

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

G.8262/Y.1362

(01/2015)

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

Аспекты передачи пакетов по транспортным сетям –
Целевые параметры синхронизации, качества
и готовности

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

Аспекты протокола Интернет – Транспортирование

**Характеристики хронирования ведомых
тактовых генераторов оборудования
синхронного Ethernet**

Рекомендация МСЭ-Т G.8262/Y.1362

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 передачи данных Ethernet по транспортным сетям | G.8000–G.8099 |
| Аспекты передачи сообщений MPLS по транспортным сетям | G.8100–G.8199 |
| Целевые параметры синхронизации, 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.8262/Y.1362

Характеристики хронирования ведомых тактовых генераторов оборудования синхронного Ethernet

Резюме

В Рекомендации МСЭ-Т G.8262/Y.1362 изложены требования к хронизирующим устройствам, применяемым при синхронизации сетевого оборудования, которое используется в синхронной сети Ethernet. В данной Рекомендации определяются требования к тактовым генераторам, например ширина полосы, точность частоты, удержание и генерация шума.

Хронологическая справка

| Издание | Рекомендация | Утверждение | Исследовательская комиссия | Уникальный идентификатор* |
|---------|-------------------------------------|---------------|----------------------------|---|
| 1.0 | МСЭ-Т G.8262/Y.1362 | 13.08.2007 г. | 15-я | 11.1002/1000/9190 |
| 1.1 | МСЭ-Т G.8262/Y.1362 (2007), Попр. 1 | 29.04.2008 г. | 15-я | 11.1002/1000/9417 |
| 1.2 | МСЭ-Т G.8262/Y.1362 (2007), Попр. 2 | 13.01.2010 г. | 15-я | 11.1002/1000/10432 |
| 2.0 | МСЭ-Т G.8262/Y.1362 | 29.07.2010 г. | 15-я | 11.1002/1000/10909 |
| 2.1 | МСЭ-Т G.8262/Y.1362 (2010), Попр. 1 | 13.02.2012 г. | 15-я | 11.1002/1000/11523 |
| 2.2 | МСЭ-Т G.8262/Y.1362 (2010), Попр. 2 | 29.10.2012 г. | 15-я | 11.1002/1000/11814 |
| 3.0 | МСЭ-Т G.8262/Y.1362 | 13.01.2015 г. | 15-я | 11.1002/1000/12389 |

Ключевые слова

Тактовый генератор, дрожание, синхронизация, фазовый дрейф.

* 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 | 2 |
| 3 Определения | 2 |
| 4 Сокращения и акронимы | 2 |
| 5 Соглашения по терминологии | 3 |
| 6 Точность частоты | 3 |
| 6.1 ЕЕС-вариант 1 | 3 |
| 6.2 ЕЕС-вариант 2 | 4 |
| 7 Полосы захвата, удержания и потери синхронизации..... | 4 |
| 7.1 Полоса захвата | 4 |
| 7.2 Полоса удержания | 4 |
| 7.3 Полоса потери синхронизации | 4 |
| 8 Генерация шума..... | 4 |
| 8.1 Фазовый дрейф в синхронном режиме | 5 |
| 8.2 Фазовый дрейф без синхронизации | 7 |
| 8.3 Дрожание | 7 |
| 9 Устойчивость к шуму | 8 |
| 9.1 Устойчивость к фазовому дрейфу..... | 9 |
| 9.2 Устойчивость к дрожанию..... | 11 |
| 10 Передача шума | 14 |
| 10.1 ЕЕС-вариант 1 | 14 |
| 10.2 ЕЕС-вариант 2 | 14 |
| 11 Переходные характеристики и характеристики удержания синхронизации..... | 15 |
| 11.1 Краткосрочная фазовая переходная характеристика | 16 |
| 11.2 Долгосрочная характеристика фазового переходного состояния (удержание) | 17 |
| 11.3 Фазовая характеристика при прерываниях входного сигнала | 18 |
| 11.4 Скачок фазы | 19 |
| 12 Интерфейсы | 20 |
| 12.1 Внешние интерфейсы синхронизации | 20 |
| Дополнение I – Гибридные сетевые элементы с использованием интерфейсов STM-N и Ethernet (ETU)..... | 22 |
| Дополнение II – Взаимосвязь между требованиями, содержащимися в настоящей Рекомендации, и другими ключевыми Рекомендациями, относящимися к синхронизации..... | 23 |
| Дополнение III – Перечень интерфейсов Ethernet, применимых для синхронного Ethernet | 24 |
| Дополнение IV – Вопросы, связанные с синхронным Ethernet по интерфейсам 1000BASE-T и 10GBASE-T..... | 29 |
| Дополнение V – Соображения по вопросам измерения передачи шума для тактовых генераторов ЕЕС-вариант 2..... | 31 |
| Библиография | 32 |

Введение

Метод синхронного Ethernet относится к методу распределенных первичных эталонных тактовых генераторов (PRC) или первичных эталонных генераторов сигнала хронирования (PRTC) (например, на основе глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS)) или методу "ведущий-ведомый" с использованием синхронного физического уровня (например, E1, STM-N). Эти методы широко применяются для синхронизации сетей с временным разделением каналов (TDM) и сетей подвижной транзитной связи.

Характеристики хронирования ведомых тактовых генераторов оборудования синхронного Ethernet

1 Сфера применения

В настоящей Рекомендации описываются минимальные требования к устройствам хронирования, используемым для синхронизации сетевого оборудования, которое поддерживает синхронный Ethernet. Поддерживается распределение тактовых генераторов на основе методов линейного кода синхронной сети (например, синхронного Ethernet).

Данная Рекомендация позволяет обеспечить правильную работу сети, когда тактовый генератор оборудования синхронного Ethernet (ЕЕС-вариант 1 или 2) хронится другим тактовым генератором сетевого оборудования или более высококачественным тактовым генератором.

В этой Рекомендации содержатся требования к точности тактового сигнала, передаче шума, характеристикам удержания, помехоустойчивости и генерации шума. Данные требования применяются при нормальных условиях окружающей среды, предусмотренных для оборудования.

В настоящей Рекомендации рассматриваются два варианта синхронного Ethernet. Первый вариант, называемый "ЕЕС-вариант 1", относится к оборудованию синхронного Ethernet, предназначенному для взаимодействия с сетями, оптимизированными для иерархии 2048 кбит/с. Эти сети допускают наихудший вариант эталонной цепи синхронизации, как указано на рисунке 8-5 [ITU-T G.803]. Второй вариант, называемый "ЕЕС-вариант 2", применяется к оборудованию синхронного Ethernet, предназначенному для взаимодействия с сетями, оптимизированными для иерархии 1544 кбит/с. Эталонная цепь синхронизации для этих сетей определяется в разделе II.3 [ITU-T G.813].

Ведомый тактовый генератор оборудования синхронного Ethernet должен соответствовать всем требованиям, установленным для какого-либо одного варианта, без смешивания требований к ЕЕС для вариантов 1 и 2. В тех разделах, где указывается только одно требование, это требование является общим для обоих вариантов. В будущем предполагается согласовать варианты 1 и 2 ЕЕС. Задачей синхронного Ethernet является обеспечение взаимодействия с существующими сетями синхронизации на основе [ITU-T G.813].

Особое внимание следует уделять взаимодействию между сетями с оборудованием синхронного Ethernet на основе ЕЕС-вариант 1 и сетями с оборудованием синхронного Ethernet на основе ЕЕС-вариант 2.

Некоторые сетевые элементы (NE) синхронного Ethernet могут иметь более высококачественный тактовый генератор. Настоящая Рекомендация позволяет обеспечить правильную работу сети, когда оборудование синхронного Ethernet (ЕЕС-вариант 1 или 2) хронится другим оборудованием синхронного Ethernet (аналогичный вариант), оборудованием тактового генератора СЦИ (SEC) или более высококачественным тактовым генератором. Для сетей синхронного Ethernet рекомендуется иерархическое распределение сигналов синхронизации. Сигналы синхронизации не должны переходить от синхронного Ethernet, работающего в автономном режиме/режиме удержания, к генератору более высокого качества, поскольку последний не должен следовать за сигналом синхронного Ethernet, находящегося в состоянии отказа.

Некоторые виды оборудования Ethernet, такие как регенераторы/ретрансляторы, должны обеспечивать возможность сквозной синхронизации для передачи сигналов хронирования через синхронный Ethernet. Такое оборудование является предметом дальнейшего изучения.

Более подробная информация о синхронном Ethernet содержится в [ITU-T G.781], [ITU-T G.8261] и [ITU-T G.8264].

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.703] Recommendation ITU-T G.703 (2001), *Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces.*
- [ITU-T G.781] Recommendation ITU-T G.781 (1999), *Synchronization layer functions.*
- [ITU-T G.803] Recommendation ITU-T G.803 (2000), *Architecture of transport networks based on the synchronous digital hierarchy (SDH).*
- [ITU-T G.810] Recommendation ITU-T G.810 (1996), *Definitions and terminology for synchronization networks.*
- [ITU-T G.811] Recommendation ITU-T G.811 (1997), *Timing characteristics of primary reference clocks.*
- [ITU-T G.812] Recommendation ITU-T G.812 (2004), *Timing requirements of slave clocks suitable for use as node clocks in synchronization networks.*
- [ITU-T G.813] Recommendation ITU-T G.813 (2003), *Timing characteristics of SDH equipment slave clocks (SEC).*
- [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.8261] Рекомендация МСЭ-Т G.8261/Y.1361 (2008 г.), *Аспекты хронирования и синхронизации в пакетных сетях.*
- [ITU-T G.8264] Recommendation ITU-T G.8264/Y.1364 (2008), *Distribution of timing information through packet networks.*
- [ITU-T G.8272] Рекомендация МСЭ-Т G.8272 (2015 г.), *Характеристики хронирования первичных эталонных тактовых генераторов.*
- [IEEE 802.3] IEEE Standard 802.3 (2012), *IEEE Standard for Ethernet.*

3 Определения

В настоящей Рекомендации используются термины и определения, приведенные в [ITU-T G.810].

4 Сокращения и акронимы

В настоящей Рекомендации используются следующие сокращения и акронимы.

| | | |
|---------|--|---|
| BITS | Building Integrated Timing Source | Встроенный интегрированный источник синхронизации |
| BPSK | Binary Phase Shift Keying | Двухпозиционная фазовая манипуляция |
| CSMA/CD | Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection | Многостанционный доступ с контролем несущей и обнаружением конфликтов |
| DSL | Digital Subscriber Line | Цифровая абонентская линия |
| EC | Equipment Clock | Тактовый генератор оборудования |
| EEC | Synchronous Ethernet Equipment Clock | Тактовый генератор оборудования синхронной сети Ethernet |

| | | | |
|-------|--|-----|--|
| ESMC | Ethernet Synchronization Message Channel | | Канал передачи сообщений синхронизации Ethernet |
| ETH | Ethernet MAC layer network | | Сеть Ethernet уровня MAC |
| ETY | Ethernet PHY layer network | | Сеть Ethernet уровня PHY |
| GNSS | Global Navigation Satellite System | | Глобальная навигационная спутниковая система |
| MAC | Media Access Control | | Управление доступом к среде передачи данных |
| MTIE | Maximum Time Interval Error | | Максимально допустимая ошибка временного интервала |
| NE | Network Element | | Элемент сети |
| NRZ | Non-Return to Zero | | Без возврата к нулю |
| OAM | Operations, Administration and Maintenance | | Эксплуатация, администрирование и техническое обслуживание |
| PAM | Pulse Amplitude Modulation | | Амплитудно-импульсная модуляция |
| PHY | Physical (layer) | | Физический (уровень) |
| ppm | parts per million | | частей на миллион |
| PRC | Primary Reference Clock | | Первичный эталонный тактовый генератор |
| PRTC | Primary Reference Time Clock | | Первичный эталонный генератор сигналов хронирования |
| SDH | Synchronous Digital Hierarchy | СЦИ | Синхронная цифровая иерархия |
| SEC | SDH Equipment Clock | | Тактовый сигнал оборудования СЦИ |
| SSM | Synchronization Message Channel | | Канал передачи сообщений синхронизации |
| SSU | Synchronization Supply Unit | | Источник синхронизации |
| STM-N | Synchronous Transport Module-N | | Синхронный транспортный модуль уровня N |
| TDEV | Time Deviation | | Отклонение времени |
| TDM | Time Division Multiplexing | | Временное уплотнение (каналов) |
| UI | Unit Interval | | Единичный интервал |
| UTC | Coordinated Universal Time | | Всемирное координированное время |

5 Соглашения по терминологии

Отсутствуют.

6 Точность частоты

6.1 ЕЕС-вариант 1

В условиях автономной работы погрешность выходной частоты ЕЕС не должна превышать 4,6 ppm по отношению к опорному сигналу, прослеживаемому до тактового генератора [ITU-T G.811] или [ITU-T G.8272].

ПРИМЕЧАНИЕ. – Интервал времени, на котором должна соблюдаться указанная точность, подлежит дальнейшему изучению. Были предложены значения для этого интервала в один месяц и один год.

