

СЕТИ 5G: распределение сигналов синхронизации на сетевом оптическом транспортном уровне

Часть 2. Сетевая синхронизация по тактовой частоте

С.Коган, к.т.н., советник генерального директора компании "Т8"
по формированию технической стратегии / kogan@t8.ru

DOI: 10.22184/2070-8963.2022.105.5.44.58

В цикле статей анализируются общие требования к синхронизации сетей мобильной связи 5G (часть 1), подробно рассматривается порядок распределения сигналов синхронизации по тактовой частоте (часть 2) и по фазе/времени (часть 3) поверх оптического транспортного уровня OTN/DWDM-сети мобильной связи 5G.

ПРАВИЛА ПРИМЕНЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ТАКТОВОЙ СЕТЕВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ СОГЛАСНО НОРМАТИВНЫМ ДОКУМЕНТАМ РФ

Задача тактовой сетевой синхронизации сетей связи – обеспечение всех задающих генераторов систем передачи и коммутации, участвующих в формировании информационных последовательностей, эталонными синхросигналами или сигналами одной и той же частоты на всей сети в достаточно обширном географическом пространстве [5].

Тактовая сетевая синхронизация (ТСС) – один из видов синхронизации, применяемой для обеспечения работы систем передачи и коммутации на цифровых сетях связи России и других стран. Построение и развитие систем ТСС – важный вопрос для развития цифровой сети операторов электро-связи, а также ее взаимодействия с сетью связи общего пользования РФ и сетями других операторов. Тактовая сетевая синхронизация поддерживает непрерывность передачи информации по цифровой сети, содержащей различные системы передачи

и коммутации и расположенные в пространственно-разнесенных точках этой сети.

Рекомендации по построению сети связи общего пользования в части системы обеспечения тактовой сетевой синхронизации утверждены приказом Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации № 1339 от 15 декабря 2021 года [6].

Правила применения оборудования тактовой сетевой синхронизации в соответствии с нормативными документами РФ и МСЭ-Т представлены на рис.2.

Сокращения:

- PRC/ePRC/ПЭГ – первичный эталонный генератор (Primary Reference Clock, МСЭ-Т G.811);
- SSU/B3Г – вторичный задающий генератор (Synchronization supply unit, МСЭ-Т G.812);
- ГСЭ – генератор сетевого элемента (SEC или EEC/eEEC);
- SEC – ведомый задающий генератор SDH оборудования (SDH Equipment Slave clock, МСЭ-Т G.813);

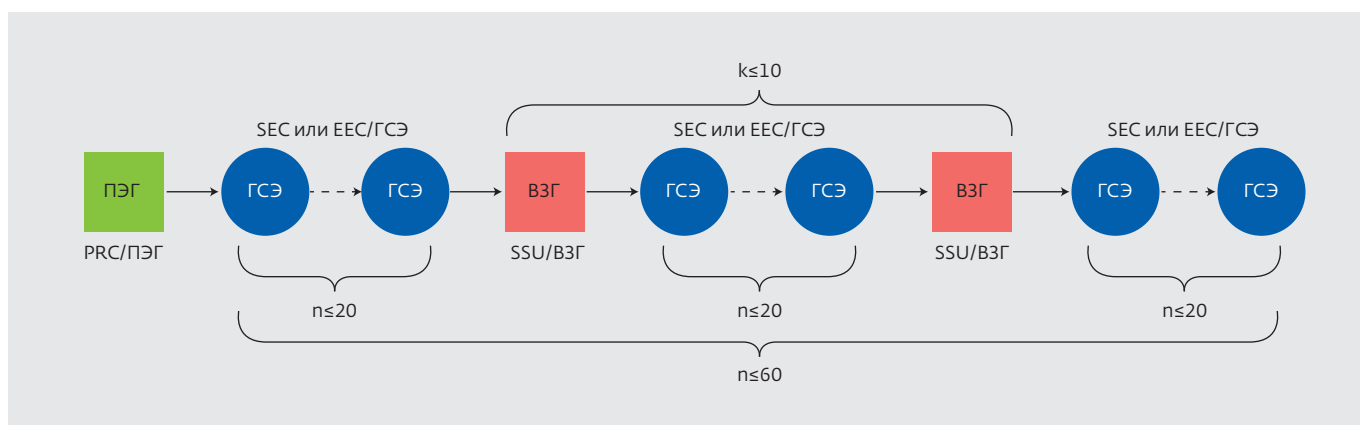


Рис.2. Правила применения оборудования тактовой сетевой синхронизации согласно нормативным документам РФ и МСЭ-Т

- ЕЕС – ведомый задающий генератор пакетного (Ethernet) оборудования (Ethernet Equipment slave Clock, МСЭ-Т G.8262);
- еЕЕС – улучшенный ведомый задающий генератор пакетного (Ethernet) оборудования (enhanced Ethernet equipment slave clock, МСЭ-Т G.8262.1).

Определения:

- PRC (Primary Reference Time Clock). G.811 (1988) – временные характеристики сигнала на выходе первичного источника тактовой частоты PRC пригодны к использованию для плезиохронных операций на международных цифровых соединительных линиях. Параметр MTIE (1000 с) в этом случае равен 3 мкс. MTIE (Maximum Time Interval Error, МСЭ-Т G.810) – максимальная погрешность временного интервала;
- ePRC (enhanced PRC). G.811.1 (08.2017) & 2018 – улучшенные временные характеристики сигнала на выходе первичного источника тактовой частоты (primary reference clock). Предусмотрено включение в PRC автономного цезиевого атомного задающего генератора (Cesium master oscillator);
 - ▶ параметры ePRC Class A лучше, чем параметры PRC (2017);
 - ▶ параметры ePRC Class B значительно лучше, чем параметры PRC (2018).

Параметр MTIE (1000 с) в этом случае равен 300 нс.

Сигналы синхронизации от ПЭГ передаются потребителям по цепям синхронизации с ВЗГ, которые используются в качестве фильтров

низкочастотных дрожаний фазы (вандера). Основные и резервные пути передачи сигналов синхронизации должны быть организованы исходя из условий их получения согласно следующему правилу: длина цепочки последовательно включаемых ГСЭ не может превышать 20, при общей допустимой длине цепочки из 60 ГСЭ, начиная от первого ГСЭ, подключенного непосредственно к ПЭГ, в которую для восстановления сигналов синхронизации включают ВЗГ (не более 10).

Структура сети синхронизации является иерархической (<https://www.ptime.ru/syncro.html>). На первом уровне иерархии располагаются источники тактовой частоты для сетей ТСС – первичный эталонный генератор PRC/ПЭГ. Источники тактовой частоты для сетей ТСС подразделяются на два типа: атомные и кварцевые (табл.4).

