

Научно-практический семинар

Единое точное время в пакетных сетях: требования, задачи и их решения от АО "Время-Ч"

Особенности построения пакетных сетей синхронизации, обзор протоколов NTP, PTP, SyncE

Михаил Вексельман, к.т.н, АО «Время-Ч»

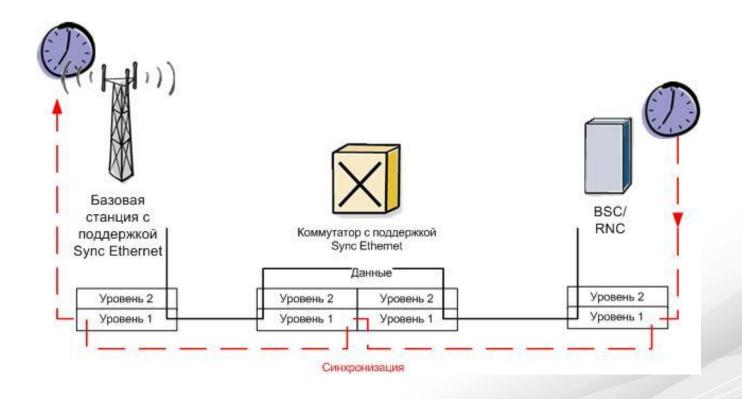


Синхронизация на сетях с коммутацией пакетов

Технология	Частота	Фаза	Время
SyncE	Да	Нет	Нет
NTP			Да (точность в мс)
PTP	Да	Да	Да (точность до нс)



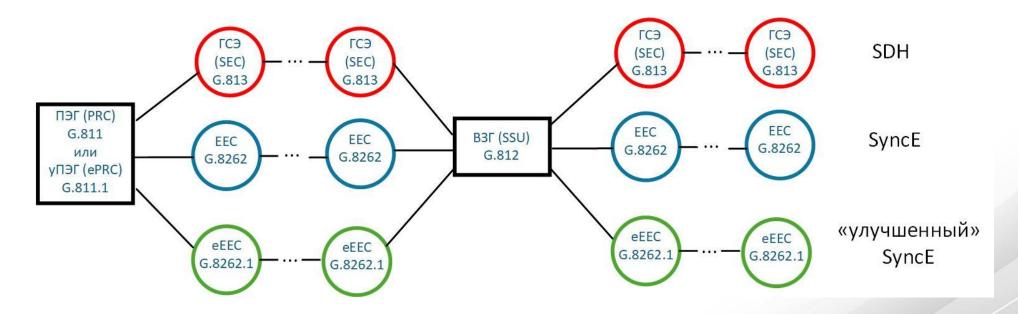
Технология SyncE (Sync Ethernet)



- Частота распространяется на физическом уровне и не зависит от нагрузки
- Каждый элемент сети должен поддерживать технрлогию SycnE



Технология SyncE (Sync Ethernet)



Рекомендация G.803:

- ▶В цепочке синхронизации не должно быть более 60 элементов ГСЭ и не более 10 ВЗГ.
- ≻Между ПЭГ и ВЗГ или ВЗГ и ВЗГ не более 20 ГСЭ.

Частота передаётся на физическом уровне в линейных сигналах по оптическому волокну с минимальными искажениями, что позволяет обеспечить передачу эталонной частоты на расстояния сотни и тысячи км



Технология SyncE (Sync Ethernet), рекомендации ITU-T

Рекомендации ITU-T	Что описывает	Задает	Аналог SDH рекомендации
G.8261	Сетевые аспекты частотной синхронизации в пакетных сетях: архитектуру, сценарии внедрения,	Допустимые сетевые ограничения	G.803, G.825
G.8262/G.8262.1	Аппаратные характеристики Ethernet Equipment Clock (EEC): точность, допуски по jitter / wander, hold-over, механизмы выбора опоры, внешние интерфейсы	Требования к генератору самого узла	G.813
G.8264	Формат ESMC	Типовые коды качества QL	G.781

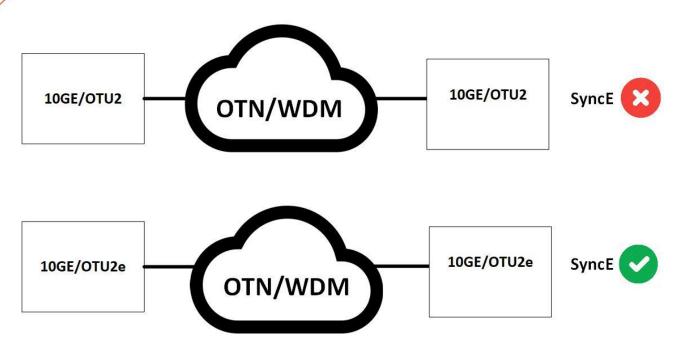


Сравнение терминологии SyncE и SDH

Функция/устройство	SDH термин	SyncE термин	Что нормирует	Источник
Эталон 1-го уровня	PRC (Primary Reference Clock)	PRC / ePRC	Точность/стабильность эталона частоты, маски MTIE/TDEV	ITU-T G.811 (PRC); G.811.1 (ePRC)
Узел распределения частоты (2-й уровень)	SSU (Synchronization Supply Unit)	SSU	Требования к ведомым узловым часам (типы, wander generation/tolerance/transfer, holdover)	ITU-T G.812 .
Встроенные часы оборудования передачи	SEC (SDH Equipment Clock)	EEC / eEEC (Ethernet Equipment Clock)	Характеристики узловых часов в оборудовании: wander gen/tol/transfer, полоса захвата, переходные процессы/holdover	SDH: G.813 (SEC); SyncE: G.8262 (EEC), G.8262.1 (eEEC).
Канал статуса качества	SSM в байте S1 (SDH)	ESMC (EtherType 0x8809) c QL-TLV	Формат и кодирование уровней качества (QL)	SyncE канал/QL: G.8264
Функция выбора опоры в узле	SETS (Selection of Equipment Timing Source)	SETS	Алгоритм выбора по качеству/приоритетам	Поведение ESMC/выбор в G.8264 с отсылкой к G.781



