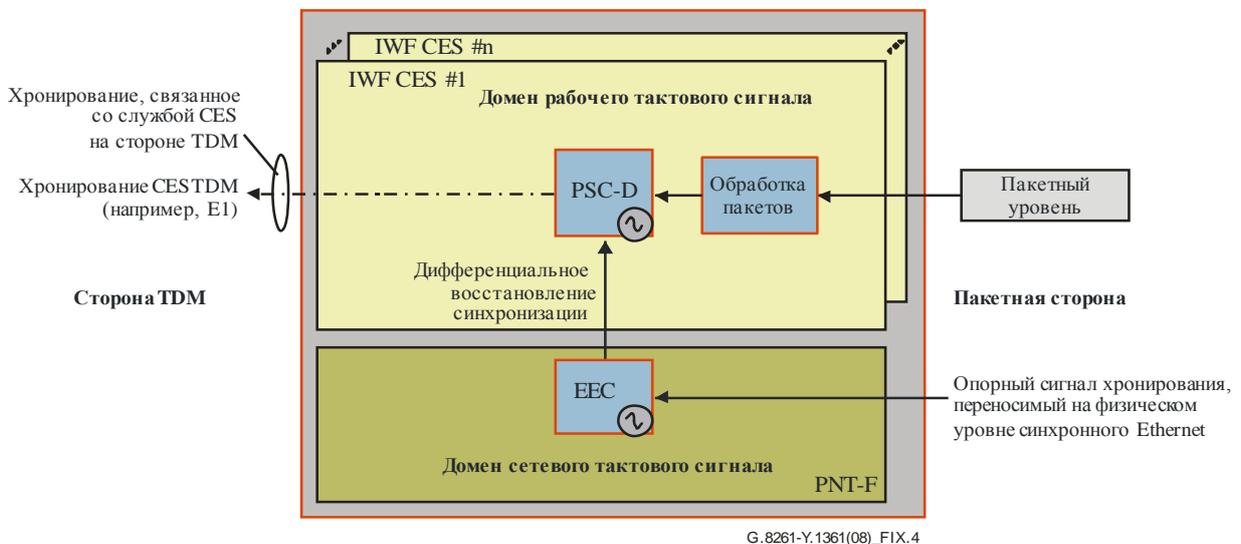


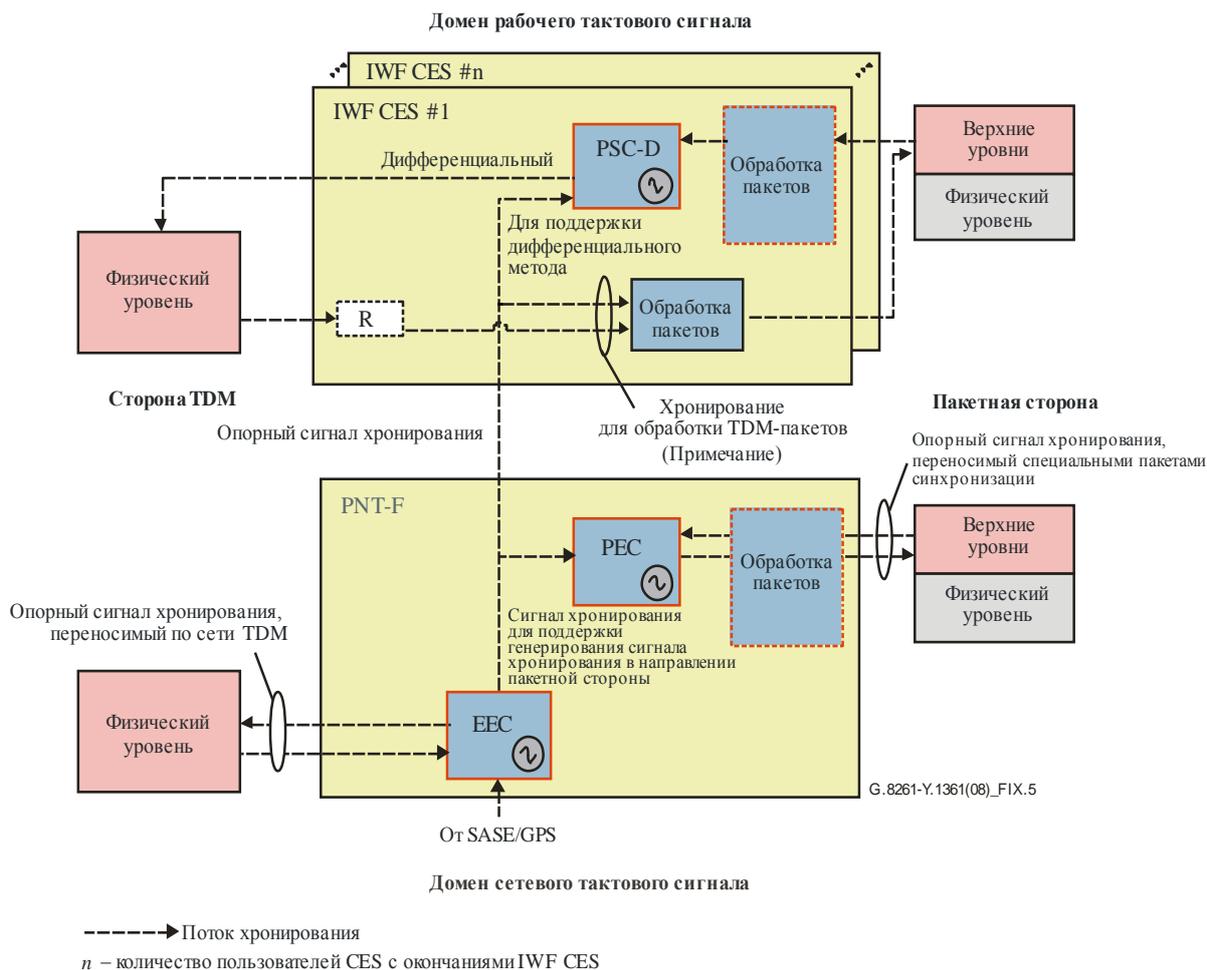
Рисунок IX.3 – Домены рабочего и сетевого тактового сигнала в IWF на стороне передачи (Tx)



PSC-D – рабочий тактовый сигнал на базе пакетной передачи (дифференциальный)

Рисунок IX.4 – Домены рабочего и сетевого тактового сигнала в IWF на стороне приема (Rx)

Следующий пример иллюстрирует процесс переноса сигнала хронирования сети по сети TDM. Затем этот сигнал хронирования используется для поддержки дифференциальной работы в IWF CES, а также для синхронизации PEC в целях создания меток времени, доставляемых по пакетной сети.



