

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕТЕЙ СВЯЗИ

DOI: 10.36724/2072-8735-2022-16-7-21-28

Рыжков Анатолий Васильевич,
МТУСИ, Москва, Россия, ryjkov.anatoly@yandex.ru

Шварц Михаил Львович,
МТУСИ, Москва, Россия, mschwartz@srd-mtuci.ru

Аладин Владимир Михайлович,
МТУСИ, Москва, Россия, VAladin@smsync.ru

Исупов Андрей Викторович,
ООО "Комсет-Сервис" Москва, Россия, isupov@komset.ru

Manuscript received 07 June 2022;
Accepted 24 June 2022

Ключевые слова: Шкала времени, частотно-временное обеспечение, сетевые протоколы времени NTP и PTP, ведущие часы, GrandMaster PTP, NTP-сервер, синхронный Ethernet, ГНСС

Одной из основных подсистем, обеспечивающих работу сетей связи 4G, 5/6G является подсистема частотно-временной синхронизации. Современные сети связи предъявляют очень высокие требования к точности синхронизации шкал времени (ШВ) – не хуже 1,5 мкс по отношению к ШВ UTC для сетей 4G и 65-150 нс в сетях 5/6G (в зависимости от технологии связи базовых станций). Сети 4G, 5/6G опираются на сети с пакетной коммутацией, которые по своей природе являются асинхронными и не позволяют обеспечить синхронизацию частоты и ШВ иначе, как на физическом уровне, т.е. в обход асинхронного ядра коммутации. Системы временной синхронизации в сетях связи должны иметь привязку к эталонной шкале времени (ШВ) национального эталона. В большинстве случаев для этих целей широко используются приёмники сигналов глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС). Однако возможные нарушения приёма этих сигналов, а также случаи их подмены (спуффинг) заставляют искать альтернативные варианты получения ШВ по наземным каналам связи. Одним из решений является применение специальной аппаратуры распределения сигналов времени (АРСВ) в комплекте с сервером времени, который выполняет приём, хранение и передачу потребителю сигналов ШВ в любых форматах – NTP, PTP, IRPS+ToD и т.д. Целью настоящей статьи является представление опыта внедрения систем частотно-временного обеспечения с применением наземных каналов связи с источниками шкалы времени UTC.

Информация об авторах:

Рыжков Анатолий Васильевич, МТУСИ, г.н.с., д.т.н., профессор, г. Москва, Россия

Шварц Михаил Львович, МТУСИ, начальник отдела, к.т.н., г. Москва, Россия

Аладин Владимир Михайлович, МТУСИ, н.с., г. Москва, Россия

Исупов Андрей Викторович, ООО "Комсет-Сервис", Генеральный директор, Москва, Россия

Для цитирования:

Рыжков А.В., Шварц М.Л., Аладин В.М., Исупов А.В. Опыт внедрения систем частотно-временного обеспечения сетей связи // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Том 16. №7. С. 21-28.

For citation:

Ryzhkov A.V., Schwartz M.L., Aladin V.M., Isupov A.V. (2022) Experience of introducing time-frequency supply systems for communication networks. *T-Comm*, vol. 16, no.7, pp. 21-28. (in Russian)

Введение

Одной из основных подсистем, обеспечивающих работу сетей связи 4G, 5/6G является подсистема частотно-временной синхронизации. При этом необходимо отметить два основных момента [1-4, 9]:

1. Современные сети связи предъявляют очень высокие требования к точности синхронизации шкал времени (ШВ) – не хуже 1,5 мкс по отношению к ШВ UTC для сетей 4G и 65-150 нс в сетях 5/6G (в зависимости от технологии связи базовых станций).

2. Сети 4G, 5/6G опираются на сети с пакетной коммутацией, которые по своей природе являются асинхронными и не позволяют обеспечить синхронизацию частоты и ШВ иначе, как на физическом уровне, т.е. в обход асинхронного ядра коммутации.

Вследствие указанных причин в сетях нового поколения вопросы частотно-временного обеспечения могут быть решены только при соблюдении следующих условий [6, 7]:

1. Получение данных о ШВ UTC на каждом узле с помощью приёмников сигналов глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС);

2. Передача сигналов ШВ UTC от ведущих часов с помощью специальных программно-аппаратных часов, встроенных в транспортные элементы сети связи, которые получают пакеты прецизионного протокола времени (PTP) в обход ядра коммутации на аппаратном (физическом) уровне.

Первый метод давно и широко используется, в том числе ещё и в более ранних сетях стандарта CDMA. Однако, его основной недостаток – зависимость от надёжности приёма сигналов ГНСС. Не рассматривая зависимость надёжности сети от большого количества антенных устройств и собственно приёмников укажем, что есть ещё один существенный фактор, снижающий работоспособность данного решения – значительное влияние внешних помех и атмосферных явлений на качество приёма сигналов ГНСС. К мешающим факторам следует отнести промышленные помехи, помехи от соседних радиопередающих устройств, городская застройка, ограничивающая видимую часть неба, а также целый ряд преднамеренных помех: спуффинг (подмена сигналов ГНСС ложными метками) и джамминг (широкополосная помеха в диапазоне работы ГНСС).