Передача SyncE через OTN



Рекомендация G.709

	OTU2	OTU2e
Скорость	10,709 225 316 Гбит/с	11,095 727 466 Гбит/с
Mapping	GFP (Generic Framing Procedure)	CBR (Continuous Bit Rate)
SyncE	Частота не сохраняется	Частота сохраняется

20–22 октября 2025 года, г. Нижний Новгород



Передача SyncE через OTN

	Скорость	Бит-синхронный контейнер OTN (частота сохраняется)	Mapping (ITU-T G.709)	Асинхронный вариант (частота теряется)
1 GbE	1,25 Gb/s	ODU0 CBR	CBR ODUflex	GFP-F \rightarrow ODU0 (AMP/GMP)
10 GbE	10,3125 Gb/s	ODU2e	BMP/CBR	OTU2 + GFP-F (AMP/GMP)
25 GbE	25,78125 Gb/s	ODUflex CBR 25G	CBR-ODUflex	ODUflex GFP
40 GbE	41,25 Gb/s	ODU3e2	ВМР	OTU3 + GFP-F
100 GbE	103,125 Gb/s	ODU4	ВМР	OTU4 + GMP
400 GbE (IEEE 802.3bs/br)	4×106,25 Gb/s PAM-4	ODUflex CBR	CBR	ODUflex GMP



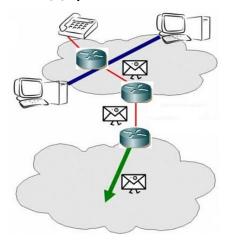
Передача SyncE через OTN

- Выбирать бит синхронный mapping
- Передача через оптический канал с использование ROADM не приводит к потере частоты
- Проход через электрическую матрицу OTN приводит к потере частоты
- Любая 3R негенерация приводит к потере частоты
- Использование технологии «CBR bypass»

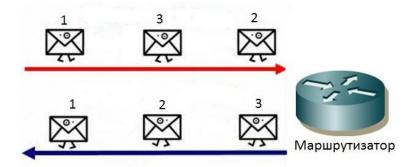


Причины нестабильности синхронизации на пакетных сетях

1. Задержка пакетов



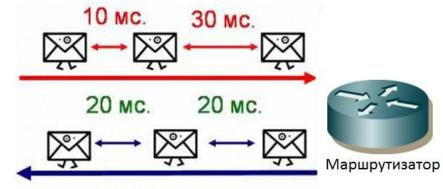
3. Порядок пакетов



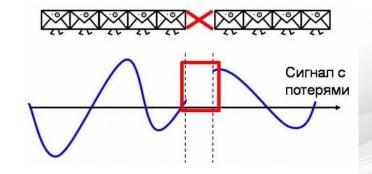
Основные причины нестабильности протоколов NTP и PTP, связанные с особенностью пакетных сетей:

- Задержки
- Постоянная асимметрия
- Переменная асимметрия

2. Джиттер пакетов



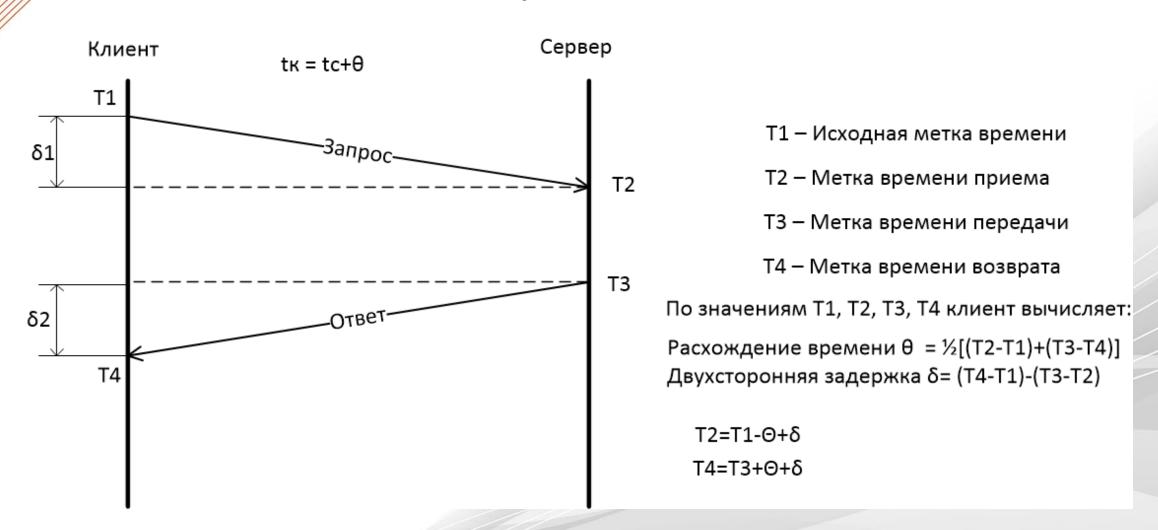
4. Потеря пакетов



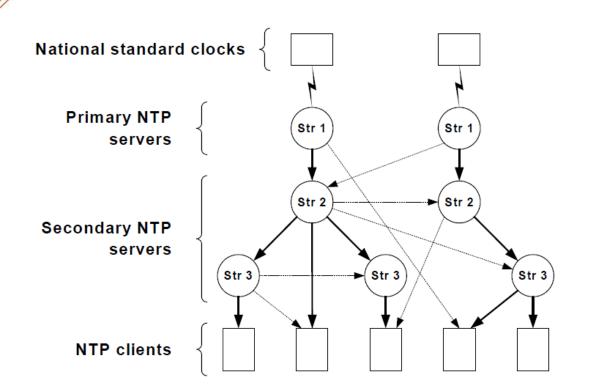


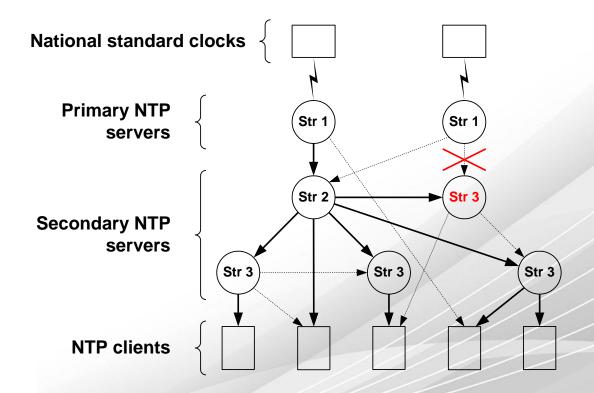
- Протокол создан 1985 году
- IEFT 5905 (версия 4)
- UDP port 123
- Использует UTC шкалу (начало отсчета с 01.01.1900, 00:00)
- Значения времени представляют собой 64-разрядные числа с фиксированной запятой, 32 бита для целой части, 32 бита для дробной части (переполнение 2036 год)
- Доступно предупреждение о високосной секунде (Leap second)
- Не поддерживает местное время и переходы на летнее время
- Реализация в ОС: Unix/Linux демон ntpd или chrony, MS Windows W32Time



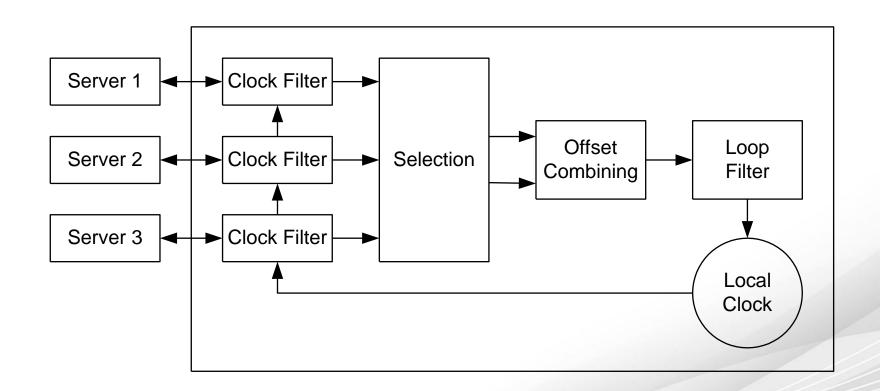












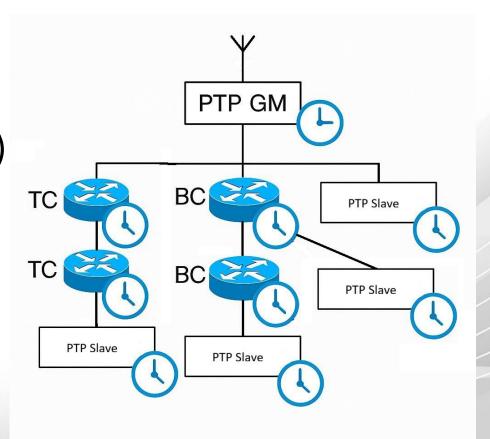


- PTP Precision Time Protocol
- IEEE 1588-2008 версия 2.0
- Использует шкалу ТАІ (Начало отсчета 1970 год Unix эпоха)
- Использует аппаратные часы и аппаратное указание/чтение метки времени
- Определен для работы поверх L1, L2 или L3/L4
- Master Slave
- Кодирование времени: 48 бит для числа секунд и 32 бита для дробной части



РТР типы устройств:

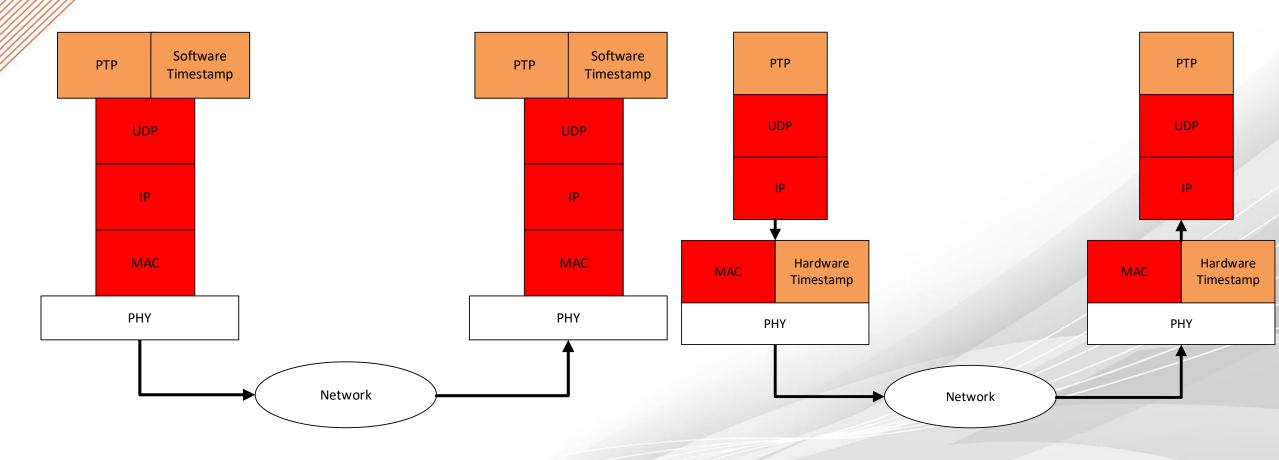
- Ordinary clock (GrandMaster, Master, Slave)
- Boundary clock
- End-to-end transparent clock
- Peer-to-peer transparent clock
- Management node