6.2 ЕЕС-вариант 2

В условиях длительного удержания синхронизации погрешность выходной частоты для узловых тактовых генераторов различных типов не должна превышать 4,6 ppm по отношению к опорному сигналу, прослеживаемому до первичного эталонного тактового генератора, в течение периода времени T одного года.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Период времени T применяется после непрерывной синхронной работы в течение 30 дней.

7 Полосы захвата, удержания и потери синхронизации

7.1 Полоса захвата

7.1.1 ЕЕС-вариант 1

Минимальная полоса захвата должна составлять $\pm 4,6$ ppm, независимо от смещения частоты внутреннего генератора колебаний.

7.1.2 ЕЕС-вариант 2

Минимальная полоса захвата должна составлять $\pm 4,6$ ppm, независимо от смещения частоты внутреннего генератора.

7.2 Полоса удержания

7.2.1 ЕЕС-вариант 1

Полоса удержания для ЕЕС-вариант 1 не требуется.

7.2.2 ЕЕС-вариант 2

Полоса удержания для ЕЕС-вариант 2 должна составлять $\pm 4,6$ ppm, независимо от смещения частоты внутреннего генератора.

7.3 Полоса потери синхронизации

7.3.1 ЕЕС-вариант 1

Полоса потери синхронизации подлежит дальнейшему изучению. Было предложено минимальное значение $\pm 4,6$ ppm.

7.3.2 ЕЕС-вариант 2

Полоса потери синхронизации неприменима.

8 Генерация шума

Шум, генерируемый ЕЕС, представляет собой фазовый шум, который создается на выходе при идеальном входном опорном сигнале или когда тактовый генератор находится в состоянии удержания синхронизации. Подходящий опорный сигнал для целей практических испытаний предполагает уровень характеристик со стабильностью по крайней мере в десять раз превышающей требования к выходному сигналу. Способность тактового генератора ограничить этот шум описывается его характеристикой стабильности частоты. Полезными показателями генерируемого шума служат максимальная погрешность временного интервала (MTIE) и отклонение времени (TDEV).

Значения MTIE и TDEV измеряются через эквивалент 10-Гц измерительного фильтра низких частот первого порядка с максимальным временем стробирования, $\tau_0 = 1/30$ секунды. Минимальный период измерения TDEV составляет двенадцатикратный период интеграции ($T = 12 \tau$).

8.1 Фазовый дрейф в синхронном режиме

8.1.1 ЕЕС-вариант 1

Когда ЕЕС находится в синхронном режиме и синхронизирован с опорным генератором без фазового дрейфа, величина МТІЕ, измеренная с помощью конфигурации синхронизированного тактового генератора, представленной на рисунке 1а [ITU-T G.810], при постоянной температуре (в пределах $\pm 1^\circ\text{K}$), должна находиться в пределах, указанных в таблице 1.

Таблица 1 – Генерация фазового дрейфа (МТІЕ) для ЕЕС-вариант 1 при постоянной температуре

| Предельное значение МТІЕ (нс) | Интервал наблюдения, τ (с) |
|-------------------------------|---------------------------------|
| 40 | $0,1 < \tau \leq 1$ |
| $40 \tau^{0,1}$ | $1 < \tau \leq 100$ |
| $25,25 \tau^{0,2}$ | $100 < \tau \leq 1\,000$ |

Результирующее требование показано толстой сплошной линией на рисунке 1.

С учетом влияния температуры допуск на вклад одного ЕЕС в общее значение МТІЕ увеличивается на значения, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Дополнительная генерация фазового (МТІЕ) для ЕЕС-вариант 1 с учетом влияния температуры

| Дополнительный допуск МТІЕ (нс) | Интервал наблюдения, τ (с) |
|---------------------------------|---------------------------------|
| $0,5 \tau$ | $\tau \leq 100$ |
| 50 | $\tau > 100$ |

Результирующие требования показаны тонкой сплошной линией на рисунке 1.

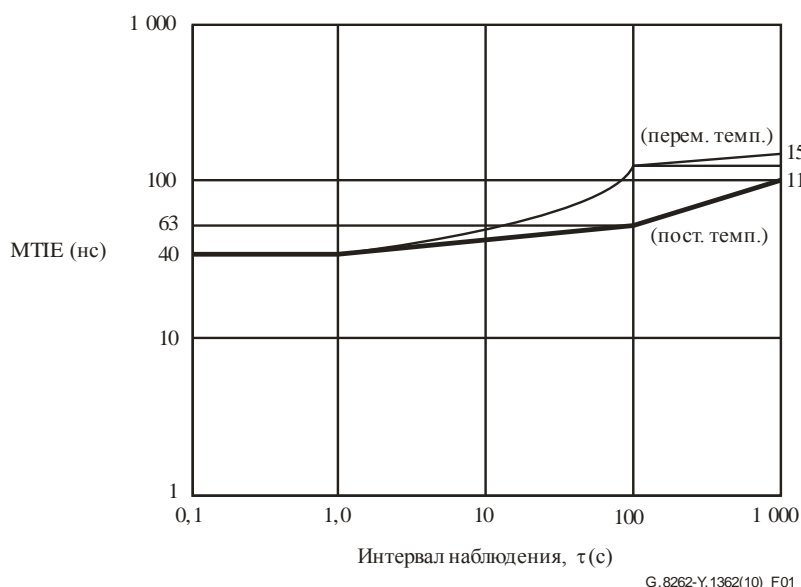


Рисунок 1 – Генерация фазового дрейфа (МТІЕ) для ЕЕС-вариант 1

Когда ЕЕС работает в синхронном режиме, значение TDEV, измеренное с помощью конфигурации синхронизированного тактового генератора, представленной на рисунке 1а [ITU-T G.810], при постоянной температуре (в пределах $\pm 1^\circ\text{K}$), должно находиться в пределах, указанных в таблице 3.

Таблица 3 – Генерация фазового дрейфа (TDEV) для ЕЕС-вариант 1 при постоянной температуре

| Предельное значение TDEV (нс) | Интервал наблюдения, τ (с) |
|-------------------------------|---------------------------------|
| 3,2 | $0,1 < \tau \leq 25$ |
| $0,64 \tau^{0,5}$ | $25 < \tau \leq 100$ |
| 6,4 | $100 < \tau \leq 1\ 000$ |

Результирующие требования показаны на рисунке 2.

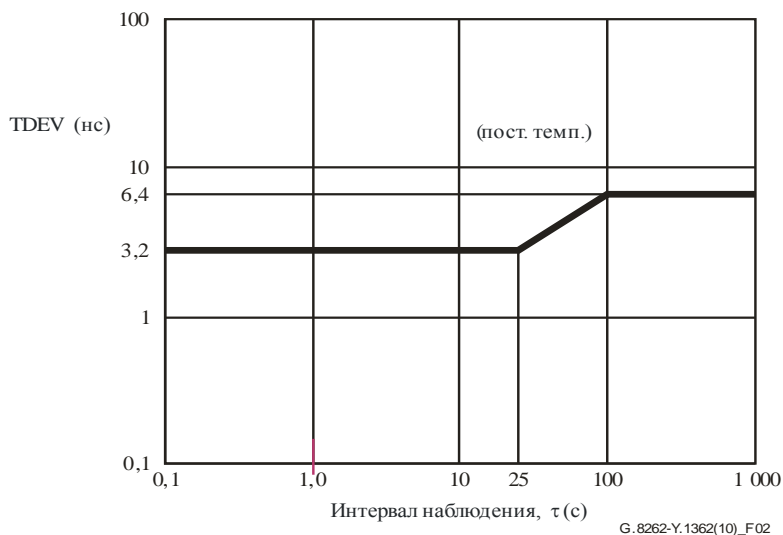


Рисунок 2 – Генерация фазового дрейфа (TDEV) для ЕЕС-вариант 1 при постоянной температуре

Допуск на вклад одного ЕЭС в общее значение TDEV с учетом влияния температуры подлежит дальнейшему изучению.

8.1.2 ЕЕС-вариант 2

Когда ЕЕС работает в синхронном режиме и синхронизирован с эталонным генератором без фазового дрейфа, значения MTIE и TDEV, измеренные на выходе при постоянной температуре (в пределах $\pm 1^\circ\text{K}$), должны находиться в пределах, указанных соответственно в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 – Генерация фазового дрейфа (MTIE) для ЕЕС-вариант 2 при постоянной температуре

| Предельное значение MTIE (нс) | Интервал наблюдения, τ (с) |
|-------------------------------|---------------------------------|
| 20 | $0,1 < \tau \leq 1$ |
| $20 \tau^{0,48}$ | $1 < \tau \leq 10$ |
| 60 | $10 < \tau \leq 1\ 000$ |

Таблица 5 – Генерация фазового дрейфа (TDEV) для ЕЕС-вариант 2 при постоянной температуре

| Предельное значение TDEV (нс) | Интервал наблюдения, τ (с) |
|-------------------------------|---------------------------------|
| $3,2 \tau^{-0,5}$ | $0,1 < \tau \leq 2,5$ |
| 2 | $2,5 < \tau \leq 40$ |
| $0,32 \tau^{0,5}$ | $40 < \tau \leq 1\ 000$ |
| 10 | $1\ 000 < \tau \leq 10\ 000$ |

Результирующие требования показаны на рисунках 3 и 4.



Рисунок 3 – Генерация фазового дрейфа (МТЕ) для ЕЕС-вариант 2 при постоянной температуре

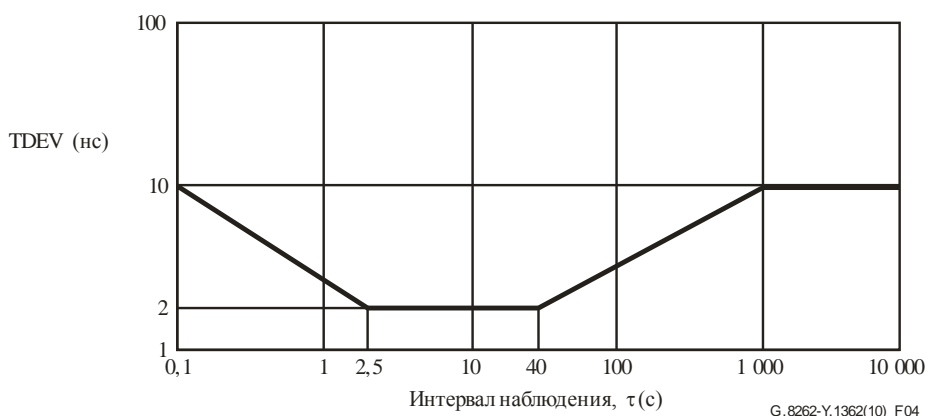


Рисунок 4 – Генерация фазового дрейфа (TDEV) для ЕЕС-вариант 2 при постоянной температуре

8.2 Фазовый дрейф без синхронизации

Когда тактовый генератор не привязан к опорному сигналу синхронизации, случайные составляющие шума незначительны по сравнению с детерминированными эффектами, такими как начальное смещение частоты. Поэтому эффекты фазового дрейфа без синхронизации рассматриваются в разделе 11.2.

8.3 Дрожание

Большинство требований настоящей Рекомендации не зависят от выходного интерфейса, на котором они измеряются, однако для создаваемого дрожания это не так; требования к создаваемому дрожанию опираются на существующие рекомендации, в которых для разных скоростей интерфейсов указаны разные предельные значения. Для интерфейсов, указанных в разделе 12, эти требования излагаются отдельно.

8.3.1 ЕЕС-варианты 1 и 2

Дрожание на выходе для интерфейса синхронного Ethernet

При отсутствии дрожания на входе интерфейса синхронизации внутреннее дрожание на выходах интерфейсов синхронного Ethernet, измеренное в течение 60-секундного интервала, не должно превышать пределов, указанных в таблице 6.

Таблица 6 – Возникновение дрожания в синхронном Ethernet для ЕЕС-варианты 1 и 2

| Интерфейс | Измерительный фильтр | Полный размах амплитуды (UI) |
|--------------------------------|----------------------|------------------------------|
| 1G (Примечания 1, 2, 4, 5) | От 2,5 кГц до 10 МГц | 0,50 |
| 10G (Примечания 1, 3, 4, 5) | От 20 кГц до 80 МГц | 0,50 |
| 25G (Примечания 1, 4, 5, 6) | От 20 кГц до 200 МГц | 1,2 |

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Для синхронного Ethernet отсутствуют конкретные требования по дрожанию на высоких частотах. В дополнение к конкретным требованиям по дрожанию в широкой полосе для синхронного Ethernet, приведенным в этой таблице, должны выполняться соответствующие требования по дрожанию [IEEE 802.3]. [IEEE 802.3] определяет методику измерения. Применимость этой методики измерений в условиях сети синхронизации подлежит дальнейшему изучению.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Диапазон 1G включает в себя интерфейсы 1000BASE-KX, -SX, -LX; многополосные интерфейсы подлежат дальнейшему изучению.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Диапазон 10G включает в себя интерфейсы 10GBASE-SR/LR/ER, 10GBASE-LRM, 10GBASE-SW/LW/EW и многополосные интерфейсы, состоящие из полос 10G, в том числе 40GBASE-KR4/CR4/SR4/LR4 и 100GBASE-CR10/SR10.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Диапазон 25G включает в себя многополосные интерфейсы, состоящие из полос 25G, в том числе 100GBASE-LR4/ER4.