В последние годы количество случаев постановки преднамеренных помех всё увеличивается, приобретая местами просто катастрофические масштабы. Достаточно указать такие ситуации, как создание временных или постоянных охранных зон, в пределах которых подавляются сигналы ГНСС. Также на сегодняшний день массовое распространение получили бытовые устройства постановки помех, которые, например, используют недобросовестные водители грузового транспорта для препятствования контролю их передвижения с помощью приёмников сигналов ГНСС.

Кроме того, есть множество иных ситуаций, когда работа приёмников ГНСС внезапно нарушается из-за постановки преднамеренных помех, а также возможных отключений или системных сбоев в работе самих ГНСС.

Таким образом, применение приёмников сигналов ГНСС таит в себе опасность потери синхронизации отдельных узлов или целых фрагментов сети связи.

В связи с этим в системах синхронизации активно применяются второй из указанных методов частотно-временного обеспечения – установку на сети некоторого ограниченного количества ведущих часов, синхронизированных от сигналов приёмников ГНСС, и передача их данных в протоколе PTP к остальным узлам сети для синхронизации ведомых часов. При этом, ведущие часы устанавливаются в местах, наименее подверженных внешним помехам.

В этом случае, если транспортное оборудование пакетной сети имеет в своём составе специальные средства программно-аппаратной поддержки синхронизации по частоте (технология синхронного Ethernet – SyncE) и временной синхронизации по протоколу PTP – пограничные часы (Boundary Clock – T-BC) или прозрачные часы (Transparent clock- T-TC), то в ограниченном фрагменте сети возможно реализовать достаточно надёжную и качественную систему синхронизации по частоте и времени, т.е. подсистему частотно-временного обеспечения. Величина такого фрагмента ограничивается требованиями к точности синхронизации ШВ и точностью работы пограничных часов в составе транспортных элементов. При этом протяжённость цепочки транспортных элементов не превышает 10-20 маршрутизаторов или коммутаторов.

Таким образом, система синхронизации распадается на множество относительно небольших фрагментов, в каждом из которых необходимо установить минимум 1, а с учётом необходимости резервирования 2 или 3 устройства ведущих часов (GrandMaster PTP).

Если же существующая транспортная сеть построена на более старых сетевых элементах (СЭ), которые не обладают средствами поддержки протокола PTP, то возможности реализации системы частотно-временной синхронизации существенно снижаются или отсутствуют вовсе. В лучшем случае, длина цепочки синхронизации не превышает 4-5 элементов при работе системы SyncE.

Для систем временной синхронизации необходимо учесть ещё два аспекта [10]:

1. Для высокоточной синхронизации ШВ необходимо обеспечить каждый транспортный элемент эталонными синхросигналами частоты (система синхронизации SyncE);

2. Шкала времени, точнее, её начальная фаза отсчёта новой секунды (сигнал 1 импульс в секунду – 1 PPS) и код времени (KB), не являются физическими величинами, которые можно воспроизвести с помощью эталонов. Эти параметры являются искусственно назначенными и поддерживаются администрацией ШВ UTC.

В связи с этими особенностями системы временной синхронизации базируются на системе частотной синхронизации – ТСС. Кроме того, все ведущие часы должны получать ШВ от национальных эталонов времени (государственные эталоны времени и частоты – ГЭВЧ), которые в свою очередь входят в систему UTC и воспроизводят её шкалу времени.

Привязка к ШВ ГЭВЧ наиболее просто реализуется путём приёма сигналов ГНСС, которые также синхронизированы с национальными эталонами времени.

Однако, как было показано выше, это не всегда обеспечивает достаточную надёжность системы, а также требует наличия в сети связи соответствующего оборудования с программно-аппаратной поддержкой протокола PTP.

Альтернативой применения эфирных приёмников сигналов ГНСС может служить система передачи сигналов ШВ по

наземным каналам связи непосредственно от оборудования ГЭВЧ к ведущим часам или к часам конечного потребителя. При этом, такой канал связи может быть реализован не только в системе связи с пакетной коммутацией по протоколу РТР, но и в системе связи синхронной цифровой иерархии (СЦИ) [6-8].

Аппаратура распределения сигналов времени и полученные точности синхронизации шкал времени

В 2008 году по техническому заданию компании ТрансТелеКом предприятием ООО «АЛТО» (г. Санкт-Петербург) была разработана специальная аппаратура распределения сигналов времени (АРСВ), предназначенная для распределения сигналов времени по системе передачи СЦИ. В АРСВ реализован шаг коррекции и ШВ и точность измерения интервалов времени ± 15 нс (рисунок 1). Данные о ШВ передаются в потоке E12 на одной из позиций национальных бит Sa4 – Sa8 нулевого канального интервала в нечетном цикле сверхцикла. Это позволяет по системе передачи СЦИ синхронизировать ШВ на удалённом комплекте аппаратуры с точностью не хуже ± 30 нс [5].