Software Timestamping

Hardware Timestamping

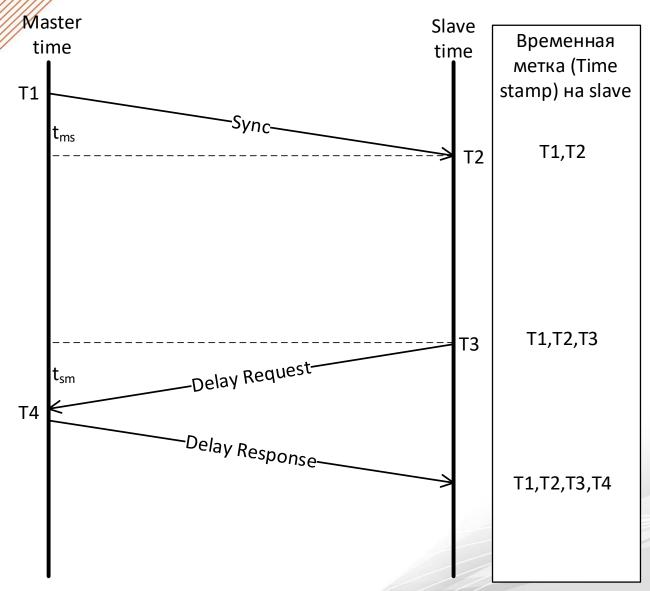




РТР сообщения:

- Sync
- Follow_Up
- Delay_Req
- Delay_Resp
- Annonce
- Signaling
- Pdelay_Req
- Pdelay_Resp
- Pdelay_Resp_Follow_Up





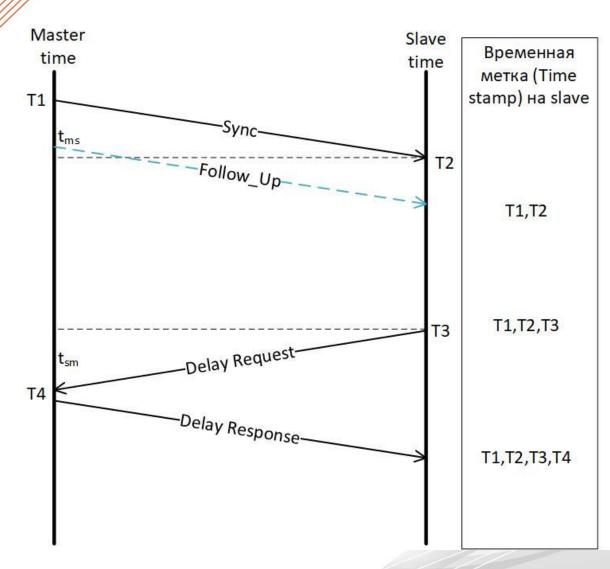
T1 – TimeStamp формирования пакета Sync T2 – Время получения пакета Sync T3 – TimeStamp формирования пакета Delay Req T4 – TimeStamp формирования Delay Res

Задержка (Path dalay) = ½[(T2-T1)+(T4-T3)]= ½[(T2-T3)+(T4-T1)]

Смещение (offset) = ½[(T2-T1)-(T4-T3)]



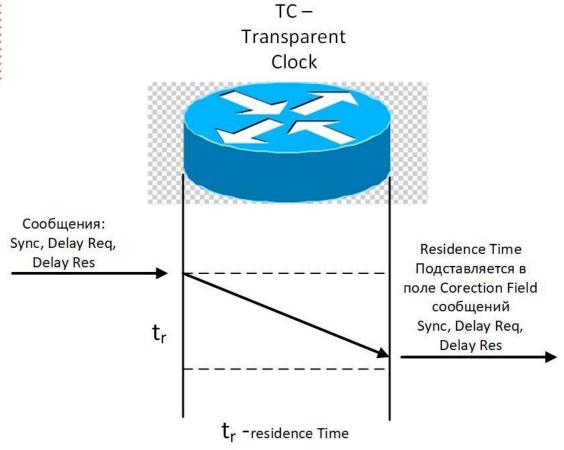
Протокол PTP, two step



T1 - TimeStamp формирования пакета Sync, но метка T1 передается в сообщении Follow Up Т2 - Время получения пакета Sync T3 - TimeStamp формирования пакета Delay Req T4 - TimeStamp формирования Delay Res Задержка (Path dalay) = ½[(T2-T1)+(T4-T3)]= ½[(T2-T3)+(T4-T1)] Смещение (offset) = ½[(T2-T1)-(T4-T3)]



Протокол PTP, Transparent Clock



- 0.0002		10.1.171./5	ODI	00 30707 / 73001 ECH-27
5 0.0051	7 10.1.1.48	224.0.1.129	PTPv2	86 Sync Message
6 0.0160	66 10.1.141.73	10.1.141.177	UDP	147 45001 \ 50464 Lon-105
7 0.0163	35 10.1.141.177	10.1.141.73	UDP	66 50464 → 45001 Len=24
8 0.0313	7 10.1.1.47	224.0.1.129	PTPv2	86 Delay_Req Message

- > Frame 5: 86 bytes on wire (688 bits), 86 bytes captured (688 bits) on interface \Device\NPF_{17AAA4D1-5AFB-4600-87FB-323435DBCD35}, id 0
- > Ethernet II, Src: CMComandosLi_00:3e:78 (00:19:22:00:3e:78), Dst: IPv4mcast_01:81 (01:00:5e:00:01:81)
- > Internet Protocol Version 4, Src: 10.1.1.48, Dst: 224.0.1.129
- > User Datagram Protocol, Src Port: 319, Dst Port: 319
- ∨ Precision Time Protocol (IEEE1588)