Таблица 4. Источники тактовой частоты для сетей синхронизации

Источник тактовой частоты	Точность	Ошибка
Crystal (кварцевый генератор)	10 E-5	1 Гц на 100 кГц
ТСХО (кварцевый генератор)	10 E-6	1 Гц на 1 МГц
ОСХО (кварцевый генератор)	10 E-8	1 Гц на 100 МГц
Rubidium (атомный генератор)	10 E-11	1 Гц на 100 ГГц
Cesium (атомный генератор)	10 E-14	1 Гц на 100 ТГц

Обозначения:

- ОСХО (Oven Controlled Crystal Oscillators) – кварцевый генератор, температура которого контролируется встроенной мини-печью. Генератор этого типа снабжен схемой контроля температуры для поддержания постоянной температуры кристалла и других ключевых компонентов;
- ТСХО (Temperature Controlled Crystal Oscillators) – термокомпенсированный генератор, то есть кварцевый генератор, аналогичный ОСХО, температурный уход частоты которого скомпенсирован встроенной схемой обратной связи.

Источники тактовой синхронизации могут быть включены в определенные сетевые конфигурации и образовывать различные сети ТСС. В соответствии с рекомендациями МСЭ-Т определены четыре режима работы сети синхронизации: синхронный, псевдосинхронный, плезиохронный, асинхронный.

Для надежности формирования синхросигналов в состав ПЭГ обычно входят три первичных эталонных источника (ПЭИ) тактовой частоты и вторичный задающий генератор, обеспечивающий выбор исправного ПЭИ с требуемыми характеристиками и формирование необходимого числа синхросигналов на его выходах, служащих одновременно выходами ПЭГ. Стабильность частоты ПЭГ должна быть не хуже 10^{-11} , что можно реализовать с использованием атомных эталонных генераторов (рубидиевых или цезиевых), с параметром МТПЕ (1000 с) не хуже 300 нс (МСЭ-Т G.811.1).

Централизованная сеть распределения синхросигналов от единственного ПЭГ – это синхронная сеть, в которой значащие моменты сигналов подстраиваются таким образом, чтобы установить синхронизм, когда значащие моменты повторяются с некоторой средней точностью. Синхронным называется нормальный режим работы цифровой сети, при котором проскальзывания носят случайный характер.

Проскальзывание (от англ. slips) – это явление исключения или повторения в цифровом сигнале одного или нескольких бит, возникающее вследствие различных скоростей записи и считывания двоичных данных в буферных устройствах. Такой режим используется, как правило, в пределах регионов синхронизации, границы которых обычно совпадают с границами национальных цифровых сетей государств средних размеров. В идеально работающей синхронной цифровой сети возможность проскальзывания исключена.

Сеть может состоять из совокупности централизованных подсетей, каждая из которых содержит ПЭГ/PRC, обеспечивающий принудительную синхронизацию соответствующих сетевых элементов. При отсутствии взаимосвязи ПЭГ разных подсетей такая сеть синхронизации поддерживает псевдосинхронный режим работы соответствующих цифровых подсетей. В этом случае на цифровой сети независимо друг от друга работают два (или несколько) генераторов, точность установки частоты которых не ниже 10^{-11} согласно рекомендациям МСЭ-Т. Такой режим наблюдается, например, при присоединении двух независимых синхронных национальных сетей или регионов синхронизации одной национальной сети. На псевдосинхронной сети, оборудованной высокостабильными генераторами, точность установки частоты которых не ниже 10^{-11} , ухудшение качества для всех видов связи за счет расхождения частот будет неощутимо малым (не более одного проскальзывания за 70 суток) по сравнению с другими нарушениями в передаче сигналов, которые могут произойти в промежутке между проскальзываниями вследствие иных, зачастую труднопредсказуемых, причин.

Плезиохронный режим сети ТСС может возникнуть в цифровой сети, когда генератор ведомого узла (ВЗГ/SSU или ГСЭ/SEC/EEC/eEEEC) утрачивает возможность внешней принудительной синхронизации из-за нарушения как основного, так и резервных путей синхронизации. В этом случае генераторы сетевых элементов переходят в режим удержания (англ. holdover), при котором запоминается частота сети принудительной синхронизации. На ведомых узлах, начиная со второго иерархического уровня (ВЗГ), используются кварцевые генераторы, стабильность частоты которых на два-три порядка ниже, чем у атомных (например, цезиевых) стандартов, относящихся к первому иерархическому уровню (ПЭГ). При переходе ведомого генератора в режим удержания часть цифровой сети, которая синхронизируется от этого генератора, начинает работать на частоте, все более отличающейся с течением времени от тактовой частоты остальной сети. Поэтому для соблюдения рекомендации МСЭ-Т G.822 по части проскальзываний длительность работы в режиме удержания, в отличие от псевдосинхронного режима, должна быть строго ограничена во времени.

По мере изменения с течением времени частоты генератора из-за дрейфа величины, зафиксированной в начальный момент в памяти, он переходит в так называемый свободный

режим (англ. free-run mode) синхронизации, который называется асинхронным. Такой режим характеризуется значительно большим расхождением частот генераторов, при котором, однако, не нарушается трафик. В известных источниках указывается, что для передачи общего сигнала индикации аварийного состояния (СИАС) расхождение частот не должно превышать $2 \cdot 10^{-5}$.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СИГНАЛОВ синхронизации по тактовой частоте поверх оптоволоконной транспортной сети

Требования к сетевой тактовой синхронизации представлены в следующих рекомендациях МСЭ-Т G.826x [7], [11]:

- МСЭ-Т G.8261, Timing and synchronization aspects in packet networks:
 - ▶ G.8261 определяет требования к синхронизации по частоте для сетей с коммутацией пакетов. Приложение VI к рекомендации G.8261 широко используется в телекоммуникационной отрасли при тестировании ведомых (slave) задающих генераторов.
- МСЭ-Т G.8261.1, PDV (Packet Delay Variation) Network Limits applicable to Packet Based Methods (Frequency Synchronization):
 - ▶ G.8261.1 определяет гипотетическую эталонную модель (Hypothetical Reference Model, HRM) и сетевые ограничения PDV в связи с выбором параметров пакетного ведомого генератора в соответствии с ITU-T G.8263.
- МСЭ-Т G.8263, Timing Characteristics of Packet based Equipment Clocks:
 - ▶ уточняются требования, упомянутые в рекомендации G.8265.1 по пакетной синхронизации оборудования в части PEC-S-F (Packet Equipment Clock - Slave - Frequency, PEC-S-F) и в рекомендации G.8265 по архитектуре сети синхронизации. Указаны параметры точности частоты, генерации шума, устойчивости к шумовому колебанию задержки пакетов, характеристики функциональности удержания (holdover) и интерфейсы.
- Рекомендация ITU-T G.8265, Architecture and requirements for packet based frequency delivery:
 - ▶ предусмотрена архитектура сети частотной синхронизации для пакетных сетей.