G.8261-Y.1361(08)_FIX.5

ПРИМЕЧАНИЕ. – Этот сигнал хронирования обеспечивает формирование исходящих пакетов и служит основой для формирования сообщений хронирования для адаптивных методов. Опорным сигналом хронирования, генерируемым PNT-F, и тем, который должен поддерживать дифференциальный метод, могут управлять тактовые сигналы разных EEC (например, SEC).

Рисунок IX.5 – Дифференциальный метод в IWF CES – EEC и PEC в PNT

Дополнение X

Аспекты измерения синхронного Ethernet по методикам МСЭ-Т по сравнению с измерениями дрожания IEEE

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

Спецификации и методики измерения дрожания в сети Ethernet отличаются от методик для SDH, так как используются разные способы хронирования. В синхронных системах, таких как SDH, компоненты системы синхронизированы с общим тактовым сигналом. В асинхронных системах, таких как Ethernet, хронирование компонентов обеспечивается либо распределенными тактовыми сигналами, либо тактовыми сигналами, извлеченными из данных. В этом случае дрожание, вызванное компонентами, необходимо ограничить, но дрожание, передаваемое от одного компонента к другому, менее важно, чем в синхронных системах, где дрожание может усиливаться от компонента к компоненту.

В системах SDH характеристика дрожания определяется с помощью трех измерений в разных тестовых конфигурациях – создание дрожания в ограниченной полосе, устойчивость к входному синусоидальному дрожанию и передача дрожания.

В Ethernet используется подход, при котором существует два механизма, вызывающих дрожание, а именно детерминированное дрожание и случайное дрожание. К передатчикам и приемникам предъявляются отдельные требования.

Таблица X.1 – Сравнение методов измерения дрожания МСЭ-Т и IEEE

| | SDH | Ethernet |
|--|--|---------------------------------------|
| Стандарт сети | [b-ITU-T G.783], [ITU-T G.825] | [IEEE 802.3] |
| Стандарт опытного оборудования | [ITU-T O.172] | |
| Цель измерения дрожания | Создание дрожания Устойчивость к входному дрожанию Передача дрожания | (Примечание 1) (Примечание 2) – |
| <p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Существует три возможных методики измерения выходного дрожания:</p> <ol style="list-style-type: none">1) измерение во временной области с помощью осциллографа для оценки характеристик глазковой диаграммы сигнала, восстановленного из данных (data eye);2) измерение во временной области с помощью BERT-сканирования путем перемещения точки измерения в пределах глазковой диаграммы сигнала, восстановленного из данных;3) анализ временных интервалов, основанный на точном измерении временного интервала между пересечениями пороговых уровней сигналом передатчика. <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Приемники подвергаются испытанию на чувствительность к возмущению (SRS). Этот тест рассчитан на подтверждение того, что при приеме наихудшего допустимого сигнала приемник может работать с коэффициентом ошибок по битам (BER) менее 10^{-12}. Этот тест аналогичен тесту на устойчивость к дрожанию. Тест SRS также называют "глазковый тест на возмущение" (stressed eye test) или "тест на устойчивость приемника" (receiver tolerance test). Тест SRS состоит из двух частей – глазковой маски с комбинацией возмущений и шаблона синусоидального дрожания, используемого для пошаговых измерений.</p> | | |

Дополнение XI

Соотношение между требованиями, содержащимися в настоящей Рекомендации и в других ключевых Рекомендациях, связанных с синхронизацией

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

МСЭ-Т утвердил следующее семейство Рекомендаций (серия G), в которых рассматриваются некоторые аспекты функций синхронизации TDM:

- ITU-T G.803 "Архитектура транспортных сетей, основанных на синхронной цифровой иерархии (SDH)". – В этой Рекомендации содержится описание функциональной архитектуры транспортных сетей, в том числе принципов синхронизации сетей, основанных на SDH.
- ITU-T G.810 "Определения и терминология для сетей синхронизации". – В этой Рекомендации содержатся определения и сокращения, используемые в Рекомендациях по хронированию и синхронизации.
- ITU-T G.823 "Управление фазовым дрожанием и дрейфом фазы в цифровых сетях, которые основаны на иерархии 2048 кбит/с". – В этой Рекомендации приведены максимальные сетевые ограничения для дрожания и фазового дрейфа, которые не должны превышать, и минимальные допуски для дрожания и фазового дрейфа для оборудования, которые должны обеспечиваться в любых соответствующих интерфейсах транспорта или синхронизации, основанных на иерархии 2048 кбит/с.
- ITU-T G.824 "Управление фазовым дрожанием и дрейфом фазы в цифровых сетях, которые основаны на иерархии 1544 кбит/с". – В этой Рекомендации приведены максимальные сетевые ограничения для дрожания и фазового дрейфа, которые не должны превышать, и минимальные допуски для дрожания и фазового дрейфа для оборудования, которые должны обеспечиваться в любых соответствующих интерфейсах транспорта или синхронизации.
- ITU-T G.825 "Управление фазовым дрожанием и дрейфом фазы в цифровых сетях, которые основаны на синхронной цифровой иерархии (SDH)". – В этой Рекомендации приведены максимальные сетевые ограничения для дрожания и фазового дрейфа, которые не должны превышать, и минимальные допуски для дрожания и фазового дрейфа для оборудования, которые должны обеспечиваться в любых соответствующих интерфейсах транспорта или синхронизации, основанных на синхронной цифровой иерархии (SDH).
- МСЭ-Т G.812 "Требования к хронированию ведомых тактовых генераторов, пригодных для использования в качестве узловых тактовых генераторов в сетях синхронизации". – В этой Рекомендации описаны минимальные требования к устройствам хронирования, используемым в качестве тактовых генераторов узлов в сетях синхронизации. Эта Рекомендация содержит спецификации трех типов тактовых генераторов в основном тексте и еще трех типов в Приложении А.
- МСЭ-Т G.813 "Характеристики хронирования ведомых тактовых генераторов аппаратуры СЦИ (SEC)". – Эта Рекомендация содержит описание минимальных требований к устройствам хронирования, используемым для оборудования сетей синхронизации, работающих в соответствии с принципами синхронной цифровой иерархии (SDH).
- МСЭ-Т G.781 "Функции уровня синхронизации". – Эта Рекомендация определяет элементарные функции, которые являются частью двух уровней синхронизации – уровня распределения синхронизации (SD) и уровня синхронизации сети (NS). В ней также определен ряд элементарных функций в части транспортного уровня, относящихся к синхронизации.
- МСЭ-Т G.783 "Характеристики функциональных блоков оборудования для синхронной цифровой иерархии (СЦИ)". – В этой Рекомендации определены компоненты и методы, которые необходимо использовать для описания SDH-функциональности элементов сети.