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – 1G: (1000BASE-KX, -SX, -LX) 1 UI = 0,8 нс
 10G (10GBASE-SR/LR/ER, -LRM, 40GBASE-KR4/CR4/SR4/LR4, 100GBASE-CR10/SR10): 1 UI = 96,97 пс
 10G (10GBASE-SW/LW/EW): 1 UI = 100,47 пс
 25G (100GBASE-LR4/ER4): 1 UI = 38,79 пс

ПРИМЕЧАНИЕ 6. – Размах амплитуды дрожания для полос 25G увеличен с 0,5 UI до 1,2 UI, то есть в 2,4 раза. Для компенсации этого увеличения сопрягающую частоту фильтра высоких частот, используемую для интерфейса 10G, нужно сначала увеличить в 2,5 раза, чтобы учесть повышение скорости в линии относительно 10G, а затем уменьшить в 2,4 раза, чтобы учесть увеличение амплитуды. Это дает сопрягающую частоту фильтра высоких частот 20,833 кГц, которая для удобства округляется до 20 кГц; это округление до меньшего значения немного ужесточает данное требование.

Дрожание на выходе интерфейсов 2048 кГц, 2048 кбит/с, 1544 кбит/с и STM-N

Дрожание, создаваемое в интерфейсах 2048 кГц и 2048 кбит/с, а также в интерфейсе синхронного транспортного модуля-N (STM-N) для варианта 1, определяется в разделе 7.3 [ITU-T G.813].

Дрожание, создаваемое в интерфейсе 1544 кбит/с и в интерфейсах STM-N для варианта 2, определяется в разделе 7.3 [ITU-T G.813].

9 Устойчивость к шуму

Устойчивость ЕЕС к шуму означает минимально допустимый уровень фазового шума на входе тактового генератора, который должен соблюдаться, в то же время:

- оставаясь в пределах установленных характеристик тактового сигнала. Точные пределы характеристик подлежат дальнейшему изучению;
- не вызывая появления каких-либо аварийных сигналов;
- не вызывая смену опорного тактового генератора;
- не вызывая переход тактового генератора в режим удержания синхронизации.

В общем случае устойчивость ЕЕС к шуму – это же самое, что и сетевые ограничения интерфейса синхронизации в целях сохранения приемлемых характеристик. Однако сетевые ограничения интерфейса синхронизации могут различаться в зависимости от приложения. Поэтому для определения устойчивости ЕЕС к шуму следует использовать сетевые ограничения для наихудшего случая. Различные сетевые ограничения рассматриваются в Дополнении I [ITU-T G.813].

Допуски на фазовый дрейф и дрожание, приведенные в разделах 9.1 и 9.2, соответствуют наилучшим допустимым уровням для интерфейса синхронизации. Сигнал TDEV, используемый для испытаний на соответствие, должен формироваться путем добавления источников белого гауссова шума, каждый из которых отфильтрован так, чтобы получить подходящий тип шумового процесса с надлежащей амплитудой.

MTIE и TDEV измеряются через эквивалент 10-Гц измерительного фильтра низких частот первого порядка с максимальным временем стробирования, $\tau_0 = 1/30$ секунды. Минимальный период измерения TDEV составляет двенадцатикратный период интеграции ($T = 12 \tau$).

9.1 Устойчивость к фазовому дрейфу

9.1.1 ЕЕС-вариант 1

Значения допустимого фазового дрейфа на входе, выраженные в форме ограничений MTIE и TDEV, приведены в таблицах 7 и 8 соответственно.

Таблица 7 – Допустимый фазовый дрейф на входе (MTIE) для ЕЕС-вариант 1

| Предельное значение MTIE (мкс) | Интервал наблюдения, τ (с) |
|--------------------------------|---------------------------------|
| 0,25 | $0,1 < \tau \leq 2,5$ |
| $0,1 \tau$ | $2,5 < \tau \leq 20$ |
| 2 | $20 < \tau \leq 400$ |
| $0,005 \tau$ | $400 < \tau \leq 1\ 000$ |

Таблица 8 – Допустимый фазовый дрейф на входе (TDEV) для ЕЕС-вариант 1

| Предельное значение TDEV (нс) | Интервал наблюдения, τ (с) |
|-------------------------------|---------------------------------|
| 12 | $0,1 < \tau \leq 7$ |
| $1,7 \tau$ | $7 < \tau \leq 100$ |
| 170 | $100 < \tau \leq 1\ 000$ |

Результирующие требования показаны на рисунках 5 и 6.

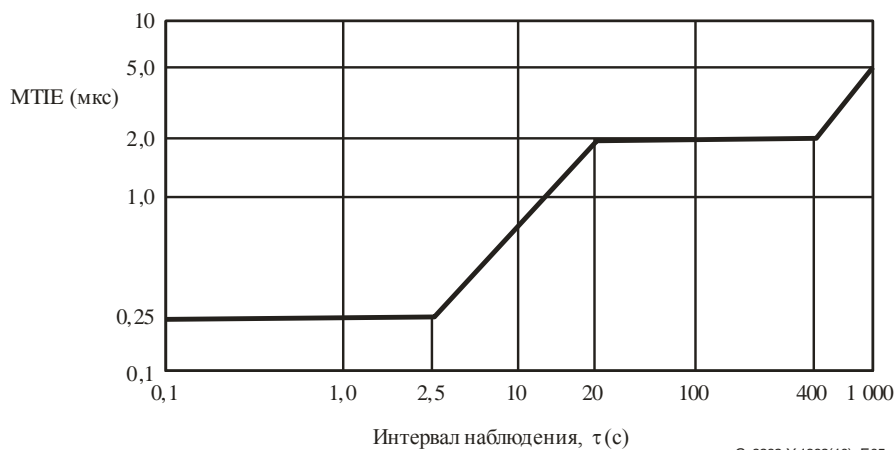


Рисунок 5 – Допустимый фазовый дрейф на входе (MTIE) для ЕЕС-вариант 1

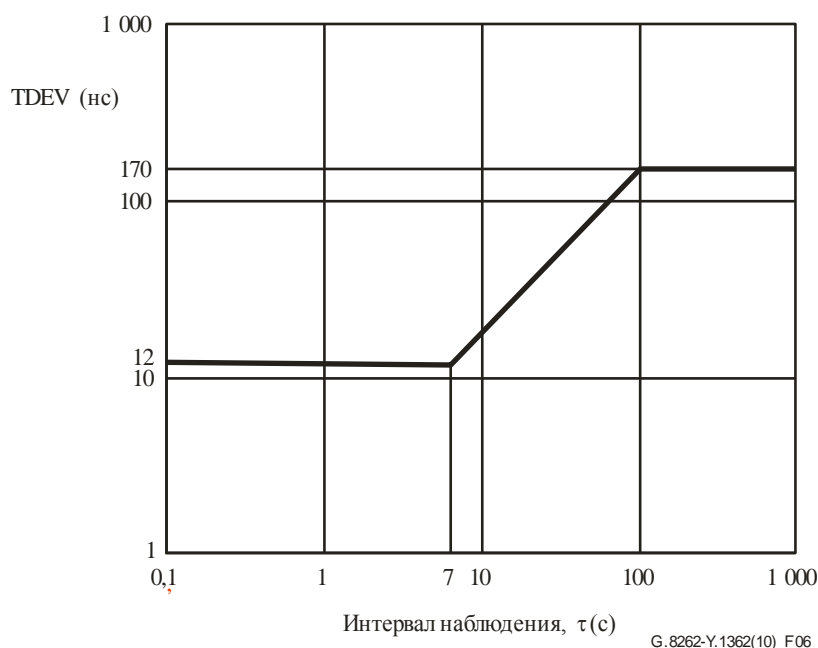


Рисунок 6 – Допустимый фазовый дрейф на входе (TDEV) для ЕЕС-вариант 1

Подходящие тестовые сигналы для проверки соответствия маске, приведенной на рисунке 6, находятся в стадии изучения. Для проверки соответствия маске, показанной на рисунке 5, можно использовать тестовые сигналы с синусоидальными колебаниями фазы в соответствии с уровнями, указанными в таблице 9.

Таблица 9 – Нижний предел максимально допустимого синусоидального фазового дрейфа на входе для ЕЕС-вариант 1

| Полный размах амплитуды | | | Частота фазового дрейфа | | | | |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------------------|-------------|-------------|------------|------------|
| A_1 (мкс) | A_2 (мкс) | A_3 (мкс) | f_4 (МГц) | f_3 (МГц) | f_2 (МГц) | f_1 (Гц) | f_0 (Гц) |
| 0,25 | 2 | 5 | 0,32 | 0,8 | 16 | 0,13 | 10 |

Результирующие требования показаны на рисунке 7.

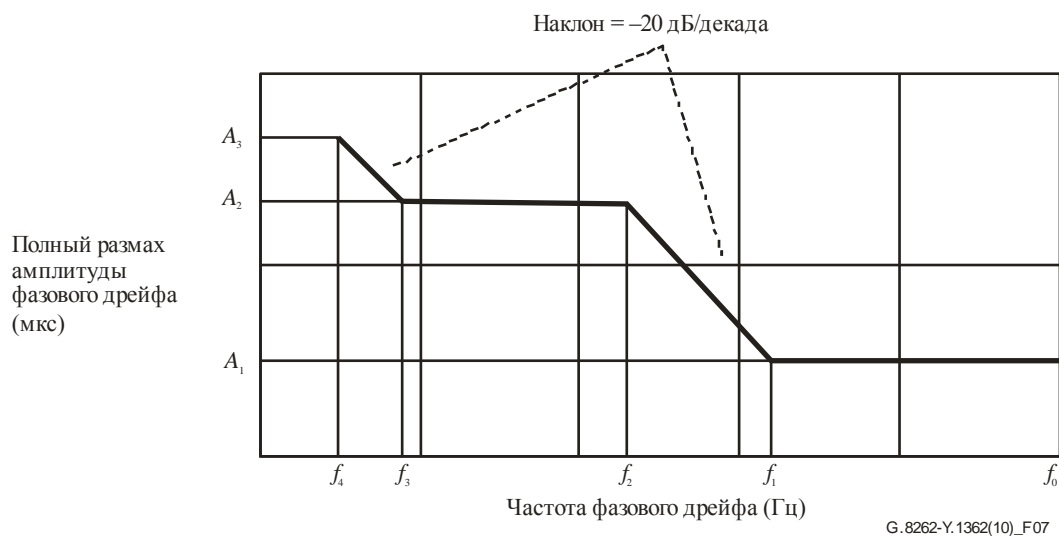


Рисунок 7 – Нижний предел максимально допустимого синусоидального фазового дрейфа на входе для ЕЕС-вариант 1

9.1.2 ЕЕС-вариант 2

Допустимая величина фазового дрейфа ЕЕС, выраженная в TDEV, приведена в таблице 10.

Таблица 10 – Допустимый фазовый дрейф на входе (TDEV) для ЕЕС-вариант 2

| Предельное значение TDEV (нс) | Интервал наблюдения, τ (с) |
|-------------------------------|---------------------------------|
| 17 | $0,1 < \tau \leq 3$ |
| $5,77 \tau$ | $3 < \tau \leq 30$ |
| $31,6325 \tau^{0,5}$ | $30 < \tau \leq 1\ 000$ |

Результирующее требование показано на рисунке 8. Требование, выраженное в МПЕ, не определяется.

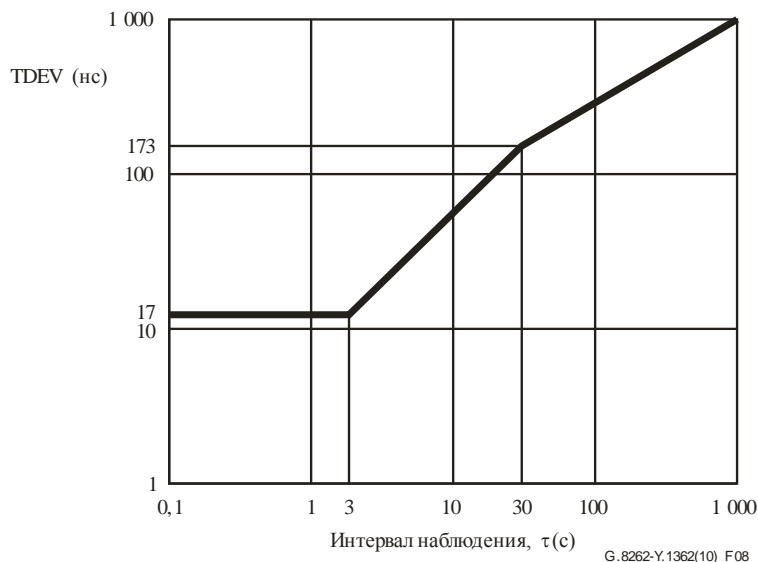


Рисунок 8 – Допустимый фазовый дрейф на входе (TDEV) для ЕЕС-вариант 2

9.2 Устойчивость к дрожанию

9.2.1 ЕЕС-варианты 1 и 2

Допустимая величина дрожания для интерфейса синхронного Ethernet:

Нижний предел максимально допустимого дрожания на входе интерфейсов Ethernet 1G для ЕЕС-варианты 1 и 2 приведен в таблице 11 и на рисунке 9.