0000 = majorSdoId: Unknown (0x0)

.... 0000 = messageType: Sync Message (0x0)

0000 = minorVersionPTP: 0

.... 0010 = versionPTP: 2

messageLength: 44 domainNumber: 4

minorSdoId: 0

v correctionField: 13724.000000 nanoseconds

correctionSubNs: 0 nanoseconds

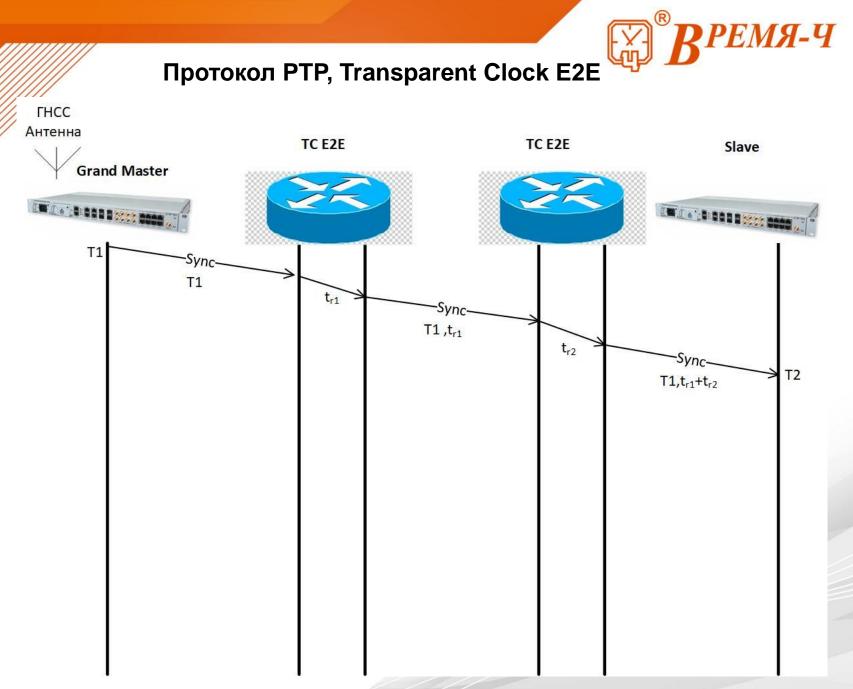
messageTypeSpecific: 0

> ClockIdentity: 0x001922fffe003e78

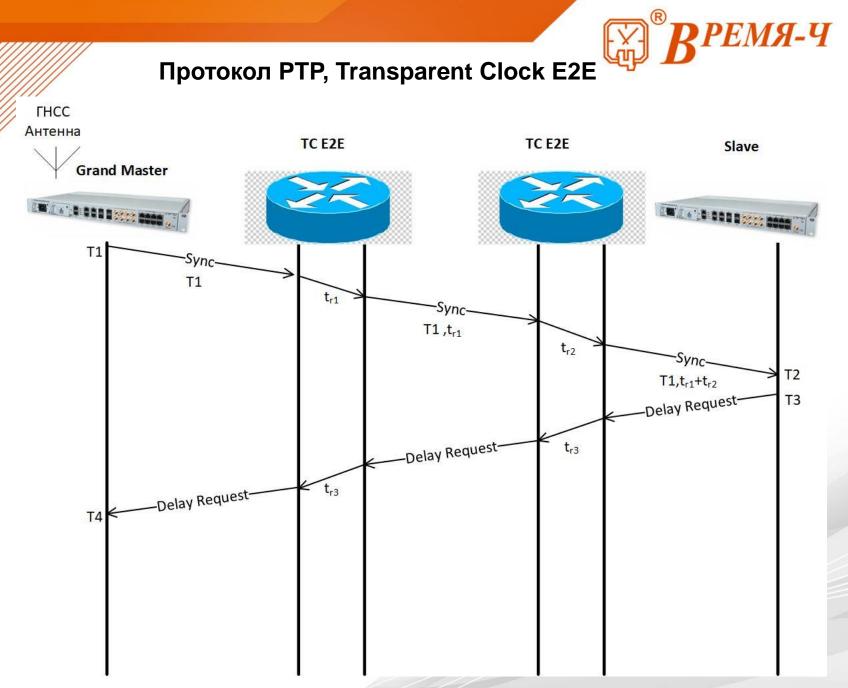
SourcePortID: 1 sequenceId: 18411

controlField: Sync Message (0)