МСЭ-Т работает над следующим семейством Рекомендаций (сериями G.826x и Y.136x), в которых описываются некоторые аспекты функций частотной синхронизации для пакетных сетей:

- МСЭ-Т G.8261/Y.1361 "Аспекты хронирования и синхронизации в пакетных сетях". – В этой Рекомендации определяются аспекты синхронизации в пакетных сетях. В ней указываются максимальные значения дрожания и фазового дрейфа в сети, которые не должны превышать. В ней также определяется минимальная устойчивость оборудования к дрожанию и фазовому дрейфу, которая должна обеспечиваться на границах данных пакетных сетей при интерфейсах TDM и синхронизации. В ней также в общих чертах описываются минимальные требования к функции синхронизации сетевых элементов.
- МСЭ-Т G.8261.1/Y.1361.1 "Сетевые пределы изменения задержки пакета, применимые к методам на основе пакетов (Синхронизация по частоте)". – В этой Рекомендации описываются аспекты синхронизации в пакетных сетях. В частности, указаны гипотетическая эталонная модель и сетевые пределы PDV, применимые в случаях, когда синхронизация по частоте осуществляется с использованием пакетов и восстанавливается согласно адаптивному методу восстановления тактового сигнала, как это определено в Рекомендациях МСЭ-Т G.8261 и [ITU-T G.8260]. В ней указана минимально допустимая устойчивость оборудования к колебанию задержки пакетов в показателях, определенных в Рекомендации [ITU-T G.8260], на границе этих пакетных сетей.
- МСЭ-Т G.8262/Y.1362 "Характеристики хронирования ведомых тактовых генераторов оборудования синхронного Ethernet". – В этой Рекомендации изложены требования к хронизирующим устройствам, применяемым при синхронизации сетевого оборудования с использованием синхронного Ethernet.
- МСЭ-Т G.8263/Y.1363 "Характеристики хронирования тактовых генераторов оборудования на основе пакетов". – В этой Рекомендации излагаются требования к хронизирующим устройствам, используемым для синхронизации сетевого оборудования, которое работает в режиме IWF, а также к другим элементам сети, как это определено в Рекомендации МСЭ-Т G.8261/Y.1361. В данной Рекомендации определяются требования к тактовым генераторам оборудования на основе пакетной передачи.
- МСЭ-Т G.8264/Y.1364 "Распределение хронизирующей информации по пакетным сетям". – В этой Рекомендации излагаются требования к сетям Ethernet в отношении передачи сигналов частоты. В ней определен транспортный канал SSM, а именно канал SSM Ethernet, поведение протокола и формат сообщений. В этой Рекомендации также приведена необходимая архитектура, описанная на формальном языке моделирования.
- МСЭ-Т G.8265/Y.1365 "Архитектура и требования для доставки значений частот в пакетном режиме". – В этой Рекомендации содержится описание архитектуры и требования по распределению частот на основе пакетной передачи в сетях электросвязи. К примерам распределения частот на основе пакетной передачи относятся сетевой протокол службы времени (NTP) и [b-IEEE 1588-2008], кратко описанные в этой Рекомендации. Подробные сведения, необходимые для использования [b-IEEE 1588-2008] в соответствии с данной архитектурой, приведены в других Рекомендациях.
- МСЭ-Т G.8265.1/Y.1365.1 "Профиль протокола точного времени в среде электросвязи для синхронизации по частоте". – В этой Рекомендации содержится профиль RTP МСЭ-Т для распределения частот без поддержки хронирования со стороны сети (режим одноадресной передачи). В ней содержится необходимая подробная информация для использования [IEEE 1588-2008] в соответствии с архитектурой, описание которой приводится в [ITU-T G.8265]. В этой версии Рекомендации определяется профиль RTP только для режима одноадресной передачи. В будущих версиях Рекомендации будет содержаться отдельный профиль для смешанного случая одноадресной/многоадресной передачи.

В таблице XI.1 показана взаимосвязь между семейством Рекомендаций по синхронизации в сетях TDM и семейством Рекомендаций по синхронизации в пакетных сетях.

Таблица XI.1 – Взаимосвязь между семейством Рекомендаций по синхронизации в сетях TDM и семейством Рекомендаций по синхронизации в пакетных сетях

| Требования | Сеть TDM | Пакетная сеть |
|---|-------------------------------------|---|
| Требования к функциональной архитектуре и синхронизации сетей | G.803, G.810 G.823, G.824, G.825 | G.8261/Y.1361 G.8261.1/Y.1361.1 G.8265/Y.1365 |
| Спецификация оборудования тактовых генераторов | G.812 (тип IV), G.813 | G.8262/Y.1362 G.8263/Y.1363 |
| Функции, функциональные блоки, поток хронирования и SSM уровня синхронизации. Протокол хронирования на основе пакетов | G.783, G.781 | G.8264/Y.1364, G.781 G.8265.1/Y.1365.1 |

Дополнение XII

Основные принципы передачи сигналов хронирования по пакетным сетям

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

XII.1 Общие положения

Рассматривается ситуация, когда ведомый тактовый генератор (также именуемый клиентом) получает сигналы хронирования от ведущего тактового генератора (также именуемого сервером). Обмен пакетами между ведущим и ведомым устройствами обеспечивает измерение задержки передачи и сдвиг тактового сигнала между ними. Это поясняется на рисунке XII.1. Описанные здесь принципы хронирования в пакетных сетях носят общий характер. Приведенные здесь примеры применимы как к односторонним, так и к двусторонним методам. Подробности (метод и соответствующие соглашения) процесса передачи результатов измерений (меток времени) между двумя объектами определяются конкретным используемым протоколом (например, [b-IEEE-1588] или NTP). Следует отметить, что количество пакетов, передаваемых в обоих направлениях, не обязательно должно быть равным и, более того, могут передаваться дополнительные пакеты, которые переносят информацию, но их задержка передачи не измеряется.