Таблица 11 – Допуск на дрожание в широкой полосе для синхронного Ethernet 1G в случае ЕЕС-варианты 1 и 2

| Размах амплитуды дрожания (UI) | Частота f (Гц) |
|--|-------------------------|
| 312,5 | $10 < f \leq 12,1$ |
| $3\ 750 f^{-1}$ | $12,1 < f \leq 2,5\ k$ |
| 1,5 | $2,5\ k < f \leq 50\ k$ |
| ПРИМЕЧАНИЕ. – Диапазон 1G включает в себя 1000BASE-KX, -SX, -LX; многополосные интерфейсы подлежат дальнейшему изучению. | |

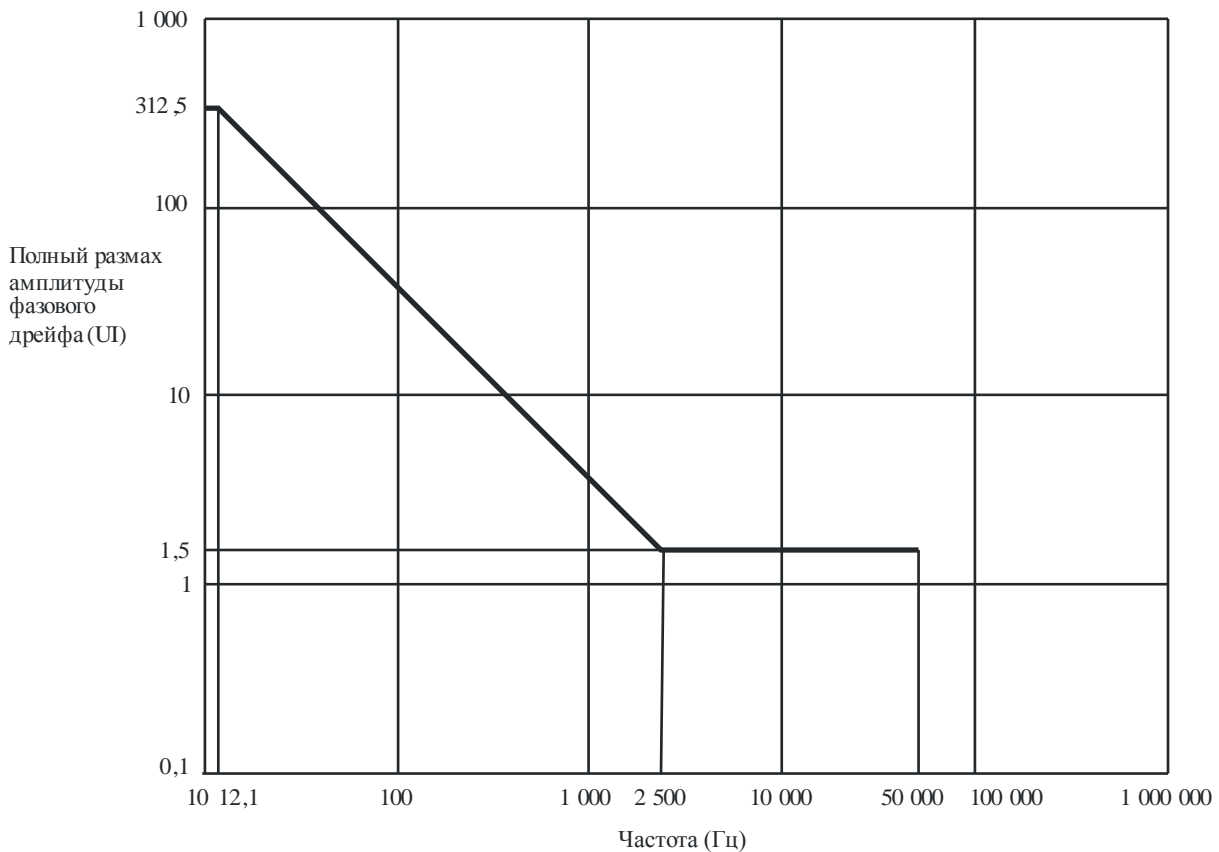


Рисунок 9 – Допуск на дрожание в широкой полосе для синхронного Ethernet 10G в случае ЕЕС-варианты 1 и 2

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В дополнение к конкретным требованиям по допуску на дрожание в широкой полосе для синхронного Ethernet должны выполняться соответствующие требования по допуску на дрожание [IEEE 802.3].

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Допуск на высокочастотное дрожание и способ генерирования тестового сигнала для интерфейсов с трафиком Ethernet свыше 637 кГц для целей тестирования указаны в [IEEE 802.3].

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Наклон выше уровня 50 кГц составляет 20 дБ/декада. Фактические значения в интервале между 50 кГц и 637 кГц подлежат дальнейшему исследованию, так как методы измерения [IEEE 802.3] и МСЭ-Т не полностью сопоставимы. Информация по характеристикам дрожания МСЭ приведена в Дополнении I [ITU-T G.825].

Значения нижнего предела максимально допустимого дрожания на входе интерфейсов Ethernet 10G для ЕЕС-варианты 1 и 2 приведены в таблице 12 и на рисунке 10.

Таблица 12 – Допуск на дрожание в широкой полосе для синхронного Ethernet 10G в случае ЕЕС-варианты 1 и 2

| Размах амплитуды дрожания (UI) | Частота F (Гц) |
|--------------------------------|----------------------|
| 2 488 | $10 < f \leq 12,1$ |
| $30\,000 f^{-1}$ | $12,1 < f \leq 20 k$ |
| 1,5 | $20 k < f \leq 40 k$ |

ПРИМЕЧАНИЕ. – Диапазон 10G включает в себя интерфейсы 10GBASE-SR/LR/ER, 10GBASE-LRM, 10GBASE-SW/LW/EW и многополосные интерфейсы, состоящие из полос 10G, в том числе 40GBASE-KR4/CR4/SR4/LR4 и 100GBASE-CR10/SR10.

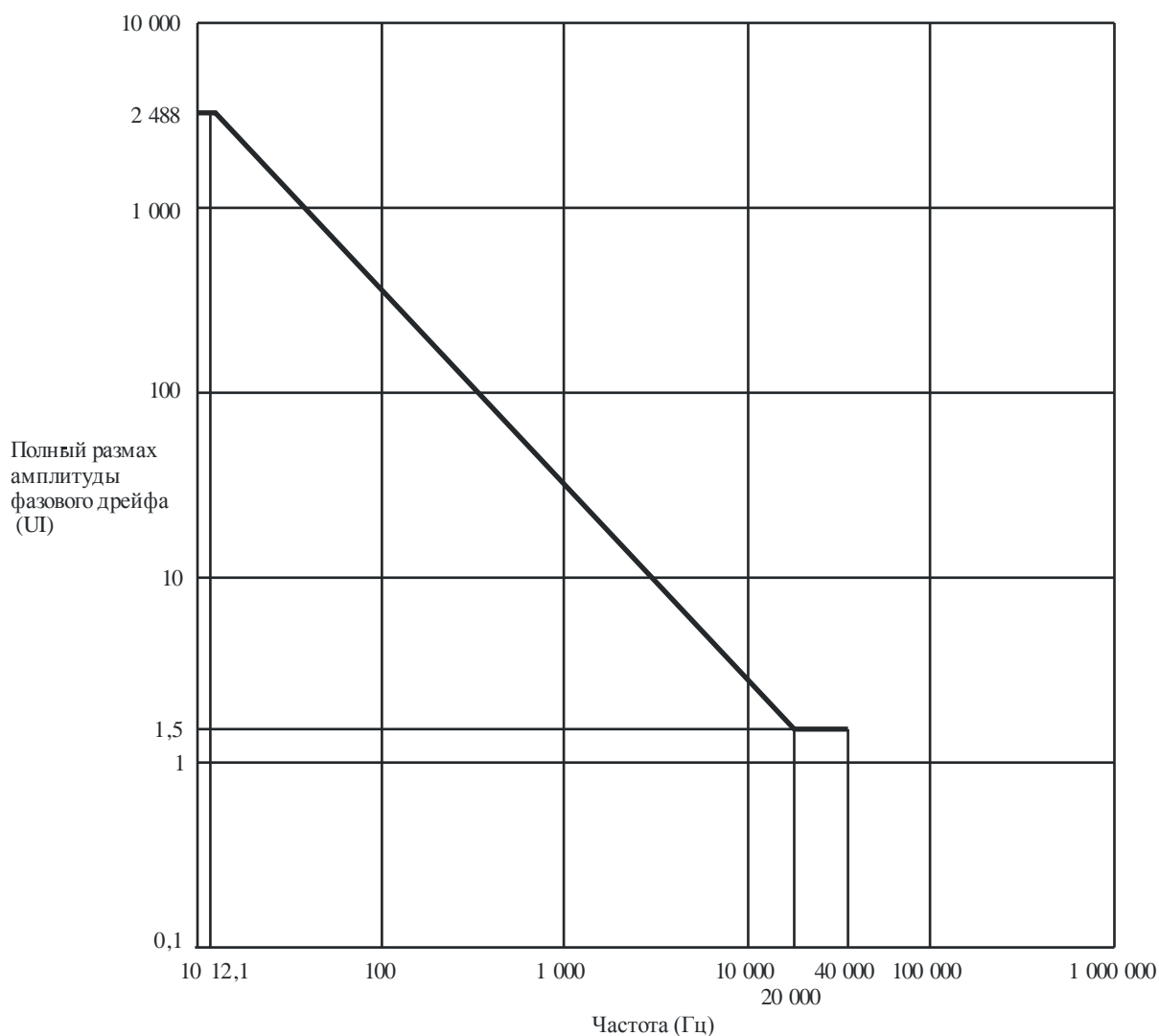


Рисунок 10 – Допуск на широкополосное дрожание в широкой полосе для синхронного Ethernet 10G в случае ЕЕС-варианты 1 и 2

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – В дополнение к конкретным требованиям по дрожанию в широкой полосе для синхронного Ethernet должны выполняться соответствующие требования по допуску на дрожание [IEEE 802.3].

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – Методы измерения [IEEE 802.3] и МСЭ-Т не вполне сопоставимы. Информация по характеристикам дрожания МСЭ приведена в Дополнении I [ITU-T G.825].

Нижний предел максимально допустимого дрожания на входе интерфейсов Ethernet 25G для ЕЕС-варианты 1 и 2 приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Допуск на дрожание в широкой полосе для синхронного Ethernet 25G в случае ЕЕС-варианты 1 и 2

| Размах амплитуды дрожания (UI) | Частота f (Гц) |
|--------------------------------|-------------------------|
| 6 445 | $10 < f \leq 11,17$ |
| $72\,000f^{-1}$ | $11,17 < f \leq 20\,k$ |
| 3,6 | $20\,k < f \leq 100\,k$ |

ПРИМЕЧАНИЕ. – Диапазон 25G включает в себя многополосные интерфейсы, состоящие из полос по 25G, в том числе 100GBASE-LR4/ER4.

Допуск на дрожание для интерфейсов 2048 кГц, 2048 кбит/с, 1544 кбит/с и STM-N:

Нижний предел максимально допустимого входного дрожания сигналов 2048 кГц и 2048 кбит/с для варианта 1 определяется в разделе 8.2 [ITU-T G.813].

Нижний предел максимально допустимого входного дрожания сигналов внешней синхронизации 1544 кбит/с для варианта 2 определяется в разделе 8.2 [ITU-T G.813].

Нижний предел максимально допустимого входного дрожания для интерфейсов STM-N определяется в [ITU-T G.825].

10 Передача шума

Передаточная характеристика тактового генератора ЕЕС определяет его свойства в отношении передачи ухода входной фазы относительно фазы несущей. ЕЕС можно рассматривать как фильтр нижних частот для значений разности между фактической входной фазой и идеальной входной фазой опорного сигнала. Минимальные и максимальные допустимые полосы пропускания такого фильтра нижних частот основаны на соображениях, описываемых в Дополнении II [ITU-T G.813], и приводятся ниже.

В полосе пропускания усиление фазы ЕЕС должно быть меньше 0,2 дБ (2,3%). Вышесказанное относится к линейной модели ЕЕС. Тем не менее реализация не должна ограничиваться этой моделью.

10.1 ЕЕС-вариант 1

Минимально допустимая полоса пропускания для ЕЕС составляет 1 Гц. Максимально допустимая полоса пропускания для ЕЕС составляет 10 Гц.