- Рекомендация ITU-T G.8260, Definitions and terminology for synchronization in packet networks:

- ▶ представлены определения и терминология для уровня синхронизации в пакетных сетях.

В рекомендации ITU-T G.803 определен метод синхронизации на физическом уровне по схеме "ведущий - ведомый" для синхронизации сетей SDH, а в рекомендации ITU-T G.8261 - для пакетных транспортных сетей SyncE.

Использование функциональности синхронного Ethernet (SyncE) для сетевой синхронизации по тактовой частоте

Функциональность обычного Ethernet не предусматривает встроенной в пакетные устройства возможности распределения тактовой синхронизации на сетевом уровне. Устройства Ethernet включают автономный генератор для локального использования с заданной точностью синхронизации в пределах ± 100 ppm. Синхронизация применяется отдельно на каждом участке между соседними узлами сети (each link on a hop-by-hop basis). Эта функциональность не позволяет создать на транспортной сети последовательной цепочки участков сети для передачи сигнала тактовой частоты.

Определения, относящиеся к технологии Ethernet:

- Media Access Control (MAC) адрес - это аппаратный адрес устройства, связанный с управлением доступом к среде, - одно из расширений модели OSI. MAC IEEE разделяет канальный уровень на два подуровня: управления доступом к среде (MAC) и управления логической связью (LLC). Нижний из них - MAC. Таким образом, MAC выступает в качестве интерфейса между подуровнем LLC и физическим (первым) уровнем.

Примером физической сети служит Ethernet-сеть, которая может быть расширена точками доступа беспроводной локальной вычислительной сети (WLAN) и сетевыми адаптерами WLAN, так как они используют те же 48-битные MAC-адреса, что и Ethernet.

MAC-адрес часто называют адресом Ethernet в сети Ethernet:

- ▶ каждому устройству в локальной сети должен быть назначен уникальный MAC-адрес;
- ▶ адрес Ethernet длиной 48 бит обычно отображается в виде 12 шестнадцатеричных

цифр. Первые шесть цифр составляют код поставщика, остальные присваиваются поставщиком на этапе производства;

- ▶ сеть Ethernet может быть расширена точками доступа беспроводной локальной вычислительной сети (WLAN) и сетевыми адаптерами WLAN, так как они используют те же 48-битные MAC-адреса, что и Ethernet.
- Physical Coding Sublayer (PCS) – это физический подуровень, отражающий линейное кодирование, стандартизованное для разных уровней Ethernet.

Когда для распределения сигналов синхронизации по тактовой частоте используется пакетно-ориентированная сеть, по ней необходимо передавать тактовую частоту синхронизации от централизованного тактового генератора PRTC (Primary Reference Time Clock) к электронному блоку базовой станции или подсистемы радиодоступа, например BBU, с точностью не менее 16 ppb, а также, в частности, для сети мобильной связи 5G обеспечить синхронизацию фаза/время.

Определения:

- PRTC (Primary Reference Time Clock) – предусмотрено включение в генератор PRC (в составе PRTC) модуля спутникового приемника GNSS timing receiver). G.8272 (2012).

Значение параметра MTIE (1000 с) в этом случае равно 100 нс.

- ePRTC (enhanced PRTC) – предусматривает использование генератора ePRC (в составе PRTC) с включением в него автономного цезиевого атомного задающего генератора (Cesium master oscillator) согласно G.8272.1 (2016):
 - ▶ ePRTC Class A = ePRC Class A + PRTC Class A;
 - ▶ ePRTC Class B = ePRC Class A + PRTC Class B.

Значение параметра MTIE (1000 с) в этом случае равно 15 нс.

Ниже представлены стандартизированные функциональности, обеспечивающие достижение требуемого уровня характеристик при распределении сигналов тактовой синхронизации поверх пакетно-ориентированной транспортной сети, построенной на основе технологии Ethernet:

- Synchronous Ethernet (SyncE) – набор требований в соответствии с рекомендациями МСЭ-Т G.8261, G.8262 и G.8264, определяющими архитектуру, характеристики низкочастотного дрожания (вандер), характеристики тактовой частоты и сигнальные сообщения синхронизации для сетевой синхронизации на основе Ethernet. В этом случае имеется в виду функциональность тактовой синхронизации, аналогичная используемой на сетях SDH;

- eEES – генератор тактовой частоты, встроенный в оборудование Ethernet (МСЭ-Т G.8262.1) в каждом узле сети. Представленные в МСЭ-Т G.8262.1 требования для SyncE были дополнены положениями, необходимыми для поддержки сети 5G. Относительно функционала SyncE, адаптированного к сети 5G, используются ссылки на eEES либо на МСЭ-Т G.8262.1. Синхронный Ethernet (SyncE), обеспечивающий передачу тактовой частоты на физическом уровне, стандартизован МСЭ-Т в сотрудничестве с IEEE в трех рекомендациях:

- G.8261, определяющей аспекты архитектуры и характеристики дрейфа тактовой частоты сетей SyncE;
- G.8262/G.8262.1/Y.1362, где предусмотрены тактовые частоты синхронного Ethernet, совместимые с тактовыми сигналами SDH, то есть временные характеристики ведомого генератора сетевого элемента синхронного Ethernet (EES/eEES);
- G.8264, устанавливающей требования к каналу обмена сообщениями синхронизации Ethernet (ESMC).

Особенности применения технологии синхронного Ethernet (SyncE) заключаются в следующем:

- реализован на физическом уровне. На него не оказывают влияния нагрузка трафика, потеря пакетов или вариация задержки пакетов (Path Delay Value, PDV), возникающая при использовании методов синхронизации с более высокими уровнями сетевой технологии;
- любое устройство в узлах сети, находящееся на оптическом сетевом маршруте между источником синхронизации и местом назначения, должно иметь встроенный генератор тактовой частоты eEES с улучшенными (по сравнению с обычным Ethernet) характеристиками либо быть полностью прозрачным для передачи сигнала синхронизации;
- один или несколько физических портов Ethernet данного устройства могут стать источником сигнала синхронизации для встроенного генератора eEES, чтобы система могла выбирать из этих источников лучший в качестве исходного сигнала для ведения eEES. Общее требование для SyncE заключается в том, что любой сетевой элемент должен иметь как минимум два источника эталонных тактовых сигналов;
- для синхронизации на физическом уровне добавляются механизмы, необходимые

Таблица 5. Требования к точности тактовых частот для технологий SDH, Ethernet и SyncE