Основное предположение заключается в том, что пути (маршруты) пакетов можно рассматривать как статические на протяжении некоторого интервала времени, с редкими фундаментальными изменениями. Если интервал времени между значительными изменениями пути передачи гораздо больше интервала обмена пакетами, то этот путь можно рассматривать как постоянный для данного набора измерений. Таким образом, на протяжении интервала измерения путь, по которому следуют пакеты, остается одним и тем же.

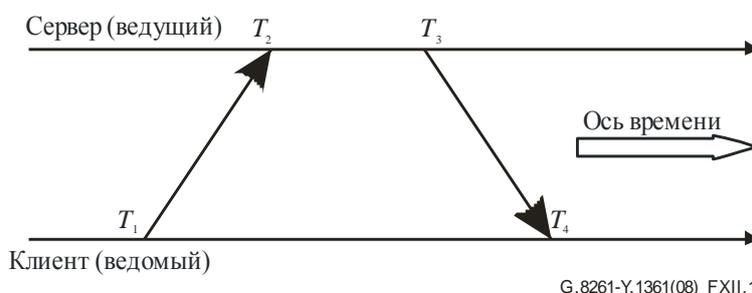


Рисунок XII.1 – Понятие меток времени при обмене пакетами между сервером и клиентом

С пакетами, время передачи которых измеряется, связаны четыре метки времени, которые определяются следующим образом:

- T_1 – метка времени, соответствующая наилучшей оценке времени начала периода передачи пакета или кадра, исходящего из ведомого тактового генератора;
- T_2 – метка времени, соответствующая наилучшей оценке времени окончания периода приема пакета или кадра, поступающего в ведущий тактовый генератор;
- T_3 – метка времени, соответствующая наилучшей оценке времени начала периода передачи пакета или кадра, исходящего из ведущего тактового генератора;
- T_4 – метка времени, соответствующая наилучшей оценке времени окончания периода приема пакета или кадра, поступающего в ведомый тактовый генератор.

Полное значение универсальной метки времени можно представить следующим образом:

$$T_{TS}(n) = T(n) + e_{TS}(n) + e_{CLK}(n). \quad (\text{XII-1})$$

Уравнение (XII-1) отражает тот факт, что связанная с пакетом метка времени (численное значение) T_{TS} связана с истинным значением времени начала периода приема/передачи для этого пакета ($T(n)$) с учетом двух видов погрешности. Во-первых, это прямой вклад погрешности локального тактового

генератора e_{CLK} . Во-вторых, имеется неточность в процессе проставления метки времени e_{TS} , которая может исказить поведение тактового генератора. Индекс n включен для идентификации пакета как одного из членов последовательности пакетов.

В отношении рисунка XII.1 можно определить следующие важные показатели потока хронирования, основанные на метках времени. Эти показатели применимы для операций как односторонней, так и двухсторонней передачи.

Сначала рассмотрим случай односторонней передачи (частоты).

Односторонняя передача – это асимметричная операция, для которой требуется только поток пакетов или PDU, передаваемый в одном направлении. Например, рассмотрим поток сигналов хронирования, исходящий из ведущего тактового генератора и заканчивающийся в ведомом тактовом генераторе. Из четырех меток времени, показанных на рисунке XII.1, в этом режиме применяются только две. Соглашение диктует, что когда сервер передает поток меток времени, процесс описывается парой меток времени (T_3 , T_4). Начальная метка времени T_3 относится к шкале времени сервера, а завершающая метка времени T_4 – к шкале времени клиента.

Сдвиг измерения δ_{MS} можно рассчитать следующим образом (индекс MS указывает направление ведущий–ведомый; индекс SM используется для направления ведомый–ведущий):

$$\delta_{\text{MS}}(n) = T_4(n) - T_3(n), \quad (\text{XII-2a})$$

где:

$$T_4(n) = T(n) + \Delta_{\text{MS}}(n) + e_{\text{S-TS}}(n) + e_{\text{S-CLK}}(n), \quad (\text{XII-2b})$$

где $\Delta_{\text{MS}}(n)$ – задержка сети для пакета с номером n , переданного от ведущего тактового генератора к ведомому, и

$$T_3(n) = T(n) + e_{\text{M-TS}}(n) + e_{\text{M-CLK}}(n). \quad (\text{XII-2c})$$

Таким образом,

$$\delta_{\text{MS}}(n) = e_{\text{S-CLK}}(n) - e_{\text{M-CLK}}(n) + \Delta_{\text{MS}}(n) + e_{\text{S-TS}}(n) - e_{\text{M-TS}}(n). \quad (\text{XII-2d})$$

Следует отметить, что также возможна односторонняя передача пакетов от клиента к серверу, и для этого случая определено эквивалентное измерение смещения. Аналогично измерение смещения δ_{SM} для направления ведомый–ведущий можно рассчитать как

$$\delta_{\text{SM}}(n) = T_2(n) - T_1(n) \quad (\text{XII-2e})$$

и уравнение (XII-2f) повторяет уравнение (XII-2d) с обменом ролями ведущего и ведомого генераторов. $\Delta_{\text{SM}}(n)$ – это задержка сети для пакета с номером n , переданного клиентом серверу:

$$\delta_{\text{SM}}(n) = e_{\text{M-CLK}}(n) - e_{\text{S-CLK}}(n) + \Delta_{\text{SM}}(n) + e_{\text{M-TS}}(n) - e_{\text{S-TS}}(n). \quad (\text{XII-2f})$$

Сдвиг измерений обладает следующими важнейшими свойствами:

- 1) сдвиг измерения смещается на задержку пакетов в одном направлении (Δ). Задержку пакетов нельзя оценить по измерению в одном направлении, если сдвиг ведомого тактового генератора не известен. δ_{MS} и δ_{SM} – это оценки односторонней задержки, и они оказываются неточными из-за погрешностей тактовых генераторов и меток времени;
- 2) выбрав одностороннюю передачу пакетов с хорошими (стабильными) свойствами задержки, можно минимизировать вредное воздействие смещения задержки пакетов;
- 3) остаточный сдвиг можно уменьшить путем оценки односторонней задержки какими-нибудь другими средствами (например с помощью меток времени, связанных с передачей в обратном направлении) или игнорировать в случае оценки частоты, так как сдвиг частоты – это просто скорость изменения сдвига по фазе, равная нулю при постоянной погрешности смещения фазы;
- 4) погрешность меток времени на стороне сервера и на стороне клиента нельзя исключить, и для приемлемой работы их следует надлежащим образом ограничить.