Так как передача данных о ШВ осуществляется в синхронной системе передачи в канале связи с фиксированными параметрами задержки, то зависимость от количества промежуточных сетевых элементов практически отсутствует. Как показали экспериментальные измерения на трассе Москва – Хабаровск – Москва по каналу СЦИ точность ШВ на приёме составила не хуже ± 10 нс на интервале наблюдения 1 сутки и компенсации асимметрии задержек (в ведомом комплекте АРСВ). Этот эксперимент демонстрирует работу системы АРСВ, по сути, в идеальных условиях, не зависящих от влияния окружающей среды. Поясним. За счёт передачи данных с установкой шлейфа на дальнем конце изменения задержек в направлениях Запад-Восток и Восток-Запад идентичны, т.е. обеспечивается нулевое изменение асимметрии задержек или постоянство кольцевой задержки. В качестве эталонных источников опорной частоты для АРСВ использовались водородные стандарты, суточная стабильность частоты которых по техническим условиям составляет $2 \cdot 10^{-14}$. По этой причине не произошло ни одного шага коррекции ± 15 нс за суточный интервал наблюдения. То есть в данном эксперименте обеспечивалась предельная точность синхронизации ШВ, ограничиваемая лишь шумами генераторного оборудования СЦИ, разрешением фазового детектора АРСВ и измерительной установки.

В реальных системах связи также добавляются погрешности работы системы ТСС, местных генераторов, системы связи и т.п. Результаты измерений точности синхронизации ШВ для АРСВ в реализованных системах синхронизации приведены ниже на рисунках 5 и 6. Полученные данные позволяют говорить о достижимых точностях ШВ на выходе ведомых комплектов АРСВ в пределах $\pm 50 \div 100$ нс с учётом погрешности измерительного прибора и количества транзитных комплектов АРСВ.

Таким образом, применение АРСВ позволяет реализовать альтернативный вариант приёма ШВ UTC по наземному каналу практически в любой точке магистральной сети связи [12].

Кроме того, этот метод приёма ШВ защищён от любых помех в эфире, а также позволяет решить задачу временной

синхронизации даже при отсутствии транспортной пакетной сети нового поколения (с поддержкой РТР и SyncE).

В результате через оборудование СЦИ с помощью АРСВ можно передать данные о ШВ в любую точку сети, где необходима установка ведущих часов для фрагментов сети 4G или 5/6G.

Такая задача была успешно решена на сети связи АО «РЖД» путём установки аппаратуры АРСВ на объекте второго ГЭВЧ в г. Мытищи и создания соответствующей линии передачи СЦИ до узла связи в г. Москва.

Дальнейшее развитие этой системы позволило организовать установку ведущих часов ещё в нескольких городах – Екатеринбург, Иркутск, Санкт-Петербург. В настоящее время готовятся проекты по созданию целой сети доставки эталонной ШВ на все основные узлы сети связи АО «РЖД».



Рис. 1. Внешний вид аппаратуры АРСВ

Аппаратура АРСВ имеет необходимые аппаратные стыки с оборудованием ГЭВЧ, а также выходные интерфейсы ШВ в виде сигналов 1 PPS + KB. Для подключения потребителей в пакетных сетях в комплекте с АРСВ применяется сервер синхронизации времени типа ССВ-1Г производства ООО «Комсет-сервис», г. Москва. ССВ-1Г имеет аппаратную совместимость с АРСВ и в качестве сетевых стыков реализует передачу в сетевых протоколах NTP и РТР.

АРСВ может работать в ведущем, ведомом и транзитном режимах, а также позволяет установить до 6 плат формирования и обработки потоков E12, позволяя организовать до 6 направлений передачи и синхронизации ШВ с одного ведущего комплекта (или до 5 направлений для транзитного комплекта).

При потере входных сигналов времени от ведущего комплекта АРСВ переходит в режим хранения ШВ по сигналам синхронизации 2,048 МГц, что обеспечивает защиту ШВ от различных аварийных ситуаций на сети.

Сервер синхронизации времени как функция ведущих часов системы временной синхронизации

Как отмечалось выше, для стыка аппаратуры АРСВ с пакетными сетями и оборудованием потребителей, применяется сервер синхронизации времени типа ССВ-1Г (рис. 2).

Устройство ССВ-1Г – это первичный эталонный источник (ПЭИ), со встроенным приёмником сигналов ГНСС. Для внутренних часов используется высококачественный кварцевый генератор или рубидиевый стандарт. Внешние интерфейсы реализуются с помощью сменных модулей, количество которых может быть до 8 штук. При этом синхронизация частоты и синхронизация внутренних часов настраивается отдельно. В качестве источников синхронизации могут использоваться сигналы 1PPS, E12/2,048 МГц, 5 (10) МГц, а также РТР или приёмник ГНСС [11].



Рис. 2. Внешний вид сервера синхронизации времени типа ССВ-1Г

Для синхронизации ШВ могут использоваться протоколы PTP, TOD, Sirtf, TimeString (по интерфейсам RS-232 или RS-485) или приёмник ГНСС.

ССВ-1Г формирует выходные сигналы синхронизации E12/2,048 МГц, Sirtf, IRIG-B, 5/10 МГц, токовая петля, ToD, SIRF, TimeString, NMEA, Text, PTP, NTP, SNTP, 1 PPS.

Таким образом, развитый набор входных и выходных сигналов синхронизации частоты и времени позволяет создать на базе данного устройства универсальный источник частотно-временной синхронизации для всевозможных применений в различных сетях – телекоммуникации, энергетика, специальные системы.