Параметры	Оборудование		
	Ethernet (обычный)	SyncE (ЕЕС), опция 1, G.8262	SEC, опция 1, G.813
Прием по тактам из линии	Да	Да	Да
Точность генераторного оборудования	+/- 100 ppm	+/- 4,6 ppm/год, месяц	+/- 4,6 ppm
Поддержка режима работы сети:	+/- 100 ppm	+/- 4,6 ppm	+/- 4,6 ppm
• плезисхронного	Да	Да	Да
• синхронного	Нет	Да	Да
Возможность отслеживания источника тактовой частоты более высокого уровня, например, ПЭГ (PRC):			
• по рабочему тракту (сигналу)	Нет	Есть	Есть
• через выделенный вход (ТЗ)	Нет	Есть	Есть
Полоса пропускания		1...10 Гц	
Джиттер на выходе:			
• для GbE G.8261, Amd.1 (07.2010)		1,5 ЕИ в полосе 1,5 кГц ...10 МГц	
• для 10 GbE		1,5 ЕИ в полосе 20 кГц ...80 МГц	

для передачи тактовой частоты с входных портов на выходные данного устройства и обеспечения синхронизации всех выходов пакетного устройства с постоянным и отслеживаемым первичным источником частоты, а также для передачи сообщений о состоянии синхронизации с целью отслеживания качества источника синхронизации в любом узле сети;

- встроенный генератор eEES обычно синхронизируется от тактовой частоты одного из входных сигналов, и устройство работает в ведомом, то есть в синхронном, режиме. В этом режиме точность генератора повышается до ± 1 ppb, что примерно в 100 тыс. раз лучше, чем точность таковой частоты в обычной сети Ethernet;
- в случае потери входного сигнала синхронизации встроенный генератор eEES переходит в режим удержания, когда допускается дрейф тактовой частоты на 0,01 ppm в день. Это означает, что данный параметр в 10 тыс. раз лучше, чем

аналогичный параметр в обычной сети Ethernet. Для eEES применяются жесткие требования к параметрам высокочастотного (джиттера) и низкочастотного (вандер) дрожания;

- встроенный генератор тактовой частоты eEES может работать в автономном режиме с точностью 4,6 ppm. При этом гарантируется, что устройство в автономном режиме не будет отличаться более низкой стабильностью формируемой им тактовой частоты;
- тактовая синхронизация сетей SDH и SONET совместима, поэтому сеть с SyncE может быть расширением сети синхронизации SDH/SONET.

Требования к точности тактовых частот для технологий SDH, Ethernet и SyncE представлены в табл.5 [8].

Обозначения:

- 1 ppb (от англ. parts per billion, читается пи-пи-би, частей на миллиард) – единица измерения относительных величин, миллиардная доля, равная

10^{-9} от базового показателя. Обозначается как млрд⁻¹ или ppb;

- 1 ppm (от англ. parts per million, читается пи-пи-эм, то есть частей на миллион) – единица измерения относительных величин, миллионная доля, равная 10^{-6} от базового показателя. Обозначается как млн⁻¹ или ppm;
- амплитуда фазового дрожания выражается в относительных интервальных единицах ЕИ (UI), а не в единицах абсолютного времени, так как в этом случае результат измерения не зависит от действительной скорости передачи данных, что позволяет сравнивать амплитуды фазового дрожания на различных иерархических уровнях в цифровой системе передачи.

В общем случае все сетевые IP-маршрутизаторы уровня L3/L2 и Ethernet-коммутаторы уровня L2, а также транспондеры или мукспондеры системы OTN/DWDM с функциональностью L2/L1 (то есть функциональностью Ethernet коммутаторов и OTN) должны соответствовать требованиям, связанным с функциональностью SyncE/eEES, а любые транспондеры или мукспондеры системы OTN/DWDM с функциональностью L1 (то есть функциональностью OTN) должны быть прозрачными для тактовой частоты, передаваемой по сети вместе с клиентским сигналом. Важны гарантии, что тактовая частота на входных клиентских портах транспондеров или мукспондеров системы DWDM соответствует тактовой частоте клиентского сигнала, передаваемого в полезной нагрузке структуры OTN через линейные порты транспондеров или мукспондеров.

ПЕРЕДАЧА СИГНАЛОВ ТАКТОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ НА ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ С ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬЮ OTN/DWDM В КЛИЕНТСКИХ СЕРВИСНЫХ ПОТОКАХ STM-N И SYNCЕ

Параметры сетевой тактовой синхронизации на сети оператора, предоставляющего услуги связи, должны соответствовать нормативному документу "Рекомендации по построению сети связи общего пользования в части системы обеспечения тактовой сетевой синхронизации", утвержденному приказом Минцифры России "Об утверждении рекомендаций по построению сети связи общего пользования в части системы обеспечения тактовой сетевой синхронизации" № 1339 от 15 декабря 2021 года. Документ разработан в целях обеспечения целостности, устойчивости функционирования и безопасности единой сети электросвязи Российской Федерации.

В соответствии с рекомендацией МСЭ-Т G.709 на оптических транспортных сетях OTN/DWDM реализуется асинхронная технология OTN с прозрачной передачей клиентских сигналов совместно с тактовой синхронизацией. Универсальный, нацеленный на будущее OTN-транспорт (МСЭ-Т G.709) продолжает расширяться в части типов передаваемых клиентских сигналов и масштабируемости для передачи сигналов с большими скоростями.

Вопросы синхронизации по тактовой частоте рассматриваются в материалах МСЭ-Т SG15 Q13. Когда была разработана асинхронная иерархия OTN/OTN, сетевая синхронизация осуществлялась по сети SDH.

Ключевое решение, принятое на этапе создания первого поколения оборудования иерархии OTN, заключалось в том, что OTN должна быть прозрачной для полезных нагрузок, транспортируемых в ODUk, и на сети OTN не нужно передавать тактовую синхронизацию ни на физическом, ни на логическом уровнях [9]. Сетевая тактовая синхронизация должна осуществляться через клиентский сигнал в полезной нагрузке OPUk, преимущественно через клиентские компонентные TDM-сигналы SDH и пакетные сигналы SyncE.

Основная проблема состояла в том, чтобы сохранить информацию о тактовой частоте при передаче сигналов SDH и/или SyncE по сети OTN. Иными словами, необходимо, чтобы тактовая синхронизация этих клиентских потоков прозрачно передавалась по сети OTN, а фазовая ошибка и дрейф фазы, возникающие при транспортировке сигнала по сети OTN, оставались в определенных пределах.

Из рекомендации ITU-T G.8251 (Appendix II Effect of OTN on the distribution of synchronization via STM-N and Synchronous Ethernet clients) следует, что физический уровень OTN не используется для передачи тактовой синхронизации. Действуют стандарты по передаче тактовой синхронизации поверх SDH или синхронного Ethernet. Это означает, что клиентские сигналы SDH (STM-N) или SyncE используются дополнительно к переносимым в их полезной нагрузке данным и в качестве переносчиков тактовой информации.