10.2 ЕЕС-вариант 2

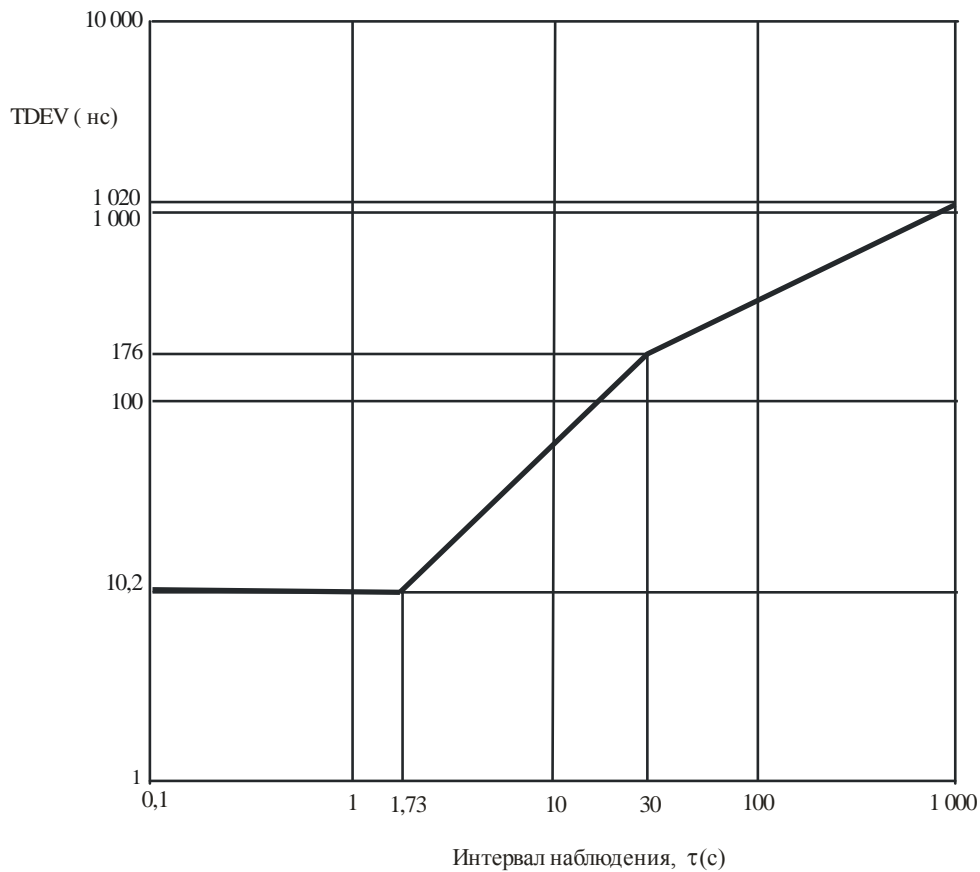
Сетевые элементы синхронного Ethernet или СЦИ, опирающиеся на сигнал хронирования Ethernet или STM-N, соответствующий маске входного TDEV, указанной на рисунке 8 и в таблице 10, должны выдавать на выходе сигналы, отвечающие ограничениям по выходному TDEV, приведенным в таблице 14.

**Таблица 14 – Передача фазового дрейфа для ЕЕС-вариант 2
(максимальный фазовый дрейф на выходе, когда входной фазовый дрейф
отвечает требованиям, указанным в таблице 10)**

| Предельное значение TDEV (нс) | Интервал наблюдения, τ (с) |
|-------------------------------|---------------------------------|
| 10,2 | $0,1 < \tau \leq 1,73$ |
| $5,88 \tau$ | $1,73 < \tau \leq 30$ |
| $32,26 \tau^{0,5}$ | $30 < \tau \leq 1\ 000$ |

Результирующее требование показано в маске, изображенной на рисунке 11. Цель этих масок – обеспечить максимальную полосу пропускания ЕЕС 0,1 Гц. Эти маски не следует использовать для проверки пиковых значений фазового сдвига. Требования к минимальной полосе пропускания отсутствуют.

TDEV измеряется через эквивалент 10-Гц измерительного фильтра низких частот первого порядка с максимальным временем стробирования $\tau_0 = 1/30$ с. Минимальный период измерения TDEV составляет двенадцатикратный период интеграции ($T = 12 \tau$).



**Рисунок 11 – Передача фазового дрейфа ЕЕС-вариант 2
(максимальный фазовый дрейф на выходе, когда входной фазовый дрейф
отвечает требованиям, указанным на рисунке 8)**

ПРИМЕЧАНИЕ. – Значения, представленные на этой маске передачи, на 2% выше, чем у маски на рисунке 8.

Маски, приведенные на рисунках 8 и 11, используются соответственно для проверки допустимого фазового дрейфа в сети и измерения передачи TDEV; они не указывают ограничение фазового дрейфа в сети, которое должно соблюдаться для удовлетворения требований по накоплению фазового дрейфа нагрузкой. На практике это не приведет к потере синхронизации в ЕЕС, поскольку ограничение на допустимый фазовый дрейф в сети, указанное на рисунке 11, находится в полосе пропускания тактового генератора ЕЕС-вариант 2. Тем не менее это вызовет повышенное накопление фазового дрейфа.

11 Переходные характеристики и характеристики удержания синхронизации

Требования настоящего раздела распространяются на ситуации, когда на входной сигнал действуют сбои или ошибки передачи (например, короткие прерывания, переключение между разными сигналами синхронизации, потеря опорного сигнала и т. д.), приводящие к фазовым переходным процессам на выходе ЕЕС. Во избежание дефектов или отказов передачи необходима устойчивость к таким нарушениям. Отказы и нарушения передачи – это обычные стрессовые условия в среде передачи.

Рекомендуется, чтобы все фазовые изменения на выходе ЕЕС оставались в пределах уровней, указываемых в следующих разделах.

Измерения МПЕ для тактовых генераторов ЕЕС-вариант 2 осуществляются через эквивалент 100-Гц измерительного фильтра низких частот первого порядка.

11.1 Краткосрочная фазовая переходная характеристика

11.1.1 ЕЕС-вариант 1

Данное требование отражает характеристику тактового генератора в тех случаях, когда (выбранный) входной опорный сигнал потерян из-за отказа в канале опорного сигнала и когда одновременно с обнаружением отказа или вскоре после этого (например, в случаях автономного восстановления) доступен второй входной опорный сигнал, прослеживаемый до того же источника опорной частоты. В таких случаях опорный сигнал теряется не более чем на 15 секунд. Изменение выходной фазы по отношению к входному опорному сигналу до его потери ограничивается следующими требованиями:

Фазовая погрешность не должна превышать $\Delta t + 5 \times 10^{-8} \times S$ секунд за любой период времени S менее 15 с. Время Δt соответствует двум фазовым скачкам, которые могут возникнуть при переходе в состояние удержания синхронизации и обратно, и не должно превышать 120 нс при временном смещении частоты не более чем на 7,5 ppm.

Результирующее общее требование приведено на рисунке 12. Этот рисунок отражает наихудший случай изменения фазы, связанный с переключением опорного тактового сигнала ЕЕС. Тактовые генераторы могут изменять состояние быстрее, чем показано здесь. Справочная информация по требованиям, которые привели к данному требованию, содержится в Дополнении II [ITU-T G.813].

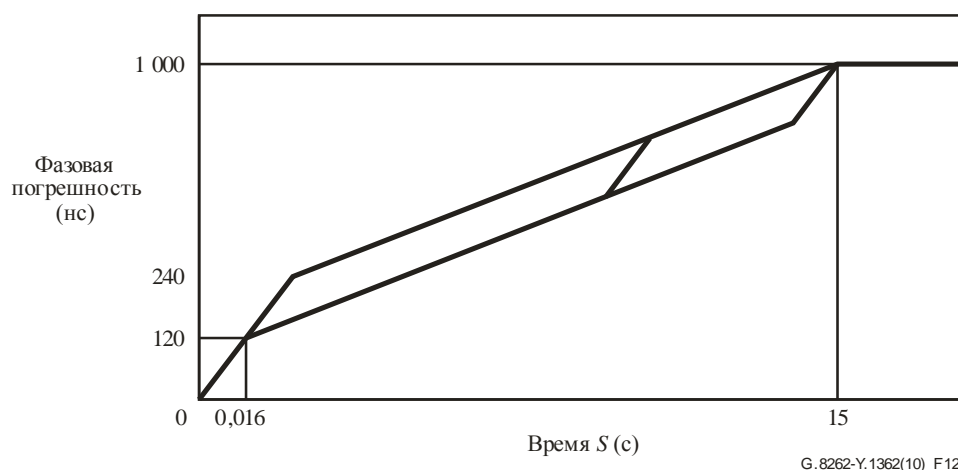


Рисунок 12 – Максимальные переходные состояния фазы на выходе из-за переключения опорного сигнала для ЕЕС-вариант 1

На рисунке 12 показаны два скачка фазы при переключении тактового генератора. Первый скачок отражает первоначальную реакцию на потерю опорного сигнала синхронизации с последующим переходом в режим удержания синхронизации. Величина этого скачка соответствует смещению частоты менее чем на 7,5 ppm за период времени менее 16 мс. Через 16 мс изменение фазы ограничивается линией с наклоном 5×10^{-8} для сдерживания активности указателя на приборе. Второй скачок, который происходит в течение 15 с после входа в режим удержания, вызван переключением на дополнительный опорный сигнал. К этому скачку применяются те же требования. После второго скачка фазовая погрешность должна оставаться постоянной и меньшей 1 мкс.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Уход фазы на выходе при переключении между опорными сигналами, которые не относятся к одному и тому же первичному эталонному тактовому генератору (PRC), подлежит дальнейшему изучению.

В тех случаях, когда входной сигнал синхронизации теряется на время более чем 15 с, применяются требования раздела 11.2.

11.1.2 ЕЕС-вариант 2

Во время операций по перенастройке синхронизации (например, переключению опорных сигналов) выходной сигнал тактового генератора должен соответствовать требованиям МТИЕ, указанным в разделе 11.4.2.

11.2 Долгосрочная характеристика фазового переходного состояния (удержание)

Это требование ограничивает максимальный уход фазы в выходном сигнале хронирования. Кроме того, он ограничивает накопление сдвига фазы во время искажений входного сигнала или внутренних возмущений.

11.2.1 ЕЕС-вариант 1

Когда тактовый генератор ЕЕС теряет все свои опорные сигналы, говорят, что он входит в состояние удержания синхронизации. Фазовая погрешность ΔT на выходе ЕЕС по отношению ко входу в момент потери опорного сигнала за любой период $S > 15$ с не должна превышать следующих пределов:

$$\Delta T(S) = \{(a_1 + a_2)S + 0,5bS^2 + c\} \quad (\text{нс}),$$

где:

- $a_1 = 50$ нс/с (см. Примечание 1);
- $a_2 = 2000$ нс/с (см. Примечание 2);
- $b = 1,16 \times 10^{-4}$ нс/с² (см. Примечание 3);
- $c = 120$ нс (см. Примечание 4).

Это ограничение относится к максимальному смещению частоты $\pm 4,6$ ppm. Поведение для $S < 15$ с определяется в разделе 11.1.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Сдвиг частоты a_1 соответствует начальному смещению частоты в пределах 5×10^{-8} (0,05 ppm).

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Смещение частоты a_2 вызвано изменением температуры после входа тактового генератора в режим удержания и соответствует 2×10^{-6} (2 ppm). При отсутствии изменения температуры член $a_2 S$ не вносит никакого вклада в фазовую погрешность.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Дрейф b вызван старением: $1,16 \times 10^{-4}$ нс/с² соответствует дрейфу частоты 1×10^{-8} в сутки (0,01 ppm/сутки). Это значение является производным от типичных характеристик старения через десять дней непрерывной работы. Ежедневное измерение этого параметра не предполагается, поскольку будет доминировать температурный эффект.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Смещение фазы, c , учитывает любой дополнительный фазовый сдвиг, который может возникнуть во время перехода в состояние удержания синхронизации.