В системах синхронизации АО «РЖД» устройство ССВ-1Г реализует функции ведущих часов в протоколах NTP и PTP для формирования шкалы времени в системах связи LTE-Advance, технологических подсистемах учёта, контроля и управления, и т.п.

При этом основным источником синхронизации частоты и времени используется APCB, а в качестве резервного источника – встроенный приёмник сигналов ГНСС. При потере сигналов от APCB и ГНСС сервер может длительное время хронировать встроенные часы по сигналам системы синхронизации СЦИ (2,048 МГц), либо по сигналу внутреннего генератора в режиме запоминания частоты.

В приёмнике ГНСС в СВВ-1Г реализованы базовые алгоритмы обнаружения спуффинговых помех - при превышении заданного порога отклонения координат происходит отказ от приёма сигналов ГНСС.

В модулях «PTP-сервер» и «PTP-клиент» поддерживаются протоколы Precision Time Protocol V2 (IEEE Std 1588-2008), Network Time Protocol (RFC 1119, RFC 1305, RFC 5905), Simple Network Time Protocol (RFC 1769, RFC 2030). Доступны профили G.8275.1, G.8275.2, IEC/IEEE 61850-9-3-2016, IEEE C37.238-2017, Custom, реализован алгоритм Best Master Clock (BMCA).

Отличительной особенностью портов NTP является их защищённость от DDOS атак за счёт высочайшей производительности (обработка до 100 000 NTP-запросов в 1 с), превышающей возможности порта Fast Ethernet (100 Мбит/с).

Также необходимо отметить, что все Ethernet порты в ССВ-1Г защищены на аппаратном уровне, так как конструкция сервера исключает возможность передачи данных из одного порта в другой. Это позволяет безопасно подключать сервер к различным автономным сетям без возможности образования информационного моста между ними.

Порт управления ССВ-1Г также не имеет информационной связи с Ethernet интерфейсами NTP и PTP протоколов.

Оборудование ССВ-1Г было проверено на совместимость по протоколам времени (NTP и PTP) в различных вариантах применения и профилей настроек в сочетании с изделиями таких производителей как Oscilloquartz, Symmetricom, Tredess, Cisco, Juniper, Huawei, Профотек и многих других. Эти проверки показали корректную работу ССВ-1Г с оборудованием различных производителей, как в ведущем, так и в ведомом режиме. Помимо совместимости также обеспечивается высокое качество синхронизации ШВ.

Применение комплектов APCB и ССВ-1Г для систем частотно-временного обеспечения сетей связи

Типовая схема системы синхронизации ШВ на базе комплектов APCB и ССВ-1Г по сети СЦИ представлена на рисунке 3.

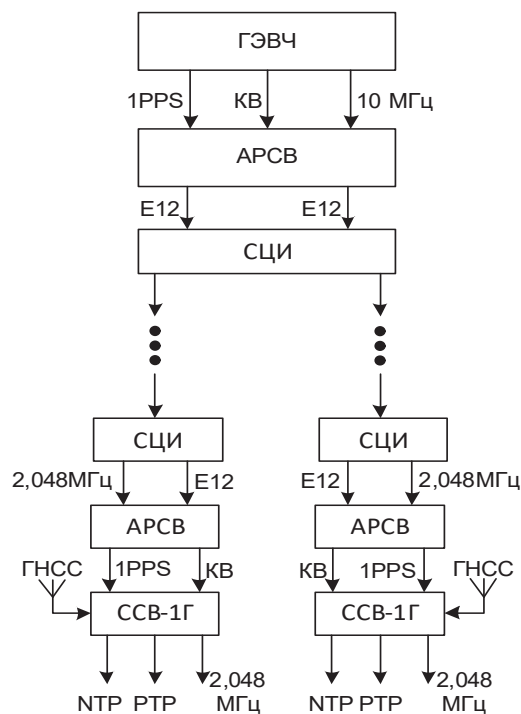


Рис. 3. Типовая схема системы синхронизации ШВ на базе комплектов APCB и ССВ-1Г по сети СЦИ

APCB также может работать и в транзитном режиме, т.е. от ведомого комплекта можно продолжить цепочку передачи ШВ к следующему объекту, как это показано на рисунке 4.

На рисунке 5 приведены результаты измерения ШВ в протоколе PTP на выходе ССВ-1Г на первом объекте после ГЭВЧ.

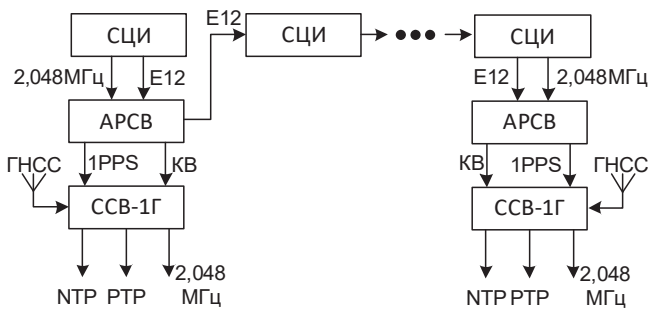
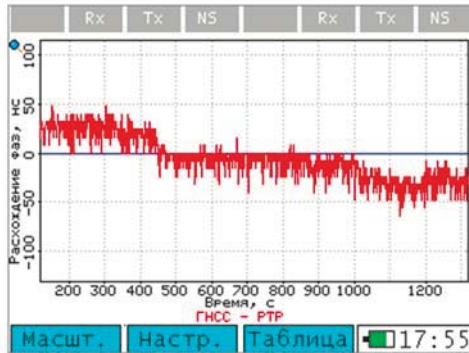