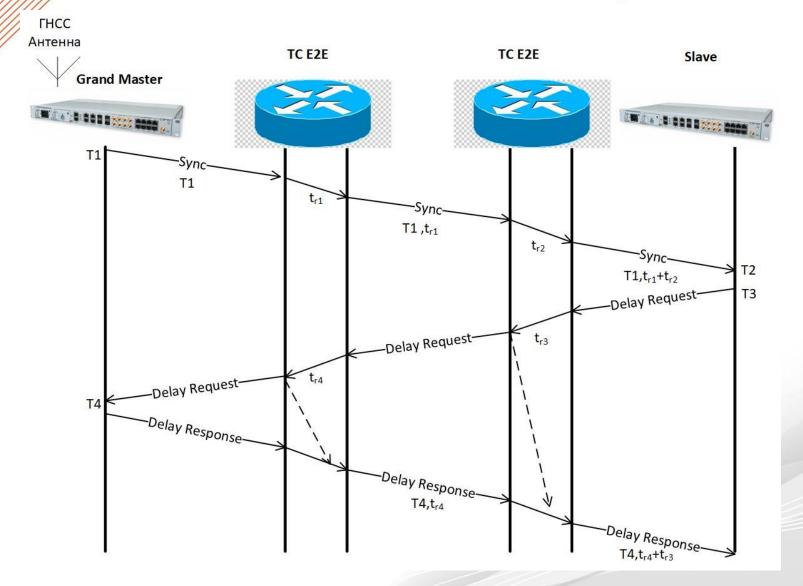




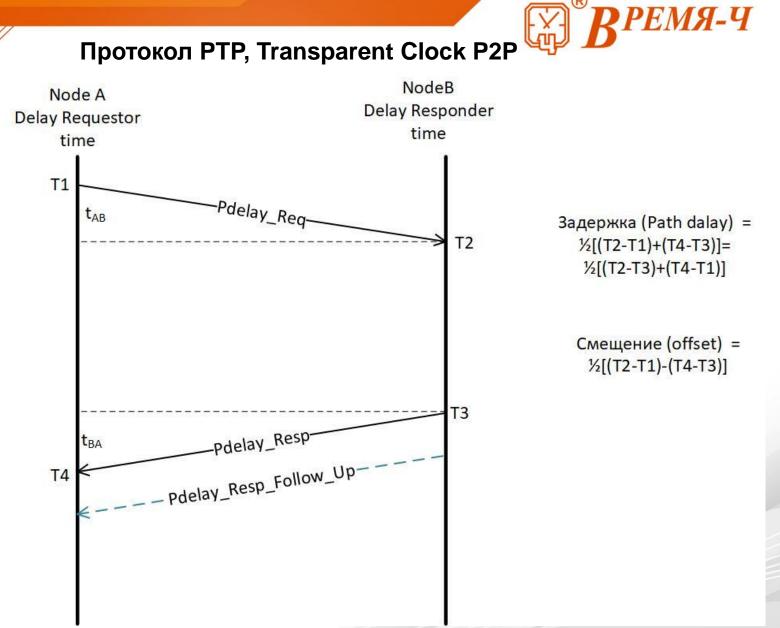


Протокол PTP, Transparent Clock E2E

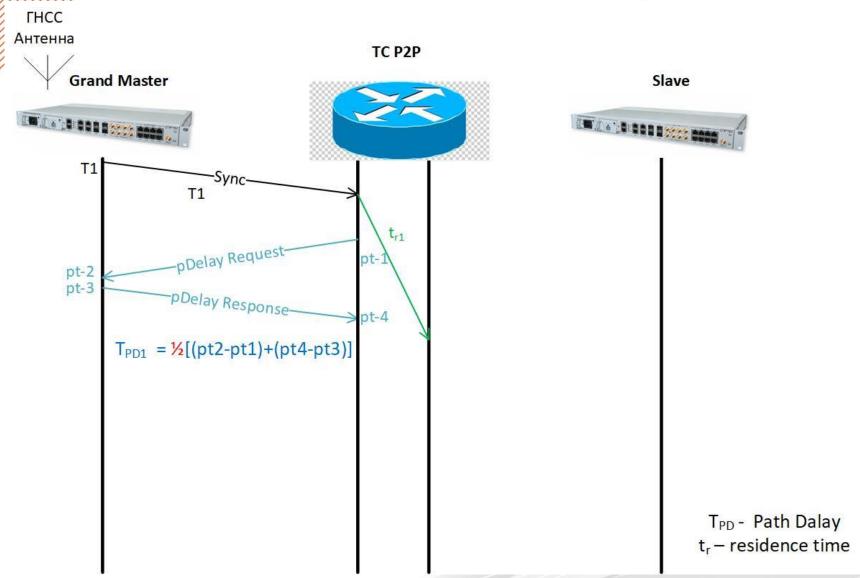




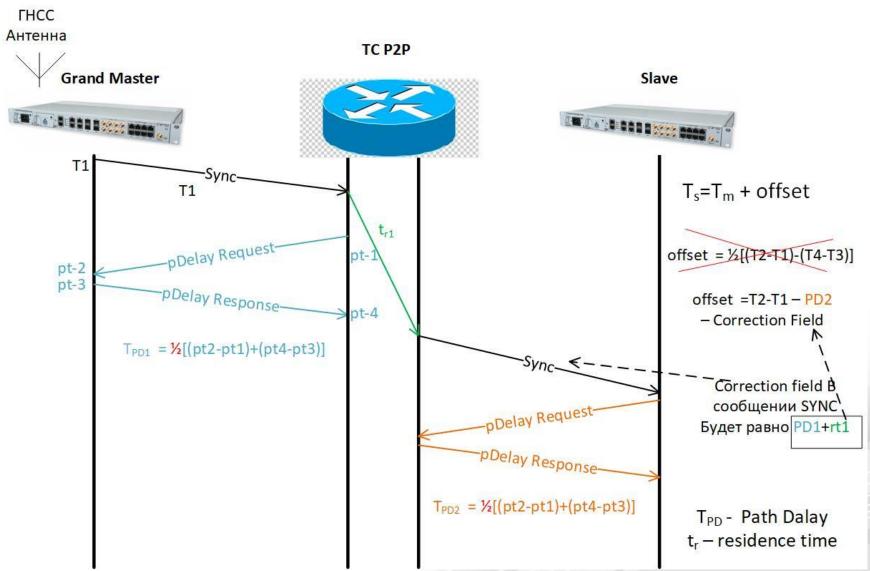




Протокол PTP, Transparent Clock P2P

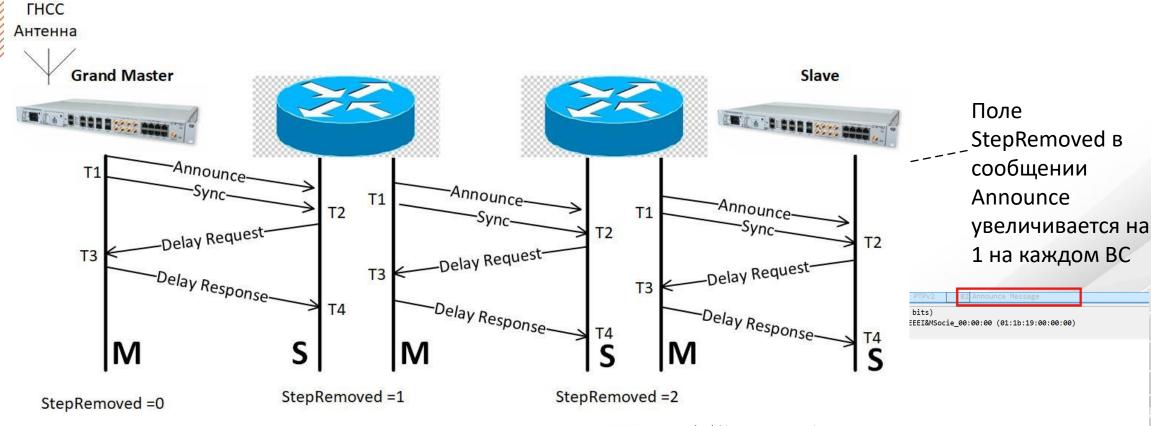


Протокол PTP, Transparent Clock P2P ВРЕМЯ-Ч





Протокол PTP, Boundary Clock



> correctionField: 0.000000 nanoseconds messageTypeSpecific: 0 > ClockIdentity: 0xfcaf6afffe06e43d SourcePortID: 2 sequenceId: 51199 controlField: Other Message (5) logMessagePeriod: -3 (0.125000 s) originTimestamp (seconds): 1694607074 originTimestamp (nanoseconds): 977388664 originCurrentUTCOffset: 37 priority1: 128 grandmasterClockClass: 6 grandmasterClockAccuracy: The time is accurate to within 100 ns (0x21) grandmasterClockVariance: 20061 priority2: 128 0x0080eafffe7eae50 localStepsRemoved: 5