Физический уровень OTN не требует единой тактовой синхронизации сети ни на уровне оптических блоков данных ODUk, ни на любом другом более низком уровне. Таким образом, на сетях OTN/DWDM распределение сигналов сетевой тактовой синхронизации – это функция клиентского уровня, например SDH или синхронного Ethernet.

На сети OTN генераторы тактовой частоты работают в сетевых элементах, в отличие от SDH, автономно. Точность работы этих генераторов определена

в документах МСЭ с учетом точности тактовой частоты клиентских сигналов и величины смещения (согласования скоростей), которое может быть выполнено в цикле OTN:

- цикл OTN установлен таким образом, чтобы процесс согласования скоростей позволял принимать входной сигнал с возможным отклонением тактовой частоты от номинального значения до ± 20 ppm и была возможность размещать этот сигнал в структуре OTN с использованием внутреннего генератора с точностью формирования тактовой частоты до ± 20 ppm;
- кроме того, цикл OTN должен поддерживать мультиплексирование сигналов ODUk, а в этом случае точность тактовой частоты каждого ODUk может изменяться в пределах ± 20 ppm;
- в результате определен цикл G.709 с возможностью согласования/смещения (offset) блоков данных до ± 65 ppm.

Адаптированная (по отношению ITU-T G.803 и G.8251) графическая интерпретация цепочки узлов для передачи тактовой информации отражена на рис.3.

Чтобы упростить размещение расширяющегося списка клиентских сигналов, был разработан новый тип контейнера OTN – ODUflex (размер полезной нагрузки выбирается с шагом 1.25G). Контейнер ODUflex добавлен в документ МСЭ-T G.709 в 2009 году для поддержки других клиентских сигналов (скоростей) с использованием более гибкой структуры Nx1.25G, с тем чтобы обеспечить более эффективное размещение клиентских сигналов с иными скоростями передачи до 100 Гбит/с включительно (например, 4G/8G FC и т. п.).

Новые клиентские сигналы, скорость передачи которых выше ODU1, но ниже 100 Гбит/с, можно разместить в ODUflex с сохранением тактовой частоты клиентского сигнала (используется бит-синхронный метод BMP). Затем ODUflex помещается в ODU более высокого порядка с применением метода GMP.

Методы размещения (mapping) клиентских сигналов в оптических блоках данных ODUk/ODUflex структуры OTN с сохранением возможности передачи тактовой частоты сервисного потока

Прозрачную передачу тактовой информации по сети OTN поддерживают следующие методы размещения (mapping) клиентских сигналов в оптических блоках данных ODUk/ODUflex структуры OTN:

- бит-синхронная процедура (Bit-synchronous mapping procedure, BMP): бит-синхронное



Рис.3. Графическая интерпретация цепочки узлов для передачи тактовой информации (ITU-T G.803 и G.8251) при сочетании технологий SDH/SyncE и OTN

размещение на серверном уровне (используется для ODUflex и ODU2e);

- процедура асинхронного размещения (Asynchronous mapping procedure, AMP): асинхронное размещение с использованием на серверном уровне ODU на определенных позициях заголовка транспортного блока (контейнера) байтов согласования скоростей (подходит для полезных нагрузок с допуском по стабильности частоты в пределах ± 20 ppm);
- общая процедура размещения (Generic mapping procedure, GMP): предусматривает использование дельта-сигма-модулятора с равномерным распределением (позиционированием) байтов согласования скоростей и данных в заголовке транспортного блока (контейнера) и асинхронным размещением данных в полезной нагрузке ODU. Точность тактового генератора ODU в пределах ± 20 ppm и точность клиентской тактовой частоты – в пределах ± 100 ppm.

Для передачи клиентских сигналов STM-N и SyncE с сохранением тактовой частоты эти сигналы:

- синхронно размещаются в ODUk (с использованием, например, BMP). В этом случае

ODUk будет формироваться с той же тактовой частотой, что и синхронный клиентский сигнал (то есть соответствовать тактовой частоте PRC, SSU, SEC/EEC/eEEC). При отказах в системе тактовой синхронизации формируется сигнал AIS/LF clock;

- асинхронно размещаются в ODUk (с использованием, например, AMP или GMP). В этом случае ODUk будет рассматриваться как плезиохронный с возможным отклонением тактовой частоты / битовой скорости в пределах ± 20 ppm.

Ниже представлены данные по всем основным клиентским сигналам Ethernet:

- Gigabit Ethernet (1000BASE-X/TX/CX/LX):
 - ▶ для передачи по оптоволокну 1000BASE-X и сбалансированному (150 Ом) симметричному медному кабелю (twinaхial) используется линейное кодирование PCS 8b/10b с символьной скоростью 1,25 ГБод;
 - ▶ может размещаться в контейнере ODU0 с использованием алгоритма GMP и обеспечением прозрачности передачи тактовой частоты.
- 10GE WANPHY (10GBASE-SW/LW/EW):
 - ▶ для передачи по оптоволокну используется линейное кодирование PCS 64/66b с результирующей скоростью передачи 9,953 Гбит/с, которая соответствует скорости передачи 9,953 Гбит/с, используемой в SDH уровня STM-64;
 - ▶ может размещаться в контейнере ODU2 (10.037 Гбит/с) без обеспечения прозрачности передачи тактовой частоты с использованием алгоритма GFP-F, с реализацией сетевого окончания (терминирования) для MAC, удалением преамбулы и интервалов между пакетами.
- 10GE LANPHY (10GBase-LR/SR/ER; 10GBase-LX/SX):
 - ▶ для передачи по оптоволокну используется линейное кодирование PCS 64b/66b с результирующей скоростью передачи 10,3125 Гбит/с, которая не соответствует скорости 9,953 Гбит/с, используемой в SDH уровня STM-64; может размещаться в контейнере с повышенной тактовой частотой ODU2e (10,399 Гбит/с), с обеспечением прозрачности передачи тактовой частоты на основе алгоритма BMP. Тактовая

частота OTU2e в этом случае повышается с 10,709 Гбит/с до 11,0957 Гбит/с (over-clocked OTN). Кроме того, в МСЭ-T G.709 (ранее в документе G.sup43-2012) определен метод мультиплексирования 4xODU2e в ODU3e, то есть предусмотрены параметры контейнера ODU3e с повышенной тактовой частотой, с обеспечением прозрачности передачи тактовой частоты.