Рис. 4. Цепочка APCB для синхронизации ШВ на удалённом объекте

Rx	Tx	NS	Rx	Tx	NS
Синхронизация					
Прошло 00:30:00			Остал. 00:00:00		
ΔPh мгн.		0			
ΔPh мин.		-128нс			
ΔPh средн.		2нс			
ΔPh макс.		64нс			
		Время		Дата	
Расх.		00:00:00		00.00.00	
Опор.		10:58:05		20.07.21	
Изм.		10:58:05		20.07.21	
Старт		Настр.		График	
14:37					

Рис. 6. Результаты измерения ШВ в PTP протоколе на выходе ССВ-1Г на втором объекте после ГЭВЧ

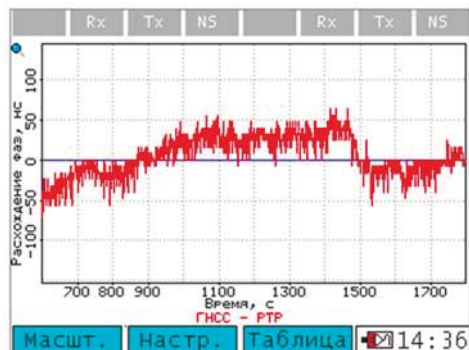


Rx	Tx	NS	Rx	Tx	NS
Синхронизация					
Прошло 00:22:00			Остал. 00:00:00		
ΔPh мгн.		-24нс			
ΔPh мин.		-64нс			
ΔPh средн.		-7нс			
ΔPh макс.		48нс			
		Время		Дата	
Расх.		00:00:00		00.00.00	
Опор.		13:44:23		26.07.21	
Изм.		13:44:23		26.07.21	
Старт		Настр.		График	
17:57					

Рис. 5. Результаты измерения ШВ в PTP протоколе на выходе ССВ-1Г на первом объекте после ГЭВЧ

На каждом следующем комплекте APCB шаг подстройки ШВ может увеличиваться на ±15нс, т.е. размах изменения фазы – на 30 нс.

Результаты измерений ШВ в протоколе PTP по отношению к UTC на выходе ССВ-1Г на втором узле после ГЭВЧ приведены на рисунке 6.



На рисунках 7 и 8 приведены результаты измерения параметров дрейфа фазы синхросигнала 2,048 МГц на выходе ССВ-1Г при синхронизации от APCB на первом и втором объектах после ГЭВЧ. Характеристики МОВИ и ДВИ сравнивались с масками для ПЭИ по рекомендации МСЭ-T G.811.

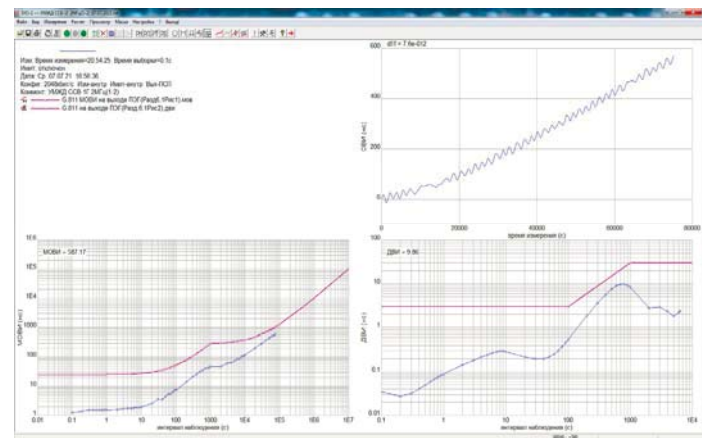


Рис. 7. Результаты измерения дрейфа фазы синхросигнала 2,048 МГц на выходе ССВ-1Г при синхронизации от APCB на первом объекте после ГЭВЧ

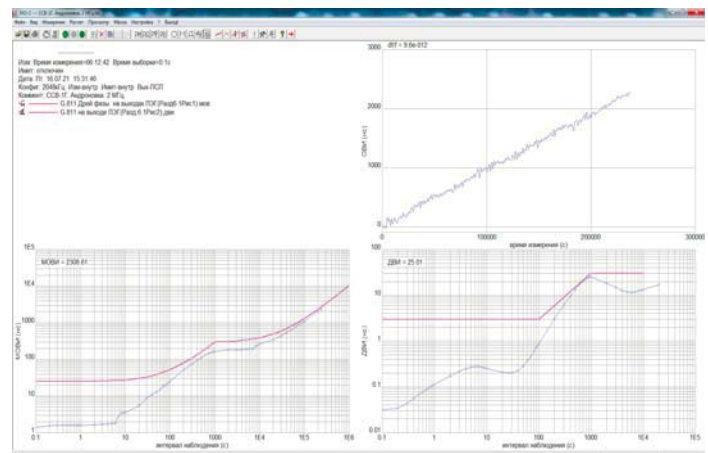


Рис. 8. Результаты измерения дрейфа фазы синхросигнала 2,048 МГц на выходе ССВ-1Г при синхронизации от APCB на втором объекте после ГЭВЧ

На рисунке 9 приведены результаты измерения ШВ в протоколе PTP на выходе ССВ-1Г при его синхронизации от встроенного приёмника ГНСС.