Best Master Clock Algorithm (BMCA)

Алгоритм выбора GrandMaster

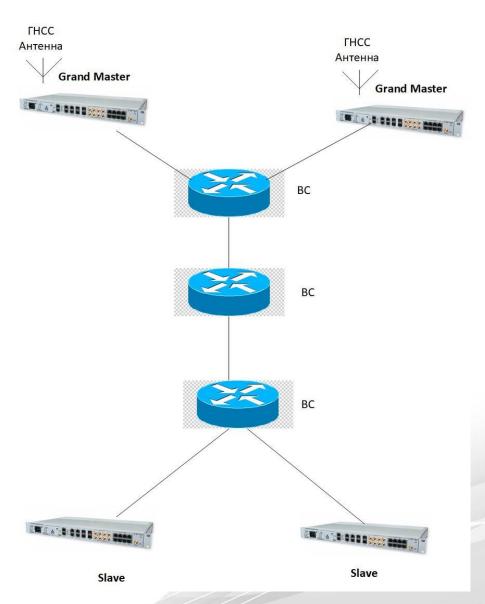
Первый этап выбора GM

- Priority1
- ClockClass
- Accuracy
- offsetScaledLogVariance
- Priority2
- MasterIdentity

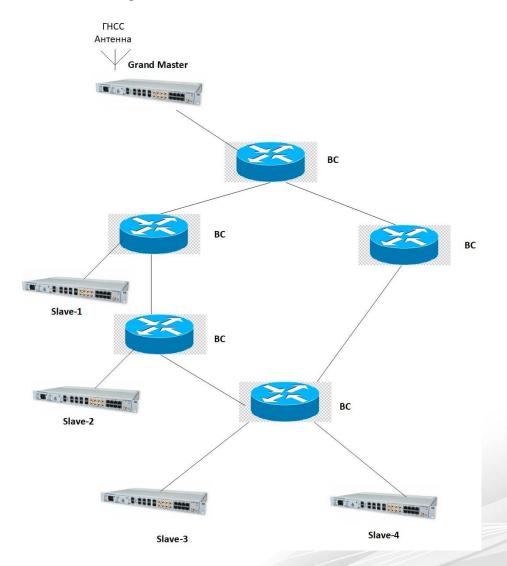
Второй этап выбора (топология сети)

StepRemoved











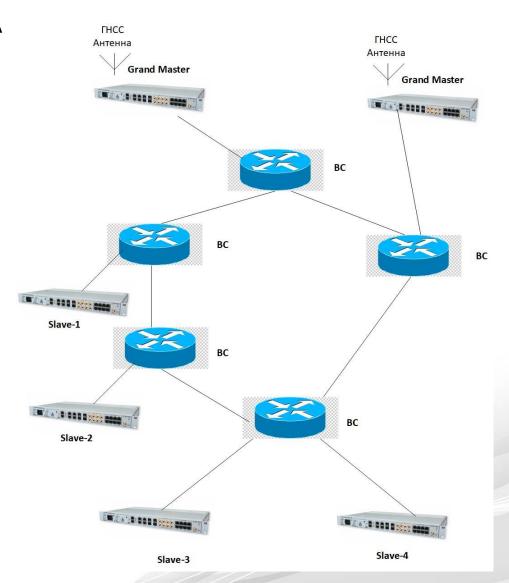
Alternate Best Master Clock Algorithm (BMCA)

Альтернативный Алгоритм выбора GrandMaster

- Priority1 (всегда равен 128)
- ClockClass
- Accuracy
- offsetScaledLogVariance
- Priority2
- Local Priority (поле не определено в протоколе PTP, настройка BC или Slave)
- StepRemoved
- MasterIdentity