- 40GE (40GBase-SR4/CR4/LR4/KR4) – в соответствии со стандартами IEEE Std 802.3ba/802.3bm/802.3bq/802.3cd:
 - ▶ для передачи по оптоволокну используется линейное кодирование PCS 64b/66b;
 - ▶ может размещаться в контейнере ODU3 с обеспечением прозрачности передачи тактовой частоты на основе алгоритма GMP.
- 100GE (100GBase-SR10/CR10; 100GBase-SR4/LR4) – согласно стандартам IEEE Std 802.3ba/802.3bg/802.3bj/802.3bm/802.3cd/802.3cu:
 - ▶ для передачи по оптоволокну используется линейное кодирование PCS 64b/66b;
 - ▶ может размещаться в контейнере ODU4 с использованием GMP или в ODUflex(IMP) и затем в OTU4 с применением GMP и обеспечением прозрачности передачи тактовой частоты. Скорость передачи цифрового линейного сигнала с HD FEC составляет 111,809997 Гбит/с;
 - ▶ в МСЭ-T G.709 для циклов OTUk определен FEC RS (255,239,8) с кодовым усилением порядка 6 dB.
- 200GE (200GBase-DR4/FR4/LR4; 200GBase-SR16/DE8) и 400GE (400GBase-SR4/FR4/DR4; 400GBase-FR8/LR8; 400GBase-ZR) – согласно стандартам IEEE 802.3bs и 802.3bj:
 - ▶ для клиентских подключений поддерживаются соединения:
 - » 200G: 16 линий по 26 Гбит/с, четыре линии по 53 Гбит/с, две – по 106 Гбит/с каждая;
 - » 400G: 32 линии по 26 Гбит/с, восемь линий по 53 Гбит/с, четыре – по 106 Гбит/с каждая;
 - » для каждой линии применяется модуляция PAM-4 вместо NRZ;
 - » для передачи по оптоволокну используется линейное кодирование PCS

Таблица 6. Методы размещения клиентских сигналов в полезной нагрузке структуры OTN с сохранением тактовой информации клиентских потоков

Клиентские сигналы	OPU0	OPU1	OPU2	OPU2e	OPU3	OPU4	OPUflex
STM-1	GMP						
STM-4	GMP						
STM-16		AMP BMP					
STM-64			AMP BMP				
STM-256					AMP BMP		
1000BASE-X	GMP						
10GBASE-R				BMP			
40GBASE					GMP		
100GBASE						GMP	
FC-100	GMP						
FC-200		GMP					
FC-400							BMP
FC-800							BMP
FC-1200				BMP			
ESCON	GMP						
DVB-ASI	GMP						

64b/66b, совместимое с FEC RS (544,514);

- ▶ может размещаться в линейном сигнале OTN в структуре ODUflex (IMP) и далее в OTUC4 с использованием GMP и обеспечением прозрачности передачи тактовой частоты.
- 800GE (800GBase-FR8/LR8/SR8/ER8) – согласно стандарту IEEE 802.3ck:
 - ▶ для клиентских подключений поддерживаются соединения:
 - » для 16 линий по 53 Гбит/с, для восьми – по 106 Гбит/с каждая;
 - » для каждой линии применяется модуляция PAM-4 вместо NRZ;

- » для передачи по оптоволокну используется линейное кодирование PCS 64b/66b, совместимое с FEC RS (544,514);
- ▶ предусмотрены два отдельных подключения 400 Гбит/с, объединяемые на втором уровне OSI под одним MAC-адресом;
- ▶ может размещаться в линейном сигнале OTN в структуре ODUflex (IMP) и далее в OTUC8 с использованием GMP и обеспечением прозрачности передачи тактовой частоты.

Методы размещения клиентских сигналов в полезной нагрузке OPUk/OPUflex оптических блоков данных ODUk/ODUflex структуры OTN с сохранением тактовой информации клиентских потоков

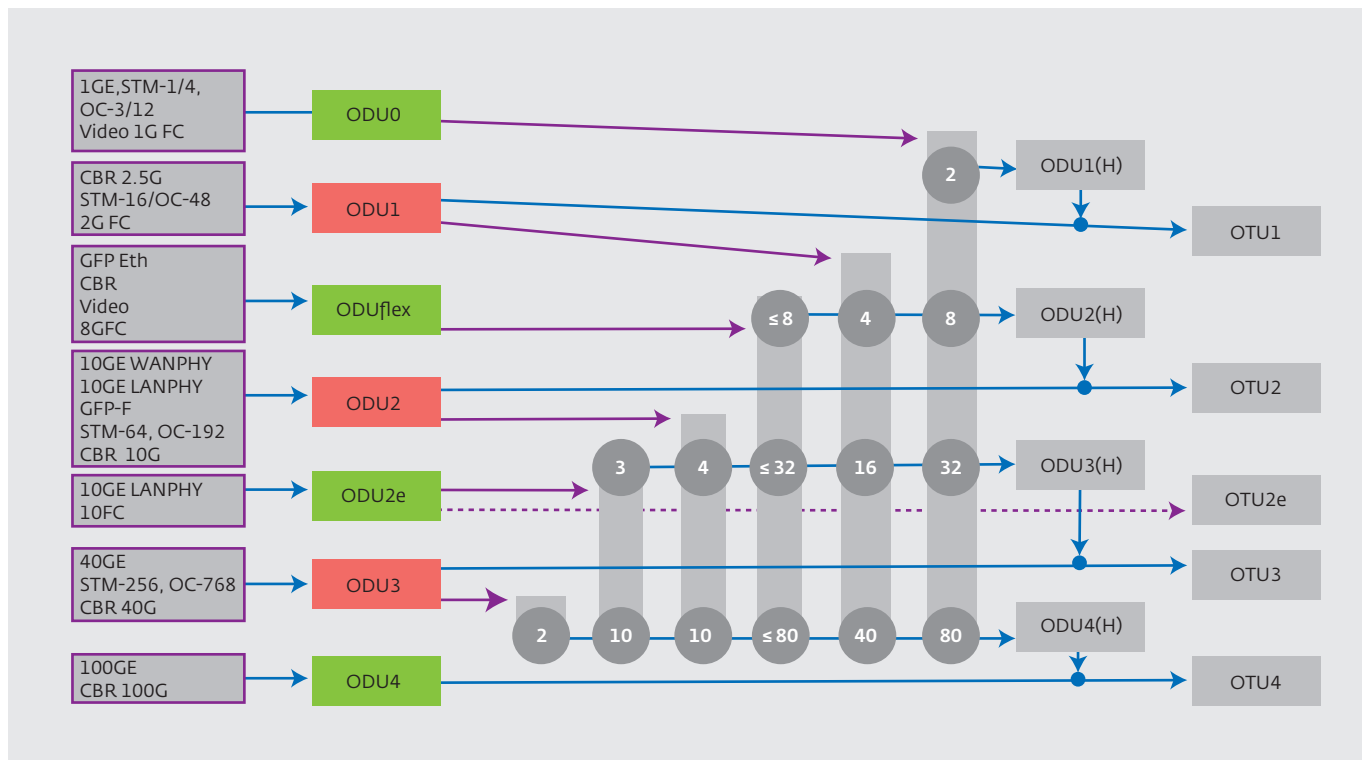


Рис.4. Схема размещения различных сервисных сигналов в структуре OTU-N (OTN)

(прозрачная передача сигналов в блоках данных OTN) представлены в табл.6.