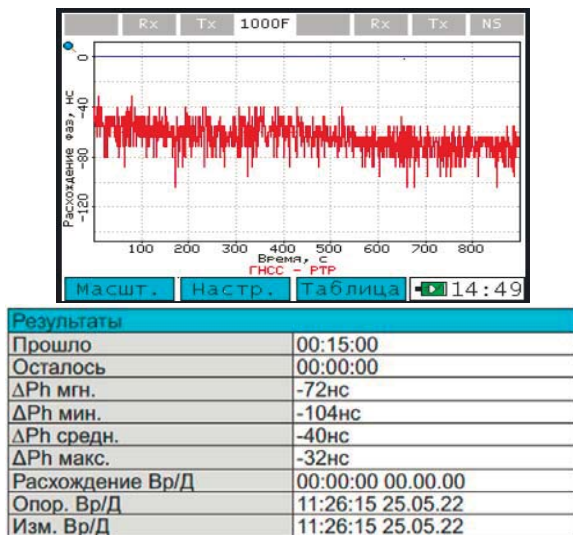


Рис. 9. Результаты измерения ШВ в RTP протоколе на выходе ССВ-1Г при его синхронизации от встроенного приёмника ГНСС

Анализ приведённых результатов измерений показывает, что система синхронизации на базе APCB в комплекте с сервером времени ССВ-1Г позволяет обеспечить высокое качество частотно-временной синхронизации, которое, в свою очередь позволяет строить комбинированные системы частотно-временного обеспечения на базе существующих сетей связи СЦИ для удовлетворения потребностей фрагментов новых сетей 4G и 5/6G. При этом ШВ передаётся по наземному каналу связи непосредственно от ГЭВЧ, что обеспечивает защищённость от внешних воздействий и различного рода эфирных помех.

В перспективе шаг коррекции сигналов шкалы времени в APCB может быть уменьшен до $\pm 0,58$ нс. Технически это уже реализовано в измерителях параметров дрейфа фазы ИВО-1М и ИВО-2, спроектированных и выпускаемых ООО «АЛТО». Такой улучшенный вариант APCB в виде макета аппаратуры передачи сигналов времени и частоты (АПСВЧ) был испытан в лаборатории ВНИИФТРИ. Полученная точность сличений шкал времени пространственно разнесённых эталонов частоты и времени с использованием оптических стыков по ВОЛП протяженностью до 100 км была лучше ± 600 пс.

Анализ существующих систем передачи

Вопрос точности передачи времени связан не только с приёмо-передающим оконечным оборудованием, но и со всей транспортной сетью в совокупности. Было рассмотрено типовое оборудование, встречающееся на реальных сетях связи, такое как мультиплексоры СЦИ и оптические модемы потока E12 (системы ПЦИ) разных производителей.

Испытания синхронных мультиплексоров СЦИ, использованных в качестве транспортного оборудования для потоков E12, содержащих сигналы времени, показали следующее. На точность передачи времени оказывают влияние буферы чтения/записи потоков E12 идущих в противоположном направлении с тактовой сетевой синхронизацией, в том числе и за счёт изменения температуры подвешенного оптического кабеля на больших расстояниях.

Анализу устойчивости системы синхронизации магистральной цифровой сети связи ОАО «РЖД» в реальных условиях окружающей среды посвящена работа [13], выполненная совместно с Главной геофизической обсерваторией им. А.И. Воейкова. В качестве конкретного примера приведены данные суточного температурного распределения на трассе Москва – Ярославль – Вологда – Архангельск, достигающего 15-17 градусов. Годовой перепад температур зима – лето (Забайкальская ж.д.) может достигать 100 градусов поскольку кабель на солнце нагревается до температуры на 20 градусов выше температуры окружающего воздуха. Температурные карты составлены и имеются для всех железных дорог ОАО «РЖД». Эти данные могут быть использованы для определения объектов сети, на которых будет запланирована установка оборудования частотно-временного обеспечения.

В таких условиях работы сети следует отдавать предпочтение системам передачи ПЦИ, а еще лучше оптическим модемам с прямой связью по оптоволокну, обеспечивающим исключение буферов чтения/записи потоков E12 и, тем самым, повышение точности передачи времени.

В тоже время, основным недостатком модемов являются фазовые шумы преобразования потоков E12. Поэтому для реализации прецизионной системы передачи ШВ по оптоволокну необходимо установить оптический интерфейс непосредственно в аппаратуре APCB, что исключит лишние преобразования, приводящие к накоплению фазовых шумов.

Как показано выше, применение комплектов аппаратуры APCB с оптическими стыками E12, связанных между собой напрямую по оптоволокну, позволяет достичь точности передачи шкалы времени с погрешностью менее 10 нс, а для варианта аппаратуры АПСВЧ – менее 1 нс.