Измерение смещения при односторонней передаче пакетов аналогично измерениям погрешности фазы, полученным при односторонней синхронизации имеющегося физического уровня. Как таковое оно способно поддерживать передачу частоты, но не передачу точного времени.

В отличие от односторонней работы работа с двусторонними метками времени подразумевает поток пакетов хронирования в обоих направлениях. Другими словами, используются все четыре типа меток времени, показанные на рисунке XII.1. При двустороннем обмене метками времени пакетов поток меток времени инициируется одним элементом (обычно клиентом в NTP и сервером в RTP).

Начальное направление считается прямым направлением, а возвратные операции – обратным. В то же время поскольку каждое направление можно считать односторонней операцией, двустороннюю транзакцию можно описать следующим образом:

$$\delta_{SM}(n) = e_{M-CLK}(n) - e_{S-CLK}(n) + \Delta_{SM}(n) + e_{M-TS}(n) - e_{S-TS}(n); \quad (XII-3a)$$

$$\delta_{MS}(n) = e_{S-CLK}(n) - e_{M-CLK}(n) + \Delta_{MS}(n) + e_{S-TS}(n) - e_{M-TS}(n). \quad (XII-3b)$$

При двустороннем обмене можно оценить два ключевых параметра, а именно δ_{SM} и δ_{MS} . Для простоты принимается, что погрешность меток времени пренебрежимо мала. Первый ключевой параметр называется *сдвигом* (offset):

$$\text{offset}(n) = \frac{\delta_{MS}(n) - \delta_{SM}(n)}{2} = e_{S-CLK}(n) - e_{M-CLK}(n) + \frac{[\Delta_{MS}(n) - \Delta_{SM}(n)]}{2}. \quad (XII-4)$$

Здесь *сдвиг* представляет собой оценку поправки тактового сигнала, необходимой для выравнивания времени клиента с временем сервера.

Второй параметр – полная задержка (round-trip delay – rtd), которая представляет собой оценку задержки передачи в прямом и обратном направлениях:

$$\text{rtd}(n) = \delta_{MS}(n) + \delta_{SM}(n) = \Delta_{MS}(n) + \Delta_{SM}(n). \quad (XII-5)$$

Очевидно, что для получения объективной оценки значения смещения задержки передачи в прямом и обратном направлениях либо должны быть известны, либо предполагаются симметричными. Отметим, что объективная оценка задержки передачи в прямом и обратном направлениях зависит от того, одинакова ли погрешность тактового генератора в обоих направлениях. Конечно, если время между двумя операциями обмена пакетами мало, то для обеих операций погрешность тактового генератора можно считать одной и той же.

Погрешность ведомого тактового генератора (ее оценку) ϵ можно отнести к следующим причинам:

- 1) задержка передачи в двух направлениях не одинакова. Разница напрямую влияет на оценку погрешности ведомого тактового генератора. Погрешность $\Delta\epsilon$ определяется по формуле

$$\Delta\epsilon = \left(\frac{1}{2}\right)(\Delta_{MS} - \Delta_{SM}); \quad (XII-6)$$

- 2) измерения меток времени могут быть неточными. То есть если T_1 – фактическое время отправки пакета из сервера, то значение, используемое при расчетах, может быть только оценкой времени отправки. Точно так же если T_2 – это фактическое время поступления сигнала, то используемое значение может представлять собой его оценку. Чтобы значения меток времени были точными, их необходимо получать средствами, которые расположены как можно ближе к физическому уровню, так чтобы на время передачи (время приема) не влияли никакие (переменные) задержки, связанные с такими факторами, как операционная система и обработка прерываний. Тем не менее остаются некоторые ошибки, связанные с разрешением метки времени и колебанием задержки на самом физическом уровне. Проблему разрешения меток времени можно решить путем правильного проектирования. Шум физического уровня должен быть ограничен либо отфильтрован в зависимости от транспортного уровня;
- 3) задержки передачи Δ_{MS} и Δ_{SM} не фиксированы и изменяются от пакета к пакету из-за колебания задержки пакетов (PDV), связанных как с эффектами очередей, так и с эффектами физического транспортирования в сети.

ХП.2 Уменьшение колебания задержки пакетов путем выбора пакетов

Важная идея заключается в том, что фильтр или обработчик тактового сигнала, работающий с определенными выше параметрами измерения, может выбирать или взвешивать транзакции для оптимизации общей стабильности тактового сигнала. Таким образом путем соответствующей классификации и выбора пакетов можно уменьшить возмущающее влияние изменения времени задержки пакетов.

Предположение, что путь постоянен в течение интервала наблюдения, подразумевает ситуацию, в которой колебание задержки пакетов имеет функцию распределения с медленно меняющимся базисом. Базис – это минимальная задержка, которую может испытывать пакет (или другой элемент данных протокола, такой как кадр уровня 2) на заданном пути. Базис можно рассматривать как состояние, при котором как выходные, так и системные очереди (во всем оборудовании, участвующем в потоке, включая источник, пункт назначения и промежуточные элементы) "пусты", когда ресурс необходим конкретному пакету и, следовательно, не вносит вклад в задержку передачи этого пакета. Тогда остаточное колебание задержки пакетов будет связано с механизмами дрожания и фазового дрейфа физического уровня. Во многих случаях было отмечено, что в условиях нормальной, не чрезмерной нагрузки разумная часть от общего количества пакетов проходит сеть на уровне или вблизи этого базиса, хотя другие могут испытывать значительно более длительные задержки. Этот тип поведения рассматривается в настоящей Рекомендации (см. Дополнение I). В этих случаях, когда сеть загружена слабо, распределение PDV демонстрирует высокую степень асимметрии. Таким образом, плотность вероятности может быть сконцентрирована вблизи этого базиса, так что относительно большая доля от общего числа пакетов испытывает эту "минимальную" (или "почти минимальную") задержку. Данные явления находятся в стадии изучения. Правильно спроектированный обработчик или фильтр тактовых сигналов может использовать эту асимметрию для смягчения последствий нестабильности на длинном хвосте распределения PDV.