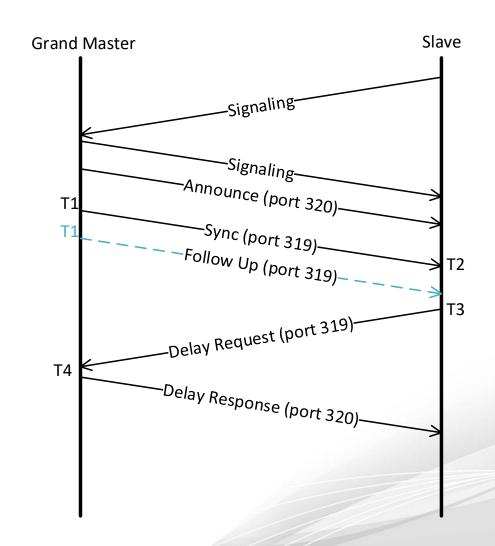


Alternate BMCA



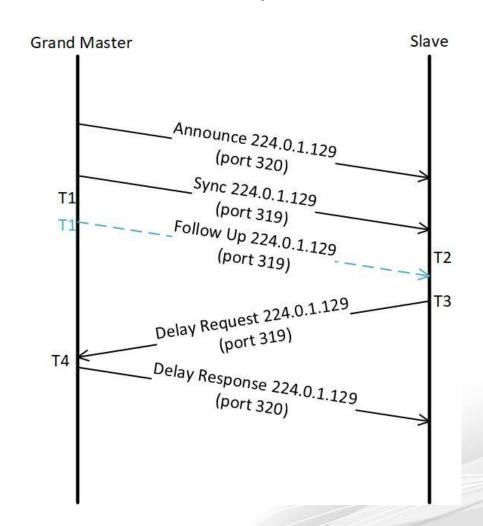


Обмен сообщениями в режиме IP Unicast



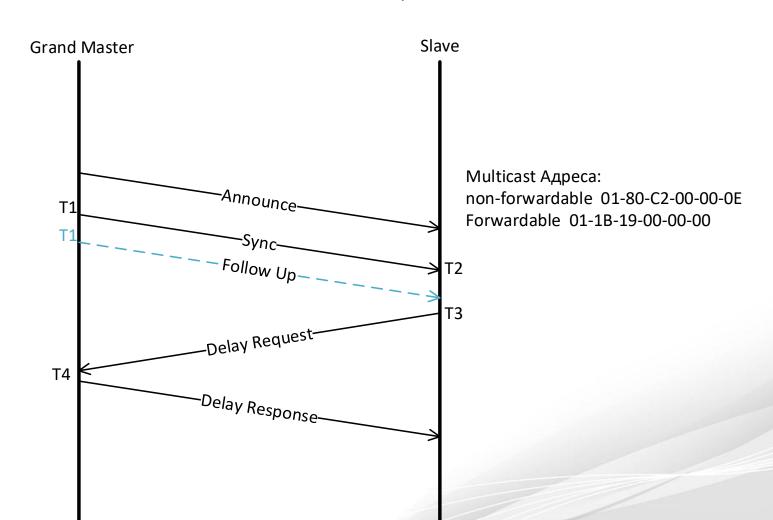


Обмен сообщениями в режиме IP Multicast





Обмен сообщениями в режиме L2 Multicast





Протокол РТР, профили

Трофиль	SDO	Транспорт	Механизм задержки	Сценарий (Unicast/Multicast)	BMCA
IEEE 1588-2008 Default (E2E)	IEEE	IEEE 802.3 и/или UDP поверх IPv4/IPv6	E2E	Оба допускаются	Стандартный
IEEE 1588-2008 Default (P2P)	IEEE	IEEE 802.3 и/или UDP поверх IPv4/IPv6	P2P	Оба допускаются	Стандартный
IEEE 1588-2019 High Accuracy Default	IEEE	IEEE 802.3; опции HA/L1Sync	E2E (по умолчанию)	Оба допускаются	Стандартный
		Tex	пеком профили		
ITU-T G.8265.1 (Frequency)	ITU-T	UDP поверх IPv4/IPv6	E2E	Unicast	Alternate
ITU-T G.8275.1 (Phase/Time)	ITU-T	Только L2 Ethernet	E2E	Multicast	Alternate
ITU-T G.8275.2 (Phase/Time)	ITU-T	UDP поверх IPv4/IPv6	E2E	Unicast	Alternate



Протокол РТР, профили

	Профиль	SDO	Транспорт	Механизм задержки	Сценарий (Unicast/Multicast)	BMCA
			Профи	пи для энергети	1КИ	
	IEC/IEEE 61850- 9-3 (Power Utility Profile)	IEC/IEEE	IEEE 802.3 (Layer 2)	P2P	Multicast	Стандартный
	IEEE C37.238- 2017 (Power Profile v2)	IEEE	IEEE 802.3 (Layer 2)	P2P	Multicast	Стандартный
Профили для телевидения						
	SMPTE ST 2059- 2 (Broadcast)	SMPTE	UDP/IPv4	E2E	Multicast, Unicast, Mixed	Стандартный
	AES67 Annex A (Media Profile)	AES	UDP/IPv4	E2E (Р2Р опционально)	Multicast, Mixed	Стандартный



Протокол РТР, профили

Профиль	SDO	Транспорт	Механизм задержки	Сценарий (Unicast/Multicast)	BMCA
IETF RFC 9760 Enterprise	IETF	UDP поверх IPv4/IPv6	E2E	Multicast, Mixed	Стандартный
TAP Data Center Profile	OCP	UDP поверх IPv4/IPv6	E2E	Unicast	Стандартный



Спасибо за внимание!

Вопросы

Михаил Вексельман, к.т.н, АО «Время-Ч»