Таким образом, для передачи тактовой информации без искажений используются стандартизованные методы прозрачного размещения клиентских сигналов в полезной нагрузке структуры OTN (BMP, GMP и т. п.). В случае BMP отпадает необходимость в согласовании скоростей, поскольку тактовая частота формирования ODU извлекается непосредственно из клиентского сигнала (например, STM-16 & STM-64 или 10GE LANPHY).

Метод размещения GFP-F не используется для прозрачной передачи тактовой частоты, он подходит для случаев, когда не требуется передавать без искажений тактовую частоту клиентского потока.

Схема размещения различных сервисных сигналов в структуре OTU-N (OTN) представлена на рис.4.

Для приложений, связанных с использованием интерфейсов для оптических каналов с пропускной способностью выше 100 Гбит/с (B100G), в рекомендации МСЭ-Т G.709 Edition 5 для транспортного сигнала предложена структура интерфейса OTUCn. Такая структура сигнала позволяет применять для интерфейса OTUCn любое значение "n" – от 1 до 10.

Требования к интерфейсу OTUCn не предусматривают функции FEC, скремблирование и т. п.

Поскольку тип FEC в составе цикла структуры OTUCn не определен, его можно выбрать таким образом, чтобы добиться наибольшей эффективности передачи сигнала для данного типа интерфейса.

В МСЭ-Т Q11/15 была создана группа FlexO (Flexible OTN). Групповой интерфейс FlexO обеспечивает модульность за счет объединения интерфейсов стандартной скорости (например, m*100G), для которых определяется сигнал OTUCn (n ≥ 1). Значение "m" не стандартизовано. Технология FlexO концептуально схожа с технологией OIF FlexE, поскольку функциональность ее интерфейсов OTN сопоставима с той, что представлена в OIF FlexE для интерфейсов Ethernet. В МСЭ-Т G.709.1, например, для интерфейса FlexO, на короткие расстояния рекомендованы, как и в случае FlexE, коды с обнаружением и исправлением ошибок FEC RS (5440,5140,10), которые тоже обеспечивают кодовое усиление до 6 дБ, но с меньшим размером заголовка цикла по сравнению с FEC RS (255,239,8).

Концепция FlexO:

- определяет системный интерфейс взаимодействия для передаваемых по транспортной сети сигналов OTUCn;
- обеспечивает формирование цикла, согласование скоростей с компенсацией смещения,

XXVII МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ВЫСТАВКА

СУРГУТ. НЕФТЬ И ГАЗ 2022

ОРГАНИЗАТОР:

• ЮГОРСКИЕ КОНТРАКТЫ •
окружной выставочный центр

MEMBER
OF THE RUSSIAN
UNION OF EXHIBITIONS
AND FAIRS



ЧЛЕН
РОССИЙСКОГО
СОЮЗА ВЫСТАВОК
И ФАЙРС



ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА:

EXPROTECH

XXVII INTERNATIONAL SPECIALIZED
TECHNOLOGICAL EXHIBITION

SURGUT. OIL & GAS 2022

26-28 СЕНТЯБРЯ 2022



г. Сургут,
СОК «Энергетик»
ул. Энергетиков, 47

+7 (3462) 94-34-54

sales@yugcont.ru

www.sngexpo.ru

vk.com/sngexpo

t.me/sngexpo

#приёмзаявок #СНГ #СургутНефтьиГаз2022 #выставка
#ЮГРА #Сургут #sngexpo #СургутнефтьиГаз #Exprotech
#2022 #четвертьвекавместе #ЮК #ЮгорскиеКонтракты

реализацию функциональности FEC, а также возможность управления каналом связи и другие функции, не предусмотренные непосредственно для структуры транспортного сигнала OTUCn;

- предусматривает модульность и гибкость при выборе скорости передачи для интерфейсов B100G;
- позволяет предоставлять услуги с размещением сервисных потоков в полезной нагрузке ODUflex (Idle/insertion Mapping Procedure, IMP) со скоростью передачи более 100 Гбит/с, с применением нескольких линейных интерфейсов OTN. Отличие ODUflex (IMP) от ODUflex GFP заключается в том, что неиспользуемая часть полезной нагрузки ODUflex с фиксированной скоростью передачи заполняется Idle циклами GFP, не содержащими полезный сигнал.

Новые документы МСЭ-Т для FlexO направлены на внедрение эффективного алгоритма обнаружения и исправления ошибок FEC для приложений, ориентированных на большую дальность передачи (МСЭ-Т G.709.3) и на дополнительные меры безопасности для приложений с небольшой дальностью передачи (МСЭ-Т G.709.1).

Передача идентификатора уровня качества сигнала тактовой синхронизации на транспортных сетях

В соответствии с ITU-T G.781 (04/2020) Synchronization layer functions for frequency synchronization based on the physical layer передача данных о качестве сигнала тактовой синхронизации возможна с применением встроенных каналов SSM (Status Synchronization Mode)/EMSC/OSMC. Этот идентификатор уровня качества используется при выборе входного эталонного сигнала самого высокого качества из набора назначенных эталонов синхронизации, доступных в сетевом элементе. Рекомендация МСЭ-Т G.781 определяет элементарные функции, которые являются частью уровней распределения тактовой синхронизации (Synchronization Distribution, SD) и сетевой тактовой синхронизации (Network Synchronization, NS). Указанные функции описывают синхронизацию сетевых элементов SDH, Ethernet и OTN, а также то, как эти сетевые элементы участвуют в сетевой синхронизации.

Рекомендация МСЭ-Т G.781 относится к следующему тактовому оборудованию ГСЭ/SEC/EEC/еЕЕС сетевых элементов:

- SDH (SEC, МСЭ-Т G.813);
- Ethernet (EEC/еЕЕС, МСЭ-Т G.8261/G.8261.1);

- OTN (OEC, МСЭ-Т G.8262), а также ко всем трем уровням сетевой синхронизации PRC & SSU & SEC/еЕЕС.

Уровень сетевой тактовой синхронизации может поддерживаться на следующих участках сети (выделены по используемым транспортным технологиями):

- трасса участка PDH;
- трасса участка мультиплексирования SDH;
- трасса пакетного Ethernet-соединения IEEE 802.3;
- трасса участка OTN OTU;
- трасса участка OSC / ОТС OTN с использованием дополнительного служебного оптического сервисного канала OSC или канала синхронизации ОТС (Optical Timing Channel).