Результирующее общее требование для постоянной температуры (то есть когда влиянием температуры можно пренебречь) приведено на рисунке 13.

$$\Delta T(S) = \left(a_1 S + \frac{b}{2} S^2 + c \right) \quad (\text{нс}).$$

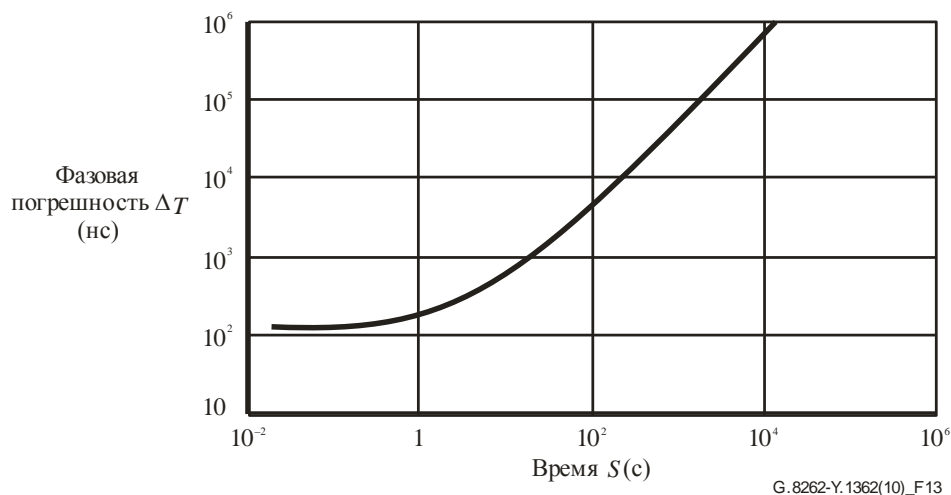


Рисунок 13 – Допустимая фазовая погрешность для ЕЕС-вариант 1 в режиме удержания синхронизации при постоянной температуре

11.2.2 ЕЕС-вариант 2

Когда тактовый генератор ЕЕС теряет все свои опорные сигналы, он входит в состояние удержания синхронизации. Фазовая погрешность ΔT на выходе ведомого тактового генератора с момента потери опорного сигнала за любой период времени S секунд должна удовлетворять следующему ограничению:

$$|\Delta T(S)| \leq \{(a_1 + a_2)S + 0,5bS^2 + c\} \quad (\text{нс}).$$

Производная от $\Delta T(S)$ – относительное смещение частоты – за любой период времени S секунд должна удовлетворять следующему ограничению:

$$|d(\Delta T(S))/dS| \leq \{a_1 + a_2 + bS\} \quad (\text{нс/с}).$$

Вторая производная от $\Delta T(S)$ – дрейф относительного смещения частоты – за любой период времени S секунд должна удовлетворять следующему ограничению:

$$|d^2(\Delta T(S))/dS^2| \leq d \quad (\text{нс/с}^2).$$

При применении вышеуказанных требований для производной $\Delta T(S)$ и второй производной $\Delta T(S)$ период S должен начинаться по окончании любого переходного процесса, связанного с вступлением в режим удержания. Во время этого периода перехода применяются требования по переходным процессам из раздела 11.4.2.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Параметр a_1 – это начальное смещение частоты при постоянной температуре (± 1 К).

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Параметр a_2 учитывает колебания температуры после перехода тактового генератора в режим удержания. При отсутствии колебаний температуры член $a_2 S$ не вносит вклад в фазовую погрешность.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Параметр b соответствует среднему дрейфу частоты, вызванному старением. Это значение является производным от типичных характеристик старения через 60 дней непрерывной работы. Ежедневное измерение этого параметра не предполагается, поскольку температурный эффект будет доминировать.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Смещение фазы, c , учитывает любой дополнительный фазовый сдвиг, который может возникнуть во время перехода в состояние удержания синхронизации.

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – Параметр d соответствует максимально допустимой скорости временного дрейфа частоты при постоянной температуре в течение периода удержания. Однако значения d и b не обязательно должны быть равными. Следует отметить, что для некоторых периодов времени, особенно коротких, этот параметр может быть трудно проверяемым и измеренное значение может оказаться незначительным.

Допустимая характеристика фазовой погрешности для ЕЕС-вариант 2 указана в таблице 15.

Таблица 15 – Переходная характеристика во время удержания

| | ЕЕС-вариант 2 |
|----------------------------|-----------------------|
| Применяется для | $S > \text{TBD}$ |
| a_1 (нс/с) | 50 |
| a_2 (нс/с) | 300 |
| b (нс/с ²) | $4,63 \times 10^{-4}$ |
| c (нс) | 1000 |
| d (нс/с ²) | $4,63 \times 10^{-4}$ |
| TBD: подлежит определению. | |

11.3 Фазовая характеристика при прерываниях входного сигнала

11.3.1 ЕЕС-вариант 1

При кратковременных прерываниях входных сигналов синхронизации, которые не вызывают переключения опорных сигналов, изменение фазы выходного сигнала не должно превышать 120 нс со смещением частоты не более 7,5 ppm в течение максимального периода в 16 мс.

11.3.2 ЕЕС-вариант 2

Это предмет дальнейшего изучения.

11.4 Скачок фазы

11.4.1 ЕЕС-вариант 1

В редких случаях внутреннего тестирования или других внутренних возмущений оборудования тактового генератора синхронного Ethernet (но исключая серьезные отказы аппаратуры, которые могут привести к срабатыванию защиты оборудования тактового генератора) должны соблюдаться следующие условия:

- изменение фазы в течение любого периода S (мс) длительностью до 16 мс не должно превышать $7,5S$ нс;
- изменение фазы в течение любого периода S (мс) длительностью от 16 мс до 2,4 с не должно превышать 120 нс;
- для периодов, превышающих 2,4 с, изменение фазы за каждый интервал в 2,4 с не должно превышать 120 нс с временным смещением не более 7,5 ppm до общего значения 1 мкс.

11.4.2 ЕЕС-вариант 2

В редких случаях внутреннего тестирования или операций перенастройки внутри ведомого тактового генератора изменение фазы на выходе ЕЕС-вариант 2 должно соответствовать характеристикам МТГЕ, указанным в таблице 16.

Таблица 16 – Значение МТГЕ на выходе, вызванное операциями переключения/перенастройки опорных сигналов, для ЕЕС-вариант 2

| Предельное значение МТГЕ (нс) | Интервал наблюдения, τ (с) |
|-------------------------------|---------------------------------|
| Не указано | $\tau \leq 0,014$ |
| $7,6 + 885 \tau$ | $0,014 < \tau \leq 0,5$ |
| $300 + 300 \tau$ | $0,5 < \tau \leq 2,33$ |
| 1 000 | $2,33 < \tau$ |

Это требование к МТГЕ иллюстрируется на рисунке 14.

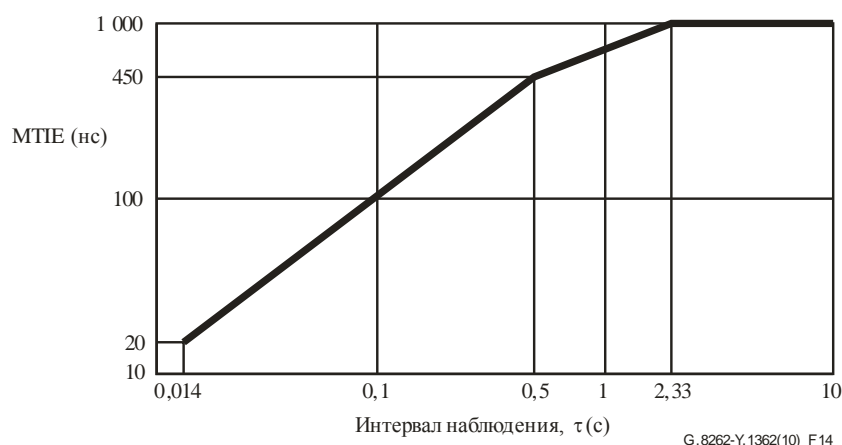


Рисунок 14 – Значение МТГЕ на выходе, вызванное операциями переключения/перенастройки опорных сигналов, для ЕЕС-вариант 2

12 Интерфейсы

Требования настоящей Рекомендации относятся к внутренним опорным точкам сетевых элементов (NE), в которые встроен тактовый генератор и которые, следовательно, могут быть недоступны для измерения и анализа пользователем. Поэтому характеристики ЕЕС определяются не в этих внутренних опорных точках, а на внешних интерфейсах оборудования.

Входные и выходные интерфейсы синхронизации оборудования Ethernet, в котором могут содержаться тактовые генераторы ЕЕС, это:

- интерфейсы 1544 кбит/с в соответствии с [ITU-T G.703];
- внешние интерфейсы 2048 кГц в соответствии с [ITU-T G.703];
- интерфейсы 2048 кбит/с в соответствии с [ITU-T G.703];
- интерфейсы трафика STM-N (для гибридных сетевых элементов);
- интерфейс 64 кГц в соответствии с [ITU-T G.703];
- внешние интерфейсы 6312 кГц в соответствии с [ITU-T G.703];
- интерфейсы синхронного Ethernet.

Все перечисленные выше интерфейсы не могут быть реализованы во всех видах оборудования. Эти интерфейсы должны соответствовать требованиям по дрожанию и фазовому дрейфу, установленным в настоящей Рекомендации.

Меднопроводные интерфейсы Ethernet допускают полудуплексный режим и коллизии на линии, что может приводить к подавлению сигналов и нарушению хронирования; поэтому интерфейсы синхронного Ethernet должны работать только в дуплексном режиме и обеспечивать непрерывный поток битов.

ПРИМЕЧАНИЕ. – В целях функциональной совместимости с существующим сетевым оборудованием интерфейсы к тактовым сигналам и от тактовых сигналов внешних сетей могут поддерживать канал сообщений синхронизации (SSM).

12.1 Внешние интерфейсы синхронизации

Для синхронизации оборудования Ethernet потребуется поддержка целого ряда разновидностей внешних интерфейсов синхронизации, позволяющих получать сигналы синхронизации от тактовых генераторов SSU/BITS [ITU-T G.812], от тактовых генераторов оборудования СЦИ (SEC) [ITU-T G.813] или от любого другого оборудования синхронного Ethernet, как указано в настоящей Рекомендации.

Основные задачи:

- обеспечить простой путь перехода от существующих архитектур распределения сигналов синхронизации на основе передачи с цифровой иерархией (СЦИ) к будущим архитектурам синхронизации, основанным на больших транспортных сетях Ethernet со встроенными ЕЕС;
- обеспечить транспортировку (частоты) синхронизации на физическом уровне, где она не подвержена нарушениям, вызванным нагрузкой.

Тип внешнего интерфейса указан в таблице 17.

Таблица 17 – Тип внешнего интерфейса

| Внешний интерфейс | Поддерживает |
|--|--|
| Интерфейс 2,048 МГц/2,048 Мбит/с 1,544 МГц/1,544 Мбит/с на базе [ITU-T G.703] | Устаревшую/исходную архитектуру по частоте ПРИМЕЧАНИЕ. Позволяет перейти от устаревшей архитектуры, основанной на СЦИ, на расширяемую исходную архитектуру сетей на основе синхронного Ethernet с использованием функциональности существующего источника синхронизации (SSU) |
| Синхронный Ethernet (скорость передачи данных подлежит уточнению) | Исходные требования по частоте |

Внешние интерфейсы других типов подлежат дальнейшему изучению.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Поддержка синхронного Ethernet для передачи сигналов хронирования (то есть сигналов как частоты, так и времени) подлежит дальнейшему исследованию.

Дополнение I

Гибридные сетевые элементы с использованием интерфейсов STM-N и Ethernet (ETU)

(Настоящее Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

Тактовые генераторы ЕЕС могут поддерживать использование гибридных сетевых элементов (NE) в любом месте цепи синхронизации, как показано в Дополнении XII [ITU-T G.8261]. Рисунок I.1 иллюстрирует гибридные NE и взаимосвязи синхронизации между тактовым генератором оборудования (ЕС) и интерфейсами STM-N и ETU.

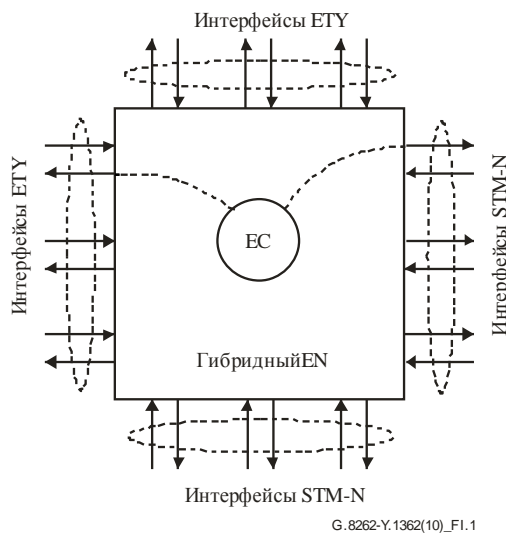


Рисунок I.1 – Гибридный сетевой элемент с использованием интерфейсов STM-N и Ethernet (ETU)

Для гибридных сетевых элементов может поддерживаться передача сигналов хронирования из входного интерфейса любого типа в выходной интерфейс любого типа, как показано в таблице I.1.

Таблица I.1 – Сочетание входных и выходных портов для распределения сигналов хронирования

| Вход хронирования | Выход хронирования |
|-------------------|--------------------|
| STM-N | STM-N |
| STM-N | ETU |
| STM-N | T4 |
| ETU | STM-N |
| ETU | ETU |
| ETU | T4 |
| T3 | STM-N |
| T3 | ETU |

Для использования интерфейсов ETU в целях распределения сигналов хронирования и использования гибридных сетевых элементов не должна требоваться модификация уже развернутых сетевых элементов СЦИ или тактовых генераторов (PRC, SSU), например настройка новой кодовой точки SSM для интерфейсов STM-N. Также не должна использоваться кодовая точка "0000".