Для передачи ШВ на большие расстояния представляют большой интерес системы спектрального уплотнения, не требующие внешней синхронизации и обеспечивающие минимум промежуточных элементов сети – буферов чтения/записи потоков E12. При переносе каналов в другой спектр частот не используются буферы чтения/записи, следовательно, задержки прохождения сигналов времени по этим каналам имеют равные значения для прямого и обратного направлений. Использование CWDM и DWDM систем в качестве транспортного оборудования, позволит достигнуть точности передачи секундной метки с погрешностью ± 1 нс и исключить асимметрию. Однако необходимо провести дополнительные исследования оборудования спектрального уплотнения для выяснения допустимых расстояний для сличения эталонов единицы времени и частоты, а также построения систем временной синхронизации для сетей связи.

Выводы

Проведенный анализ функционирования различных систем передачи, работающих по ВОЛП, показал, что в зависимости от способа организации системы передачи нужно рассматривать работу аппаратуры APCB (АПСВЧ) в двух основных и наиболее доступных вариантах включения:

- в первом варианте рассматриваются системы передачи СЦИ, в которых синхросигнал распространяется только в одном направлении. Это обусловлено наличием в системе передачи единого общего тактового генератора, используемого как для прямого, так и для обратного

направлений передачи информации. Исходя из способа организации синхронизации, главной особенностью систем передачи СЦИ является необходимость согласования скорости информационного потока с частотой задающего генератора. Это достигается применением буферов согласования в цепях обработки не только компонентных потоков (С-12, TU-12), но и в трактах групповых потоков (AU-4) системы мультиплексирования СЦИ, приводящих к увеличению размаха значения ошибки времени. Недостаток – точность передачи ШВ ограничена изменениями задержки в оптических волокнах в реальных условиях окружающей среды [11].

- во втором варианте рассматриваются цифровые системы передачи, позволяющие организовать передачу информационного сигнала и соответствующего ему синхросигнала независимо для каждого направления передачи. Такими системами являются системы передачи ПЦИ, в том числе – частный случай таких систем – волоконно-оптические модемы. Недостаток ПЦИ – ограниченная область использования.

Наиболее прогрессивным решением является передача ШВ с использованием оптических каналов систем передачи CWDM и DWDM. Однако для этого требуется дополнительные исследования различных схем включения аппаратуры АРСВ (АПСВЧ) в системы передачи со спектральным уплотнением.

В тоже время, опыт внедрения системы временной синхронизации на базе аппаратуры АРСВ с использованием наземных каналов связи E12 в системах передачи СЦИ показал высокую точность временной синхронизации на удалённых объектах. По мере востребованности передачи сигналов точного времени СЭ (буферы чтения/записи потоков E12 и их оснастка) могут быть наделены интеллектом и модернизированы по подобию прозрачных часов РТР.

Опыт внедрения комбинированных систем частотно-временного обеспечения АО «РЖД» АРСВ + ССВ-1Г может быть успешно применён для существующих сетей связи, оборудование которых частично или полностью не имеет программно-аппаратной поддержки протокола РТР и SyncE. Дальнейшее развитие и масштабирование этой системы синхронизации позволит создать основу для строительства и ввода в эксплуатацию фрагментов сетей LTE-Advance на всех дорогах АО «РЖД».

Литература

1. Рыжков А.В., Шварц М.Л. Предпосылки создания когерентной сети связи общего пользования основы сквозных цифровых технологий // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. №7. С. 14-22.
2. Шварц М.Л., Рыжков А.В. Современные тенденции развития систем сетевой синхронизации в сетях электросвязи. От плезихронных до когерентных сетей // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. № 4. 2021. С. 27-38.
3. Рыжков А.В., Шварц М.Л. Пути формирования прецизионной шкалы времени национальной сети связи // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 2. С. 17-24.
4. Рыжков А.В., Насонов А.Ю. Частотно-временное обеспечение сети связи общего пользования: состояние и перспективы развития // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2014. № 2. С. 41-46.
5. Иванов А.В. Аппаратура распределения сигналов времени как элемент единой частотно-временной синхронизации // Электросвязь. 2008. № 10. С. 62-65.
6. Жуков Е.Т., Иванов А.В., Леготин Н.Н., Рыжков А.В., Толстихин И.Д. Принципы построения опорной сети частотно-временного обеспечения на сети связи общего пользования // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2014. № 2. С. 24-28.
7. Рыжков А.В., Коган С.Н., Блинов И.Ю., Насонов А.Ю., Хазов М.Л. Проблемы и пути решения передачи сигналов времени по сети общего пользования Российской Федерации // Вестник связи, 2014. № 1. С. 17-21.
8. Жуков Е.Т., Иванов А.В., Леготин Н.Н., Рыжков А.В., Толстихин И.Д. Опорная сеть частотно-временного обеспечения на ССОП // Вестник связи, 2014. № 3. С. 23-28.
9. Рыжков А.В. Частотно-временное обеспечение в сетях электросвязи. Учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2018. 270 с.
10. Ryzkov A.V., Schwartz M.L., Aladin V.M. Reference node for forming the time scale of a coherent public communication network // DOI: 10.1109/IEECONF53456.2022.9744286
11. Мищенко С.Л., Мельник С.В., Петрова Е.Н., Смирнов Н.И. Обеспечение точного времени для сетей связи с использованием возможностей ГНСС ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS. Моделирование сетей мобильной связи нового поколения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2012. Т. 6. № 9. С. 102-103.
12. Рыжков А.В., Донченко С.И., Иванов А.В., Колтунов М.Н., Савчук А.В., Шварц М.Л. Передача сигналов времени по сети связи общего пользования // Электросвязь. 2010. № 12. С. 42-47.
13. Рыжков А.В., Кобышева Н.В., Клюева М.В., Акентьева Е.М., Пигольцина Г.Б. Анализ устойчивости системы синхронизации магистральной цифровой сети связи ОАО «РЖД» в реальных условиях окружающей среды // Электросвязь. 2005. № 1. С. 30-34.