В принципе шум передачи на уровне базиса ограничен рядом факторов, таких как:

- 1) задержка "скорости света" при распространении на физическом уровне;
- 2) разрешение меток времени;
- 3) задержки преобразования на физическом транспортном уровне не-Ethernet (Ethernet поверх XDSL, PON и т. д.);
- 4) другие механизмы мелких колебаний задержки, такие как дрожание физического тактового генератора и дрожание тактового генератора, встроенного в оборудование;
- 5) наклон смещения локального тактового генератора при оценке базиса.

ХП.3 Сравнение пакетных методов и методов с синхронным физическим уровнем

Существует ряд различий между пакетными методами (например, [b-IEEE 1588], NTP) и методами с синхронным физическим уровнем, таким как синхронный Ethernet. Некоторые из них рассматриваются ниже.

- 1) Методы на основе синхронного физического уровня – это, как правило, односторонние методы, пригодные для выравнивания частот. Пакетные методы могут работать в одностороннем режиме для достижения выравнивания частот и приблизительного выравнивания времени. Работая с пакетами в двухстороннем режиме, можно добиться как выравнивания времени, так и выравнивания частот.
- 2) Так как информация хронирования в методах с синхронным физическим уровнем содержится в физическом сигнале кода линии, она не зависит от нагрузки трафика. Напротив, пакетные методы чувствительны к схемам трафика, особенно если не применяются схемы приоритетов качества обслуживания.
- 3) Методы с синхронным физическим уровнем – это методы прямой передачи. Чтобы цепочка хронирования была непрерывной, каждый промежуточный узел между PRC и рассматриваемым ведомым тактовым генератором должен входить в систему распределения сигнала хронирования. Методы на основе пакетов могут пересекать узлы, не участвующие в распределении сигнала хронирования.

- 4) Входной допуск тактового генератора синхронного физического уровня выражается применительно к шуму генератора в опорном сигнале и количественно измеряется с использованием параметров TDEV и MTIE. Сетевые нарушения, влияющие на характеристики пакетного тактового генератора, – это потеря пакетов и колебание задержки пакетов (PDV). Источниками того и другого являются физический уровень и задержка очередей. Подходящие показатели для количественной оценки колебания задержки пакетов с точки зрения восстановления тактового сигнала находятся в стадии разработки. К ним относятся TDEV и minTDEV. MTIE не является значимой мерой количественной оценки колебания задержки пакетов с точки зрения восстановления тактового сигнала, потому что в алгоритмах восстановления не обязательно используются все пакеты.

ХП.4 Существующие стандарты

Опубликованные стандарты синхронизации в пакетных сетях – это NTP ([b-IETF RFC 5905], который заменил [b-IETF RFC 1305] (NTP v3) и [b-IETF RFC 4330] (SNTP)), и [b-IEEE 1588] (PTP).

NTP и PTP – это общие протоколы пакетных сетей, которые не относятся непосредственно к требованиям электросвязи. Соответствующие профили, содержащие руководящие указания по развертыванию в приложениях электросвязи, находятся в стадии разработки.

В [ITU-T Y.1731] используются метки времени для установления некоторых критериев эффективности в сетях Ethernet. Полезно рассмотреть, как именно в [ITU-T Y.1731] используются четыре типа меток времени, описанные выше, и транспортируются в операционных, административных и служебных (operations, administration, and maintenance – OAM) кадрах между двумя концами линии связи.

Дополнение XIII

Оценка колебания задержки пакетов, создаваемых в узле сети

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

XIII.1 Введение

В настоящем Дополнении содержится руководство по оценке колебания задержки пакетов (PDV), создаваемых в узлах сети при использовании пакетных методов без поддержки хронирования или с частичной поддержкой хронирования из сети. Способ тестирования, описанный в настоящем Дополнении, применим к неосведомленным узлам RTP (то есть к узлам сети, не поддерживающим граничные или прозрачные тактовые генераторы).

PDV-шум важен как для синхронизации частоты, так и для синхронизации фазы или времени. Асимметрия важна только для синхронизации фазы или времени, но не для синхронизации частоты. В настоящем Дополнении рассматривается только синхронизация частоты. Оценка и анализ, относящиеся к синхронизации фазы/времени, являются предметом дальнейшего изучения и могут быть определены в отдельной Рекомендации.

XIII.2 Общие положения

Цель тестирования PDV для одного узла заключается в том, чтобы определить влияние узла на хронирование распространения пакетов хронирования и, следовательно, его влияние на распределение пакетных сигналов хронирования.

Любая включенная функция оборудования, такая как маршрутизатор или коммутатор, может оказывать влияние на PDV. Ввиду этого предполагается, что может быть опробован ряд конфигураций, входящих в планы развертывания.

Например, если планируется использовать оборудование в качестве маршрутизатора, то в процессе испытаний в оборудование должны направляться разные потоки пакетов. Если оборудование предполагается использовать в качестве коммутатора, то в ходе испытаний должны коммутироваться разные потоки пакетов. В некоторых случаях могут применяться смешанные сценарии (например, коммутатор/маршрутизатор, когда пакет хронирования может маршрутизироваться, а фоновый трафик – коммутироваться, или наоборот). Другие возможные конфигурации – конфигурация с контролем QoS или без него, использование инкапсуляции (например, MPLS), список допущенных абонентов.

XIII.3 Общая конфигурация

В настоящем разделе описывается общая конфигурация, используемая при тестировании PDV, создаваемого одним узлом.

XIII.3.1 Общее описание испытаний PDV, создаваемого одним узлом

Испытание создаваемого PDV для одного узла состоит в измерении PDV, добавляемого в сигнал хронирования пакетов (например, поток хронирования [b-IEEE 1588]), когда он проходит через одно сетевое устройство. Сигнал хронирования пакетов должен быть идеальным на входе сетевого оборудования (то есть не содержать PDV перед входом в узел), и PDV должно измеряться непосредственно на выходе сетевого оборудования, чтобы определить PDV, создаваемое узлом. Во время тестирования прилагается нагрузка, например фоновый трафик через сетевой узел.