Дополнение II

Взаимосвязь между требованиями, содержащимися в настоящей Рекомендации, и другими ключевыми Рекомендациями, относящимися к синхронизации

(Настоящее Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

В настоящем Дополнении описывается взаимосвязь между требованиями к характеристикам тактовых генераторов, содержащимися в настоящей Рекомендации, и ключевыми Рекомендациями по синхронизации, которые находятся в стадии разработки или разработаны в рамках Вопроса 13 (Характеристики системы синхронизации сетей и распределения сигналов времени) 15-й Исследовательской комиссии МСЭ-Т.

В настоящей Рекомендации описываются требования к характеристикам тактовых генераторов синхронного Ethernet. Основная концепция синхронного Ethernet изложена в [ITU-T G.8261] – первой Рекомендации МСЭ-Т, в которой подробно рассматриваются вопросы синхронизации пакетных сетей.

Тактовые генераторы, описываемые в настоящей Рекомендации и встроенные в сетевые элементы Ethernet, позволяют передавать отслеживаемые в сети сигналы хронирования через физический уровень Ethernet. Физический уровень Ethernet в этом контексте определяется в [IEEE 802.3].

Требования к характеристикам, изложенные в настоящей Рекомендации, устанавливаются исходя из существующих Рекомендаций. Требования к ЕЕС-вариант 1 основываются на тактовом генераторе [ITU-T G.813] – вариант 1, а требования к ЕЕС-вариант 2 основываются на тактовом генераторе типа IV из [ITU-T G.812], развертываемом в сетевом элементе СЦИ.

Оба тактовых генератора ЕЕС обеспечивают аналогичные характеристики, но предназначены для использования в сетях, оптимизированных в отношении иерархии 2 Мбит/с (для варианта 1) или в отношении иерархии 1544-кбит/с (для варианта 2). Поскольку тактовые генераторы ЕЕС согласуются с существующими тактовыми генераторами сетевых элементов СЦИ, используемыми при распределении частоты, для проектирования сети синхронизации не потребуется вносить какие-либо изменения в существующую практику проектирования сетей.

Сети синхронизации в общем случае основываются на распределении сигналов синхронизации СЦИ, как это описывается в [ITU-T G.803]. Распределение сигналов синхронизации может соответствовать конкретной региональной практике в целях удовлетворения требований к основным характеристикам и ограничений сетевого интерфейса согласно [b-ITU-T G.823] или [b-ITU-T G.824] для иерархии 2048 кбит/с или 1544 кбит/с соответственно. Как [b-ITU-T G.823], так и [b-ITU-T G.824] исходят из основных целей по скорости проскальзывания, установленных в [b-ITU-T G.822].

Тактовые генераторы ЕЕС специально предназначены для согласованной работы с существующими сетями синхронизации. Тактовые генераторы ЕЕС-вариант 1 можно устанавливать в сетях распределения сигналов синхронизации точно так же, как SEC [ITU-T G.813], а ЕЕС-вариант 2 – как существующие тактовые генераторы [ITU-T G.812] типа IV.

Дополнение III

Перечень интерфейсов Ethernet, применимых для синхронного Ethernet

(Настоящее Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

В таблице III.1 приведен перечень всех интерфейсов Ethernet, перечисленных в [IEEE 802.3]. В нем указаны интерфейсы Ethernet, пригодные для работы с синхронным Ethernet. Могут существовать и другие интерфейсы; перечень интерфейсов не является исчерпывающим и может обновляться.

При составлении этого перечня принимались во внимание следующие соображения.

CSMA/CD

В [IEEE 802.3] определяются два режима работы: полудуплексный и дуплексный.

Первоначально интерфейсы Ethernet были разработаны для единой среды, совместно используемой несколькими конечными станциями с применением системы многостанционного доступа с контролем несущей и обнаружением коллизий в сети (CSMA/CD). Для двусторонней связи между двумя конечными станциями в большинстве интерфейсов используются отдельные среды передачи (или отдельные несущие). Применение полудуплексного режима работы в такой среде двусторонней сквозной передачи служит для имитации поведения устаревших систем с совместно используемой средой передачи. В любом случае в поведении физического уровня, работающего в полудуплексном или в дуплексном режиме, нет никакой разницы. Работа в полудуплексном режиме регулируется подуровнем управления доступом к среде передачи (MAC) и влияет только на транспортировку пакетов на уровне 2 и выше.

Интерфейсы CSMA/CD можно применять для целей синхронного Ethernet во всех случаях, где используется среда для сквозной передачи.

Непрерывный сигнал

Интерфейс должен передавать сигнал непрерывно.

Этот сигнал должен быть закодирован так, чтобы создавались гарантированные переходы, позволяющие восстанавливать тактовый сигнал. В некоторых интерфейсах 10G это достигается путем кодирования 64B/66B; в интерфейсах 10G по медному кабелю парной скрутки – путем сигнализации DSQ-128 (2 × 2 пары, PAM-16); в некоторых интерфейсах 1G и 10G по 4-канальному оптоволоконному или медному кабелю – путем кодирования 8B/10B; в интерфейсах 1G по медному кабелю парной скрутки – путем кодирования 4D-PAM-5; в некоторых интерфейсах 100M – путем кодирования 4B/5B и в интерфейсах 100M по медному кабелю парной скрутки – путем кодирования MLT-3.

Во всех физических уровнях (PHY) для сквозной связи IEEE 802.3, работающих на скорости 100 Мбит/с или выше, используется непрерывная сигнализация.

Ведущий/ведомый

Некоторые двусторонние интерфейсы проектируются таким образом, чтобы с одной стороны размещался ведущий тактовый генератор, который выступает в качестве генератора тактового сигнала, а с другой стороны – ведомый, который работает на восстановление тактового сигнала.

Такая конфигурация поддерживает только однонаправленный синхронный Ethernet. Такие условия могут быть заявлены под контролем процесса в канале передачи сообщений синхронизации Ethernet (ESMC), как указано в [ITU-T G.8264], где вводятся сокращенные интерфейсы синхронного Ethernet. В таких интерфейсах состояние ведущий/ведомый может определяться протоколом управления станциями, как указано в соответствующем разделе [IEEE 802.3], в соответствии с архитектурой сети синхронизации. Состояние сокращенного интерфейса ESMC должно быть синхронизировано с состоянием "ведущий/ведомый".

Двумя примерами работы с ведущим/ведомым тактовыми генераторами служат интерфейсы 1000BASE-T и 10GBASE-T.

Автоматическое согласование

Механизм автоматического согласования, определенный для некоторых наборов физических уровней (PHY), используется для поиска наилучшего взаимно поддерживаемого режима работы двух партнеров в момент запуска линии связи. Этот алгоритм всегда отдает предпочтение более высокой скорости передачи перед более низкой скоростью и дуплексному режиму перед полудуплексным. Так как согласование происходит в момент запуска линии, оно должно быть совместимо с синхронным Ethernet, но может не совмещаться с планом распределения сигналов синхронизации. Следует отметить, что согласование – это возможный вариант для некоторых типов физического уровня, и поддерживаемые на физическом уровне скорость передачи и дуплексный режим могут быть заданы протоколом управления.

Следует также отметить, что в некоторых случаях автосогласование может производиться во время работы, например во время модернизации. Для того чтобы быть совместимым с синхронным Ethernet, автоматическое согласование не должно оказывать никакого влияния на скорости передачи и на тактовые генераторы.

Петлевой режим на физическом уровне

С синхронным Ethernet не совместимы никакие функции петлевого режима на физическом уровне, определенные для дуплексных линий, которые прерывают связь в целях испытания/проверки "в процессе эксплуатации". Поэтому они должны быть разрешены только в процессе настройки линии связи.

Связь пункта со многими пунктами

Некоторые физические интерфейсы предназначены для связи пункта со многими пунктами по пассивным оптическим сетям (PON). В таких линиях используется прерывистая сигнализация в восходящем направлении, но они могут быть пригодны для однонаправленного синхронного Ethernet.

Другие вопросы

Некоторые устаревшие типы физического уровня используются редко, и их можно не рассматривать, например два типа физического уровня, предназначенные для использования в цифровой абонентской линии (DSL).

Вопросы реализации

В некоторых интерфейсах сигналы передаются по параллельным кабелям или по оптоволокну. В этих интерфейсах для всех физических линий используется один источник тактового сигнала, но восстановленный тактовый сигнал (и эталонная точка для меток времени) может варьироваться в зависимости от определения многоканальной работы. Пока неясно, потребуется ли новое определение для работы синхронного Ethernet через эти интерфейсы.

Исходя из приведенных выше соображений, в таблице III.1 перечислены интерфейсы физического уровня, определенные в [IEEE 802.3], и указано, какие из них можно считать совместимыми с синхронным Ethernet, какие нельзя, а какие можно только как однонаправленные.

Таблица III.1 – Перечень интерфейсов Ethernet, подходящих для синхронного Ethernet

| Физический уровень | Описание | Раздел [IEEE 802.3] | Код | Подходит ли для синхронного Ethernet |
|--------------------|------------------------------------|---------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| 10BASE2 | 10 Мбит/с, по коаксиальному кабелю | 10 | Манчестерский, прерывающийся | Нет |
| 10BASE5 | 10 Мбит/с, по коаксиальному кабелю | 8 | Манчестерский, прерывающийся | Нет (Примечание 1) |
| 10BASE-F | 10 Мбит/с, по оптоволокну | 15 | NRZ, прерывающийся | Нет |

Таблица III.1 – Перечень интерфейсов Ethernet, подходящих для синхронного Ethernet

| Физический уровень | Описание | Раздел [IEEE 802.3] | Код | Подходит ли для синхронного Ethernet |
|---------------------------|---|----------------------------|------------------------------|---|
| 10BASE-FP | 10 Мбит/с, по оптоволокну, со звездообразной топологией | 16 | NRZ, прерывающийся | Нет (Примечание 1) |
| 10BASE-T | 10 Мбит/с, по медному кабелю парной скрутки | 14 | Манчестерский, прерывающийся | Нет |
| 100BASE-BX10 | 100 Мбит/с, двунаправленный по оптоволокну | 58, 66 | 4В/5В | Да |
| 100BASE-FX | 100 Мбит/с, по оптоволокну | 24, 26 | 4В/5В | Да |
| 100BASE-LX10 | 100 Мбит/с, по оптоволокну | 58, 66 | 4В/5В | Да |
| 100BASE-T2 | 100 Мбит/с, по медному кабелю парной скрутки | 32 | PAM-5 | Нет (Примечание 1) |
| 100BASE-T4 | 100 Мбит/с, по медному кабелю парной скрутки | 23 | 8В6Т | Нет (Примечание 1) |
| 100BASE-TX | 100 Мбит/с, по медному кабелю парной скрутки | 24, 25 | MLT-3 | Да |
| 1000BASE-BX10 | 1 Гбит/с, двунаправленный по оптоволокну | 59, 66 | 8В/10В | Да |
| 1000BASE-CX | 1 Гбит/с, по биаксиальному кабелю | 39 | 8В/10В | Да |
| 1000BASE-KX | 1 Гбит/с, на объединительной плате | 70 | 8В/10В | Да |
| 1000BASE-LX | 1 Гбит/с по оптоволокну | 38 | 8В/10В | Да |
| 1000BASE-PX | 1 Гбит/с, PON | 38 | 8В/10В | Однонаправленный |
| 1000BASE-SX | 1 Гбит/с, по оптоволокну | 38 | 8В/10В | Да |
| 1000BASE-T | 1 Гбит/с, по медному кабелю парной скрутки | 40 | 4D-PAM5 | Однонаправленный (Примечание 2) |
| 10BROAD36 | 10 Мбит/с, по коаксиальному кабелю | 11 | BPSK | Нет (Примечание 1) |
| 10GBASE-CX4 | 10 Гбит/с, по четырехпарному биаксиальному кабелю | 54 | 8В/10В | Да |