EXPERIENCE OF INTRODUCING TIME-FREQUENCY SUPPLY SYSTEMS FOR COMMUNICATION NETWORKS

Anatoly V. Ryzhkov, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia, ryzhkov.anatoly@yandex.ru

Mikhail L. Schwartz, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia, Mschwartz@smsync.ru

Vladimir M. Aladin, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia, Valadin@smsync.ru

Andrey V. Isupov, Komset-Service Ltd., Moscow, Russia, isupov@komset.ru

Abstract

Time synchronization systems in communication networks must be linked to the reference time scale (TS) of national standard. In most cases, receivers of global navigation satellite systems (GNSS) signals are widely used for these purposes. However, possible violations of these signals reception, as well as cases of their substitution (spoofing) force us to look for alternative options for receiving airwaves via terrestrial communication channels. One of the solutions - use of special equipment for time signals (ARSV) complete distribution with a time server that receives, stores and transmits SH signals to the consumer in any format – NTP, PTP, IPPS + ToD, etc. The purpose of this article is to present the experience of implementing time-frequency systems using terrestrial communication channels with UTC time scale sources.

Keywords: Time scale, Time and frequency synchronization, network time protocols NTP and PTP, master clocks, Grand Master PTP, NTP-server, synchronous Ethernet (SyncE), GNSS.

References

1. A.V. Ryzhkov, M. L. Schwartz (2021), "Prerequisites for the creation of a coherent public communication network - the basis of end-to-end digital technologies," *T-Comm*, vol. 15, no.7, pp. 14-22.
2. M. L. Schwartz, A. V. Ryzhkov (2021), "Modern trends in the development of network synchronization systems in telecommunication networks. From plesiochronous to coherent networks," *Systems of synchronization, signal generation and processing*. Vol. 4, pp. 27-38.
3. A. V. Ryzhkov, M. L. Schwartz (2020), "Ways of forming a precision time scale of the national communication network," *T-Comm*, vol. 14, no.2, pp. 17-24.
4. A. V. Ryzhkov, A. Y. Nasonov (2014), "Time-Frequency Support of the Public Communications Network: Status and Development Prospects", *T-Comm*. Vol. 2, pp. 41-46.
5. A. V. Ivanov (2008), "Time Signal Distribution Equipment as an Element of Unified Time-Frequency Synchronization," *Telecommunication*. Vol. 2, pp. 62-65.
6. E. T. Zhukov, A. V. Ivanov, N. N. Legotin, A. V. Ryzhkov (2014), "Principles of building a core network of frequency-time support on a public communication network", *T-Comm*. Vol. 2, pp. 24-28.
7. A. V. Ryzhkov, S. N. Kogan, I. Y. Blinov, A. Y. Nasonov, M. L. Hazov (2014), "Problems and ways to solve the transmission of time signals over the public network of the Russian Federation", *Vestnik svyazy*. Vol. 1, pp. 17-21.
8. E. T. Zhukov, A. V. Ivanov, N. N. Legotin, N. N. Ryzhkov (2014), "Core Time-Frequency Network at publik communication network", *Vestnik svyazy*. Vol. 3, pp. 23-28.
9. A. V. Ryzhkov (2018), "Time-frequency support in telecommunication networks. Textbook for universities". Moscow: Hot Line – Telecom. 270 p.
10. A. V. Ryzhkov, M. L. Schwartz, V. M. Aladin, "Reference node for forming the time scale of a coherent public communication network", DOI: 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744286
11. S. L. Mishenkov, S. V. Melnik, E. N. Petrova, N. I. Smirnov (2012), "Providing accurate time for communication networks using GNSS GLONASS or GLONASS/GPS capabilities. Modeling of new generation mobile communication networks", *T-Comm*. Vol. 6. Vol 9, pp. 102-103.
12. A. V. Ryzhkov, S. I. Donchenko, A. V. Ivanov, M. N. Koltunov, A. V. Savchuk, M. L. Schwartz (2010), "Transmission of time signals over a public communication network", *Telecommunication*. Vol. 12, pp. 42-47.
13. A. V. Ryzhkov, N. V. Kobysheva, M. V. Klyueva, E. M. Akent'eva, G. B. Pigolcena (2005), "Analysis of the stability of the synchronization system of the backbone digital communication network of Russian Railways in real environmental conditions", *Telecommunication*. Vol. 1, pp. 30-34.