Процесс тестирования PDV, создаваемого одним узлом, иллюстрируется на рисунке XIII.1. Применимые общие тесты подробно описаны в разделе XIII.3.

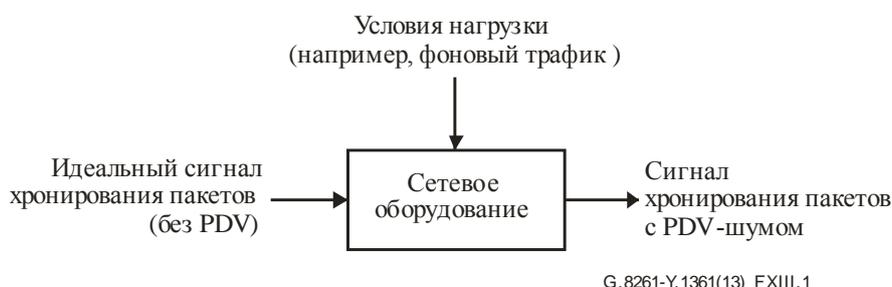


Рисунок XIII.1 – Общая установка для тестирования PDV, создаваемого одним узлом

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Для того чтобы генерировать идеальный сигнал хронирования пакетов на входе сетевого оборудования, ведущий тактовый генератор пакетов (например, ведущий тактовый генератор RTP) можно подключить непосредственно к сетевому оборудованию, находящемуся под нагрузкой. Отметим, что уровень PDV-шума, генерируемого ведущим тактовым генератором, должен быть очень низким, чтобы входящий сигнал хронирования пакетов можно было считать бесшумным (например, пренебрежимо малым по сравнению с измеряемым шумом).

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Для того чтобы определить PDV, создаваемое сетевым оборудованием, можно измерять PDV сигнала хронирования пакетов (например, потока хронирования RTP) на выходе сетевого оборудования с использованием измерителя PDV.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Для того чтобы настроить передачу протокола хронирования (например, RTP-передачу), ведомый тактовый генератор пакетов (например, ведомый тактовый генератор RTP) можно подключить к сетевому оборудованию после измерителя PDV (напомним однако, что цель заключается не в измерении характеристик на выходе ведомого тактового генератора, а в измерении PDV, создаваемого оборудованием).

Детали различных возможных конфигураций (таких как конфигурация потока хронирования пакетов и конфигурация фонового трафика) и типовые тесты подлежат дальнейшему изучению.

Библиография

- [b-ITU-T G.701] Recommendation ITU-T G.701 (1993), *Vocabulary of digital transmission and multiplexing, and pulse code modulation (PCM) terms*
- [b-ITU-T G.707] Рекомендация МСЭ-Т G.707/Y.1322 (2000 г.), *Интерфейс сетевого узла для синхронной цифровой иерархии (СЦИ)*
- [b-ITU-T G.783] Рекомендация МСЭ-Т G.783 (2004 г.), *Характеристики функциональных блоков оборудования для синхронной цифровой иерархии (СЦИ)*
- [b-ITU-T G.801] Recommendation ITU-T G.801 (1988), *Digital transmission models*
- [b-ITU-T G.810] Recommendation ITU-T G.810 (1996), *Definitions and terminology for synchronization networks*
- [b-ITU-T G.1020] Рекомендация МСЭ-Т G.1020 (2006 г.), *Определения рабочих характеристик применительно к качеству речи и другим приложениям в полосе тональных частот, использующим IP-сети*
- [b-ITU-T I.363.1] Recommendation ITU-T I.363.1 (1996), *B-ISDN ATM Adaptation Layer specification: Type 1 AAL*
- [b-ITU-T T.4] Рекомендация МСЭ-Т T.4 (2003 г.), *Стандартизация факсимильных терминалов группы 3 для передачи документов*
- [b-ITU-T V.90] Recommendation ITU-T V.90 (1998), *A digital modem and analogue modem pair for use on the Public Switched Telephone Network (PSTN) at data signalling rates of up to 56 000 bit/s downstream and up to 33 600 bit/s upstream*
- [b-ITU-T Y.1560] Рекомендация МСЭ-Т Y.1560 (2003 г.), *Параметры рабочих характеристик TCP-соединения при наличии промежуточных узлов*
- [b-ETSI TR 101 685] ETSI TR 101 685 (in force), *Transmission and Multiplexing (TM); Timing and synchronization aspects of Asynchronous Transfer Mode (ATM) networks.*
<http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=7595>
- [b-ETSI TS 100 594] ETSI TS 100 594 (1999), *Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Base Station Controller – Base Transceiver Station – (BSC – BTS) interface; Layer 1 Structure of Physical Circuits.*
<http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=8606>
- [b-ETSI TS 125 104] ETSI TS 125 104 (in force), *Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS); Base Station (BS) radio transmission and reception (FDD).*
<http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=28301>
- [b-ETSI TS 125 105] ETSI TS 125 105 (in force), *Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS); Base Station (BS) radio transmission and reception (TDD).*
<http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=28303>
- [b-ETSI TS 125 402] ETSI TS 125 402 (in force), *Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS); Synchronization in UTRAN Stage 2.*
<http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=22972>
- [b-ETSI TS 125 431] ETSI TS 125 431 (in force), *Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); UTRAN Iub interface Layer 1.*
<http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=24642>
- [b-ETSI TS 145 010] ETSI TS 145 010 (in force), *Digital cellular telecommunications systems (Phase 2+), Radio subsystem synchronization.*
<http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=19334>