Таблица III.1 – Перечень интерфейсов Ethernet, подходящих для синхронного Ethernet

| Физический уровень | Описание | Раздел [IEEE 802.3] | Код | Подходит ли для синхронного Ethernet |
|---------------------------|---|----------------------------|----------------|---|
| 10GBASE-ER | 10 Гбит/с, по оптоволокну | 49, 52 | 64B/66B | Да |
| 10GBASE-EW | 10 Гбит/с, по оптоволокну | 50, 52 | 64B/66B | Да |
| 10GBASE-KR | 10 Гбит/с, на объединительной плате | 72 | 64B/66B | Да |
| 10GBASE-KX4 | 10 Гбит/с, четырехпарный на объединительной плате | 71 | 8B/10B | Да |
| 10GBASE-LR | 10 Гбит/с, по оптоволокну | 49, 52 | 64B/66B | Да |
| 10GBASE-LRM | 10 Гбит/с, по оптоволокну | 68 | 64B/66B | Да |
| 10GBASE-LW | 10 Гбит/с, по оптоволокну | 50, 52 | 64B/66B | Да |
| 10GBASE-LX4 | 10 Гбит/с, по оптоволокну 4λ | 50, 52 | 8B/10B | Да |
| 10GBASE-SR | 10 Гбит/с, по оптоволокну | 49, 52 | 64B/66B | Да |
| 10GBASE-SW | 10 Гбит/с, по оптоволокну | 50, 52 | 64B/66B | Да |
| 10GBASE-T | 10 Гбит/с, по медному кабелю парной скрутки | 55 | DSQ-128 | Да (Примечание 3) |
| 10PASS-TS | > 10 Мбит/с DSL | 61, 62 | DMT | Нет |
| 1BASE-5 | 1 Мбит/с, по медному кабелю парной скрутки | 12 | Манчестерский | Нет (Примечание 1) |
| 2BASE-TL | > 2 Мбит/с, DSL | 61, 63 | PAM | Нет |
| 10/1GBASE-PR | 10 Гбит/с/1 Гбит/с, PON | 76 | 64B/66B/8B/10B | Однонаправленный |
| 10GBASE-PR | 10 Гбит/с, PON | 76 | 64B/66B | Однонаправленный |
| 40GBASE-KR4 | 40 Гбит/с, четырехпарный на объединительной плате | 84 | 64B/66B | Да |
| 40GBASE-CR4 | 40 Гбит/с, по четырехпарному биаксиальному кабелю | 85 | 64B/66B | Да |
| 40GBASE-SR4 | 40 Гбит/с, по четырехпарному оптоволокну 4λ | 86 | 64B/66B | Да |
| 40GBASE-LR4 | 40 Гбит/с, по оптоволокну 4λ | 87 | 64B/66B | Да |

Таблица III.1 – Перечень интерфейсов Ethernet, подходящих для синхронного Ethernet

| Физический уровень | Описание | Раздел [IEEE 802.3] | Код | Подходит ли для синхронного Ethernet |
|---------------------------|---|----------------------------|------------|---|
| 100GBASE-CR10 | 100 Гбит/с, по десятипарному биаксиальному кабелю | 85 | 64B/66B | Да |
| 100GBASE-SR10 | 100 Гбит/с, по десятипарному оптоволокну | 86 | 64B/66B | Да |
| 100GBASE-LR4 | 100 Гбит/с, по оптоволокну 4λ | 88 | 64B/66B | Да |
| 100GBASE-ER4 | 100 Гбит/с, по оптоволокну 4λ | 88 | 64B/66B | Да |

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Эти строки (выделенные курсивом) – не рекомендуемые.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – В интерфейсе, синхронизированном в петлевом режиме, передача шума не измеряется.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Интерфейс 10GBASE-T может поддерживать синхронизацию с двумя ведущими или с ведущим и ведомым тактовыми генераторами (то есть однонаправленный синхронный Ethernet).

Дополнение IV

Вопросы, связанные с синхронным Ethernet по интерфейсам 1000BASE-T и 10GBASE-T

(Настоящее Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

Для синхронного Ethernet надлежащие параметры синхронизации сетевых элементов (например, канал, выбранный в качестве потенциального приоритетного эталонного канала синхронизации) должны быть настроены в соответствии с планом синхронизации сети.

Ниже речь пойдет об интерфейсах 1000BASE-T и 10GBASE-T, для которых направление хронирования может оказаться несовместимым с планом синхронизации сети из-за конфигурации взаимосвязи ведущий–ведомый, определенной в [IEEE 802.3].

ПРИМЕЧАНИЕ. – Следующая информация относится к однонаправленным (с точки зрения синхронизации) интерфейсам. Применение подобных правил к линиям в кольцевой схеме, где цепочка хронирования может менять направление, подлежит дальнейшему изучению.

Ниже используются следующие обозначения:

- ведущий/ведомый тактовый генератор (clock master/slave): состояние ведущий/ведомый согласно IEEE 802.3;
- ведущая/ведомая синхронизация (sync master/slave): состояние ведущей/ведомой цепи синхронизации согласно ITU-T G.8264.

Для того чтобы обеспечить правильную установку SyncE в линиях через интерфейсы 1000BASE-T и 10GBASE-T, физический уровень Ethernet можно настроить либо вручную, либо посредством автоматического согласования.

При использовании ручной настройки оператор должен позаботиться о правильной конфигурации параметров ведущего/ведомого тактового генератора для физических портов в соответствии с планом синхронизации сети, так чтобы возможными кандидатами для ведомых портов синхронизации были ведомые тактовые генераторы, а для ведущих портов синхронизации – ведущие тактовые генераторы. Использование ручной настройки, если она выполнена неправильно, может привести к неисправности с последующей потерей подключения трафика к оборудованию.

Например, если оба конца по ошибке сделаны ведущими, то результирующая конфигурация будет ошибочной (см. таблицу 40-5 – Таблица с детализацией конфигурации 1000BASE-T MASTER-SLAVE в [IEEE 802.3]).

При использовании автоматического согласования эти потенциальные проблемы предотвращаются сетевыми элементами, что исключает результат с неработающей линией.

ПРИМЕЧАНИЕ. – В этом случае даже если физические порты настроены не в соответствии с планом синхронизации сети, то автосогласование может привести к неработающей сетевой синхронизации (без индикации такого отсутствия синхронизации), но это не мешает обслуживать Ethernet-трафик и оставляет возможность для последующих действий, направленных на исправление ошибок настройки физического порта.

Ниже описывается возможная последовательность шагов, рекомендуемая при использовании автосогласования.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Предполагается, что эти интерфейсы синхронного Ethernet настраиваются на синхронный режим работы.

- 1 Все порты 1000BASE-T и 10GBASE-T должны допускать автоматическое согласование.
- 2 Автоматическое согласование иницируется, как указано ниже:
 - В случае 1000BASE-T все порты должны быть настроены с битом $9.12 = 0$ (автоматическое согласование – не принудительно). Если порт задействован в плане синхронизации сети, то порт, который должен выступать в качестве ведущего источника синхронизации, настраивается с битом $9.10 = 1$ (см. таблицу 40-3 в [IEEE 802.3]), а порт, который должен выступать в качестве ведомого источника синхронизации – с битом $9.10 = 0$. Если сведения о плане синхронизации сети недоступны, то порты должны настраиваться с

битом 9.10 = 1. Настройка выполняется в соответствии с таблицей 40-5 из [IEEE 802.3] ("Устройство с более высоким значением SEED настраивается как ВЕДУЩЕЕ, в противном случае – как ВЕДОМОЕ"). Если сведения о плане синхронизации сети доступны, то использование портов с битом 9.10 = 1 в качестве предпочтительного состояния по умолчанию позволяет изменить бит 9.10 только на стороне ведомого устройства синхронизации, как правило, в нисходящем канале передачи данных (см. ниже пункт 4).

ПРИМЕЧАНИЕ. – К аналогичному результату приведет использование портов с битом 9.10 = 0 в качестве предпочтительного состояния по умолчанию, для чего необходимо изменить бит 9.10 только на стороне ведущего устройства синхронизации. В этой Рекомендации для облегчения взаимодействия предлагается вариант конфигурации по умолчанию.

- В случае интерфейса 10GBASE-T все порты настраиваются с битом U11 = 0 (см. таблицу 55-11 в [IEEE 802.3]). Если тот или иной порт задействован в плане синхронизации сети, то порт, который должен выступать в качестве ведущего звена синхронизации, настраивается с битом U13 = 1 (многопортовое устройство, см. таблицу 55-11 в [IEEE 802.3]), а порт, который должен выступать в качестве ведомого звена синхронизации, настраивается с битом U13 = 0 (однопортовое устройство, см. таблицу 55-11 в [IEEE 802.3]). Если сведения о плане синхронизации сети недоступны, то порты должны настраиваться с битом U13 = 1.

Если сведения о плане синхронизации сети доступны, то использование портов с битом U13 = 1 в качестве предпочтительного состояния по умолчанию позволяет изменить бит U13 только на стороне ведомого устройства синхронизации, как правило, в нисходящем канале передачи данных (см. ниже пункт 4).

ПРИМЕЧАНИЕ. – К аналогичному результату приведет использование портов с битом U13 = 0 в качестве предпочтительного состояния по умолчанию, для чего необходимо изменить бит U13 только на стороне ведущего звена синхронизации. В этой Рекомендации для облегчения взаимодействия предлагается вариант конфигурации по умолчанию.

3 Настройка параметров синхронизации сети в узле в соответствии с планом синхронизации сети должна производиться и проверяться тогда, когда ведущий/ведомый тактовые генераторы портов 1000BASE-T или 10GBASE-T уже настроены. На этом этапе те звенья узлов, которые служат ведомыми тактовыми генераторами, могут быть настроены в качестве потенциальных источников сигнала синхронизации (если этого требует план синхронизации сети).

4 Если план синхронизации сети доступен только после завершения процедуры настройки ведущих/ведомых тактовых генераторов и если порт 1000BASE-T или 10GBASE-T не является ведомым тактовым генератором, но должен быть потенциальным ведомым источником сигналов синхронизации в соответствии с планом синхронизации сети ("ведомое звено синхронизации"), то этот порт должен инициировать изменение направления синхронизации (как часть потенциальной конфигурации синхронизации) с помощью инструментов, определенных в таблице 40-3 (1000BASE-T) и таблице 55-11 (10GBASE-T) [IEEE 802.3]. В частности,

- в случае 1000BASE-T для этого порта устанавливается бит 9.10 = 0;
- в случае 10GBASE-T для этого порта устанавливается бит U13 = 0.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Любое изменение параметров для автосогласования IEEE 802.3 вызовет сброс интерфейса, что приведет к отказу линии на некоторое время (до нескольких секунд).

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Если эти шаги не выполнены надлежащим образом (например, некоторые узлы были настроены вручную), то может потребоваться специальный предупредительный сигнал, чтобы уведомить оператора о принятии необходимых мер.

Дополнение V

Соображения по вопросам измерения передачи шума для тактовых генераторов ЕЕС-вариант 2

(Настоящее Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

В общем случае передачу шума тактового генератора ЕЕС можно характеризовать как систему второго порядка. Основные параметры, влияющие на накопление фазового дрейфа в сети, – это ширина полосы передачи и допустимый пиковый коэффициент усиления.

Общий метод измерения передачи шума для сетей по варианту 2 предполагает использование измерений TDEV. Поскольку допуск тактового генератора измеряется с помощью сигнала, соответствующего сетевому ограничению TDEV, измерение выходного TDEV позволит получить данные о фильтрации, обеспечиваемой тактовым генератором. Для учета пиковых значений коэффициента усиления необходимо выполнить определенные расчеты. Чтобы учесть соответствующий коэффициент усиления для ЕЕС-вариант 2, значение TDEV на выходе увеличивают приблизительно на 2%.

Значение TDEV на выходе не должно превышать уровней маски, показанной на рисунке 11, когда опорный сигнал находится на уровне шума, установленном маской допустимых значений TDEV, приведенной на рисунке 8 настоящей Рекомендации.

Полоса пропускания тактового генератора аппроксимируется точкой перелома, наблюдаемой на третьей секунде времени наблюдения. Данные о приближенном соотношении между полосой пропускания тактового генератора и TDEV можно найти в Дополнении I [ITU-T G.812].

Следует отметить, что при использовании этой методики для проверки характеристик передачи, возможно, потребуется рассмотреть дополнительные источники погрешности измерений в соответствии с [b-ITU-T O.174]. Согласно [b-ITU-T O.174], требуемая точность оборудования для измерения генерируемого шума TDEV составляет всего 20%; поэтому перед измерением передаточной функции тактового генератора амплитуда шума должна быть тщательно откалибрована.

В некоторых случаях для определения передаточных характеристик тактового генератора, как указано для тактовых генераторов по варианту 1, допустимо применение синусоидальных сигналов, поступающих на вход и измеренных на выходе. Учитывая, что допустимый коэффициент усиления передачи испытываемого оборудования составляет всего 2%, необходимо позаботиться о точности метода испытаний и измерительного оборудования. Спецификация этого метода требует дальнейшего изучения.

Маска передачи выходного шума TDEV для тактовых генераторов ЕЕС-вариант 2 приведена в таблице 13. Результирующее значение TDEV показано на маске, изображенной на рисунке 11.

Библиография

- [b-ITU-T G.783] Рекомендация ITU-T G.783 (2006 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.822] Recommendation ITU-T G.822 (1988), *Controlled slip rate objectives on an international digital connection*
- [b-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*
- [b-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*
- [b-ITU-T G.8010] Рекомендация МСЭ-Т G.8010/Y.1306 (2004 г.), *Архитектура сетей уровня Ethernet*
- [b-ITU-T O.174] Recommendation ITU-T O.174 (2009), *Jitter and wander measuring equipment for digital systems which are based on synchronous Ethernet technology*
- [b-ITU-T Q.551] Recommendation ITU-T Q.551 (2002), *Transmission characteristics of digital exchanges*

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 |
| Совершенствование СПП | Y.2300–Y.2399 |
| Управление сетью | Y.2400–Y.2499 |
| Архитектура и протоколы сетевого управления | Y.2500–Y.2599 |
| Пакетные 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 |