На этих участках может поддерживаться также канал связи для передачи идентификатора уровня качества сигнала тактовой синхронизации:

- SSM (Status Synchronization Mode) для PDH, SDH;
- ESMC (Ethernet Synchronization Message Channel) для Ethernet;
- OSMC (OTN Synchronization Message Channel) для OTN (МСЭ-Т G.709);
- OSMC (OTN Synchronization Message Channel) для FlexO (МСЭ-Т G.709.1).

Сообщение SSM содержит 4-разрядный двоичный код, который можно использовать для передачи до 16 различных двоичных комбинаций, отображающих различные уровни качества передаваемого сигнала тактовой синхронизации.

Передача идентификатора уровня качества сигнала тактовой синхронизации в системах PDH с использованием встроенного канала SSM

- Канал SSM определен для сигналов 2 Мбит/с (2048 кбит/с), 34 Мбит/с (34 368 кбит/с) и 140 Мбит/с (139 264 кбит/с):
 - ▶ транспортные сигналы со скоростью 2 Мбит/с могут нести (в дополнение к полезной нагрузке) эталонную информацию о тактовой частоте;
 - ▶ опорные сигналы синхронизации со скоростью 2 Мбит/с (без полезной нагрузки) переносят эталонную информацию о тактовой синхронизации на определенных порты синхронизации;
 - ▶ оба типа сигнала 2 Мбит/с (с полезной нагрузкой и без таковой) в соответствии

XXVI МЕЖДУНАРОДНАЯ
ВЫСТАВКА СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА

ufi
Approved
Event



INTERPOLITEХ`22



18—20 ОКТЯБРЯ 2022
МОСКВА, МВЦ «КРОКУС ЭКСПО»

ВТОРОЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ
«ИНТЕРПОЛИТЕХ: ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА»



При поддержке



Соорганизатор

СВЯЗИСТ

Проект ОВК «БИЗОН»



INTERPOLITEX.RU

с МСЭ-Т G.704 могут передавать данные об уровне SSM качества источника тактовой синхронизации;

- ▶ в сигналах 2 Мбит/с (2048 кбит/с), 34 Мбит/с (34 368 кбит/с) и 140 Мбит/с (139 264 кбит/с) со структурой цикла (кадра) длительностью 125 мкс передается полный 4-битный код SSM качества тактовой синхронизации в соответствии с МСЭ-Т G.832.

Передача идентификатора уровня качества сигнала тактовой синхронизации в системах SDH с использованием встроенного канала SSM

- Скорость передачи в кбит/с (тактовая частота в кГц) сигналов SDH:
 - ▶ 9 953 280 кбит/с (STM-64);
 - ▶ 2 488 320 кбит/с (STM-16);
 - ▶ 622 080 кбит/с (STM-4);
 - ▶ 155 520 кбит/с (STM-1).
- Транспортные сигналы STM-N со структурой цикла (кадра) длительностью 125 мкс передают указание уровня качества источника тактового сигнала в четырех битах (с пятого по восьмой) байта S1 (SSMB байт сообщения о состоянии синхронизации заголовка секции мультиплексирования), как определено в МСЭ-Т G.707.

Передача идентификатора уровня качества сигнала тактовой синхронизации в составе сигналов Ethernet с использованием встроенного канала ESMC (Ethernet Synchronization Message Channel)

- Скорость передачи в кбит/с (тактовая частота в кГц) сигналов Ethernet:
 - ▶ 100 000 кбит/с (FE);
 - ▶ 1 000 000 кбит/с (GbE);
 - ▶ 10 000 000 кбит/с (10 GbE);
 - ▶ 40 000 000 кбит/с (40 GbE);
 - ▶ 100 000 000 кбит/с (100 GbE).
- Канал SSM определен для Ethernet-сигналов 100 Мбит/с, 1 Гбит/с, 10 Гбит/с, 40 Гбит/с и 100 Гбит/с Ethernet (IEEE 802.3, МСЭ-Т G.8262, ITU-T G.8262.1) и представляет собой 4-битовое поле, значение которого описано в МСЭ-Т G.781, а канал сообщений синхронизации ESMC определен в МСЭ-Т G.8264.
- В соответствии с G.8262 для восстановления тактовой частоты (retiming) в пакетном блоке с функциональностью L2 Ethernet

требуется наличие генератора тактовой частоты ЕЕС/еЕЕС. Тактовая частота извлекается с одного из входных физических клиентских пакетных портов и подается на вход T0 генератора ЕЕС/еЕЕС. Тактовый генератор, благодаря системе PLL, захватывает эту частоту и обеспечивает тактирование сигналов на выходе блока.

- Данные ESMC от входного сигнала используются для дальнейшей передачи информации о качестве исходного сигнала синхронизации (QL) и реализации методов защиты источника тактовой синхронизации, например, автоматического переключения на другой физический порт при отключении сигнала от данного порта (timing reference protection). Пакетный поток до 100 Гбит/с включительно размещается в ODUflex с использованием преимущественно алгоритма BWP.

Передача идентификатора уровня качества сигнала тактовой синхронизации в канале OTUk систем OTN/DWDM с использованием встроенного в заголовок структуры OTUk канала OSMC (OTN Synchronization Message Channel)

- Скорость передачи в кбит/с (тактовая частота в кГц) сигналов OTUk (k = 1, 2, 3, 4):
 - ▶ 2.666 Гбит/с (255/238×2 488 320 кбит/с) OTU-1;
 - ▶ 10.709 Гбит/с (255/237×9 953 280 кбит/с) OTU-2;
 - ▶ 43.018 Гбит/с (255/236×39 813 120 кбит/с) OTU-3;
 - ▶ 111.809 Гбит/с (255/227×99 532 800 кбит/с) OTU-4.
- Сигналы интерфейса OTN (при отсутствии специального оптического сервисного канала OSC) в дополнение к полезной нагрузке могут передавать указание уровня качества источника тактовой синхронизации посредством сообщения OSMC и, возможно (но необязательно), посредством сообщений eSSM в eQL-TLV в передаваемом в полезной нагрузке OTUk потоке Ethernet, как определено в МСЭ-Т G.7041, МСЭ-Т G.709 и МСЭ-Т G.8264.

Передача идентификатора уровня качества сигнала тактовой синхронизации в канале FlexO/OTUCn (МСЭ-Т ITU-T G.709.1/Y.1331, 06/2018) систем OTN/DWDM с использованием встроенного в заголовок структуры канала OSMC (OTN Synchronization Message Channel)

В структуре FlexO сообщения SSM инкапсулируются в циклы GFP-F в соответствии с МСЭ-Т G.704, которые затем вводятся в канал OSMC. ■



KIOGE
OIL&GAS KAZAKHSTAN



28-я Казахстанская международная выставка "Нефть и Газ"

28-30 сентября 2022
Атакент, Алматы, Казахстан

подробная информация:
www.kioge.kz

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР
Выставки и Конференции