- [b-IEEE 802.1ah] IEEE 802.1ah-2008, *IEEE Standard for local and metropolitan area network – Virtual Bridged Local Area Networks – Amendment 7: Provider Backbone bridges.*
<<http://www.ieee802.org/1/pages/802.1ah.html>>
- [b-IEEE 802.1p] IEEE 802.1p-2005, *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Traffic Class Expediting and Dynamic Multicast Filtering*
- [b-IEEE P802.1Qay] IEEE P802.1Qay-REV-2007, *Draft Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Virtual Bridged Local Area Networks: Amendment Provider Backbone Bridge Traffic Engineering.*
<<http://www.ieee802.org/1/pages/802.1ay.html>>
- [b-IEEE 802.3x] IEEE 802.3x-1997, *IEEE Standards for Local and Metropolitan Area Networks: Supplements to Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications – Specification for 802.3 Full Duplex Operation and Physical Layer Specification for 100 Mb/s Operation on Two Pairs of Category 3 or Better Balanced Twisted Pair Cable.*
<<http://standards.ieee.org/getieee802/802.3.html>>
- [b-IEEE 1588] IEEE 1588 STD -2008, *Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems.*
<<http://ieee1588.nist.gov/>>
- [b-IETF RFC 1305] IETF RFC 1305 (1992), *Network Time Protocol (Version 3) – Specification, Implementation, and Analysis.*
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc1305.txt?number=1305>>
- [b-IETF RFC 4330] IETF RFC 4330 (2006), *Simple Network Time Protocol (SNTP) Version 4 for IPv4, IPv6 and OSI*
- [b-IETF RFC 5905] IETF RFC 5905 (2010), *Network Time Protocol Version 4: Protocol And Algorithms Specification.*
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc5905.txt?number=59055905>>
- [b-3GPP2 C.S0010-B] 3GPP2 C.S0010-B (in force), *Recommended Minimum Performance Standards for cdma2000 Spread Spectrum Base Stations.*
<http://www.3gpp2.org/Public_html/specs/C.S0010-B_v2.0_021704.pdf>
- [b-3GPP2 C.S0002-C] 3GPP2 C.S0002-C (2002), *Physical layer standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems.*
<http://www.3gpp2.org/Public_html/specs/C.S0002-C_v1.0.pdf>
- [b-3GPP TR 25.836] 3GPP TR 25.836 (2001), *Node B synchronization for TDD.*
<http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/TSG_RAN/TSGR_09/Docs/PDFs/RP-000406.pdf>
- [b-MEF 3] MEF 3 (2004), *Circuit Emulation Service Definitions, Framework and Requirements in Metro Ethernet Networks.*
<http://metroethernetforum.org/Assets/Technical_Specifications/PDF/MEF3.pdf>

РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-Т СЕРИИ Y
ГЛОБАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА,
АСПЕКТЫ ПРОТОКОЛА ИНТЕРНЕТ И СЕТИ ПОСЛЕДУЮЩИХ ПОКОЛЕНИЙ

| | |
|--|----------------------|
| ГЛОБАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА | |
| Общие положения | Y.100–Y.199 |
| Услуги, приложения и промежуточные программные средства | Y.200–Y.299 |
| Сетевые аспекты | Y.300–Y.399 |
| Интерфейсы и протоколы | Y.400–Y.499 |
| Нумерация, адресация и присваивание имен | Y.500–Y.599 |
| Эксплуатация, управление и техническое обслуживание | Y.600–Y.699 |
| Безопасность | Y.700–Y.799 |
| Рабочие характеристики | Y.800–Y.899 |
| АСПЕКТЫ ПРОТОКОЛА ИНТЕРНЕТ | |
| Общие положения | Y.1000–Y.1099 |
| Услуги и приложения | Y.1100–Y.1199 |
| Архитектура, доступ, возможности сетей и административное управление ресурсами | Y.1200–Y.1299 |
| Транспортирование | Y.1300–Y.1399 |
| Взаимодействие | Y.1400–Y.1499 |
| Качество обслуживания и сетевые показатели качества | Y.1500–Y.1599 |
| Сигнализация | Y.1600–Y.1699 |
| Эксплуатация, управление и техническое обслуживание | Y.1700–Y.1799 |
| Начисление платы | Y.1800–Y.1899 |
| IPTV по СПП | Y.1900–Y.1999 |
| СЕТИ ПОСЛЕДУЮЩИХ ПОКОЛЕНИЙ | |
| Структура и функциональные модели архитектуры | Y.2000–Y.2099 |
| Качество обслуживания и рабочие характеристики | Y.2100–Y.2199 |
| Аспекты обслуживания: возможности услуг и архитектура услуг | Y.2200–Y.2249 |
| Аспекты обслуживания: взаимодействие услуг и СПП | Y.2250–Y.2299 |
| Нумерация, присваивание имен и адресация | Y.2300–Y.2399 |
| Управление сетью | Y.2400–Y.2499 |
| Архитектура и протоколы сетевого управления | Y.2500–Y.2599 |
| Будущие сети | Y.2600–Y.2699 |
| Безопасность | Y.2700–Y.2799 |
| Обобщенная мобильность | Y.2800–Y.2899 |
| Открытая среда операторского класса | Y.2900–Y.2999 |
| БУДУЩИЕ СЕТИ | Y.3000–Y.3499 |
| ОБЛАЧНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ | Y.3500–Y.3999 |

Для получения более подробной информации просьба обращаться к перечню Рекомендаций МСЭ-Т.

СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

| | |
|----------------|--|
| Серия А | Организация работы МСЭ-Т |
| Серия D | Общие принципы тарификации |
| Серия E | Общая эксплуатация сети, услуга телефонной связи, эксплуатация услуги и человеческие факторы |
| Серия F | Нетелефонные службы электросвязи |
| Серия G | Системы и среда передачи, цифровые системы и сети |
| Серия H | Аудиовизуальные и мультимедийные системы |
| Серия I | Цифровая сеть с интеграцией служб |
| Серия J | Кабельные сети и передача сигналов телевизионных и звуковых программ и других мультимедийных сигналов |
| Серия K | Защита от помех |
| Серия L | Конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейно-кабельных сооружений |
| Серия M | Управление электросвязью, включая СУЭ и техническое обслуживание сетей |
| Серия N | Техническое обслуживание: международные каналы передачи звуковых и телевизионных программ |
| Серия O | Требования к измерительной аппаратуре |
| Серия P | Оконечное оборудование, субъективные и объективные методы оценки |
| Серия Q | Коммутация и сигнализация |
| Серия R | Телеграфная передача |
| Серия S | Оконечное оборудование для телеграфных служб |
| Серия T | Оконечное оборудование для телематических служб |
| Серия U | Телеграфная коммутация |
| Серия V | Передача данных по телефонной сети |
| Серия X | Сети передачи данных, взаимосвязь открытых систем и безопасность |
| Серия Y | Глобальная информационная инфраструктура, аспекты протокола Интернет и сети последующих поколений |
| Серия Z | Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи |