

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОБОРУДОВАНИЯ СЕТЕВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

Воробьев А.С., Сторожук Н.Л.

*Статья посвящена теме изменения требований к синхронизации цифровых телекоммуникационных сетей в связи с развитием новых технологий передачи сигналов и появлению современного отечественного оборудования синхронизации, отвечающего этим требованиям. Рассматриваются вопросы развития технологий передачи цифровых сигналов и связанные с этим изменения требований к тактовой и временной синхронизации сетевого оборудования, а также приводится пример современного отечественного оборудования синхронизации.*

*Ключевые слова* Сетевая синхронизация; частотно-временная синхронизация; ПЦИ; СЦИ; LTE; 5G; NTP; PTP; SyncE; ГНСС.

На начальном этапе развития цифровых систем передачи информации в сетях с коммутацией каналов применялась технология временного разделения каналов основанная на плезиохронной цифровой иерархии (ПЦИ или *PDH* от англ. *Plesiochronous Digital Hierarchy*). Данная технология не требовала синхронизации тактовой частоты всех узлов сети связи и позволяла передавать информацию со скоростями до 139264 кбит/с, что было достаточно для сетей связи на основе меднокабельных линий. В ПЦИ скорость составных потоков выше, чем сумма скоростей потоков в него входящих, а выравнивание скоростей при мультиплексировании происходит при помощи стаффинга, представляющего из себя процедуру «дополнения» потока служебными битами. При демультиплексировании служебные биты изымаются.

С появлением оптических магистральных линий связи и потребности в больших скоростях передачи информации в сетях с коммутацией каналов стала применяться технология синхронной цифровой иерархии (СЦИ: англ. *SDH – Synchronous Digital Hierarchy*). Данная система передачи данных, основана на синхронизации тактовой частоты оборудования на всех узлах связи сети, что позволяет передавать информацию со скоростями до 9953280 кбит/с.

Для работы технологии СЦИ необходимо синхронизировать задающие генераторы всего оборудования сети. Таким образом, появилась необходимость в создании единой системы тактовой сетевой синхронизации (ТСС), обеспечивающей синхронизацию частот задающих генераторов всех цифровых устройств связи. При этом относительная точность установки частоты согласно рекомендации МСЭ-Т G.811 должна быть не хуже  $\pm 1 \times 10^{-11}$  по отношению к номинальному значению. Это связано с необходимостью обеспечения высокого качества взаимодействия сетей, использующих разные источники опорной частоты, например, для международного соединения [1].

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 [2].

Основной задачей ТСС является обеспечение синхронной работы генераторного оборудования потребителей. При этом источником синхронизации для сети является первичный эталонный генератор (ПЭГ), от которого синхросигналы передаются по цифровым линиям передачи вплоть до потребителя. Поскольку в процессе передачи синхросигналов через большое количество генераторов оборудования линий передачи происходит неизбежное накопление фазовых шумов, то необходимо принимать меры по фильтрации сигналов синхронизации. Для выполнения этой задачи на сети ТСС устанавливаются вторичные задающие генераторы (ВЗГ).

ВЗГ выполняет функции восстановления качества передаваемого по сети синхросигнала от ПЭГ, распределения этого сигнала на необходимое количество выходов, и, при пропадании входного синхросигнала, запоминание его временных характеристик с целью получения качественного синхросигнала на выходе ВЗГ в режиме удержания частоты в соответствии с требованиями рекомендации МСЭ-Т G.812 и стандарта ETSI 300-462-4.

При этом, к ВЗГ предъявляются высокие требования стабильности собственных опорных генераторов частоты, а также надежности (в том числе за счет стопроцентного резервирования всех блоков), позволяющих в течение достаточно длительного времени выполнять функции резервных источников синхронизации участка сети в случаях каких-либо аварийных ситуаций.

Другой важной функцией ВЗГ является автоматический контроль с помощью встроенных средств реального качества синхросигналов, переданных по сети ТСС и поданных на вход ВЗГ, а также работоспособности самих ВЗГ как основных узлов сети синхронизации.

Кроме синхронизации частоты в телекоммуникационном оборудовании узлов сети синхронизируется и время, это необходимо для обеспечения процессов сбора информации об использовании телекоммуникационных услуг, их тарификацию, выставление счетов абонентам, обработку платежей и др.

Современные технологии сотовой связи требуют для своей работы высокоточной синхронизации сетевого оборудования по времени (фазе) для того, чтобы гарантировать беспрепятственное подключение абонентов к базовой станции и обеспечение плавной передачи обслуживания при его передвижении из одной соты в другую.

Например, на сети мобильной связи работающих по технологии *LTE* или *5G* должны быть реализованы два основных компонента синхронизации:

- синхронизация по тактовой частоте;
- синхронизация шкалы времени, в том числе и начальной фазы, т.е. начала отсчёта секундного интервала.

Для современных сетей мобильной связи необходимо обеспечить синхронизацию начальной фазы отсчёта секунды с точностью до сотен или даже десятков наносекунд.

Для целей расчёта объёма оказанных услуг связи Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации приказом № 673 от 20.12.2016 г. регламентирует, что разность шкал времени в сетях операторов связи относительно национальной шкалы времени *UTC (SU)* должна быть не более 1 с, а приказом № 538 от

05 октября 2017 г. министерство утвердило методику измерений разности шкал времени на основе протоколов *NTP* и *PTP* [3] [4].

*NTP* (англ. *Network Time protocol*) – протокол сетевого времени, принцип работы которого основан на многоуровневой системе с множеством источников шкалы времени. *NTP* эффективно обеспечивает синхронизацию часов по сетям передачи данных с коммутацией пакетов и переменной задержкой. Одним из ключевых преимуществ этого протокола является возможность передачи меток времени непосредственно по пакетной сети передачи данных, что позволяет отказаться от отдельной шины точного времени. Протокол *NTP* обеспечивает приемлемую точность синхронизации для большинства приложений, он может поддерживать синхронизацию шкал времени с точностью до десятков миллисекунд. Асимметричные маршруты передачи данных и перегрузка сети могут привести к ошибкам в 100 мс и более.

*PTP* (англ. *Precision Time Protocol*) – протокол точного времени, используемый для синхронизации часов в сетях с коммутацией пакетов. Протокол *PTP* реализуется одновременно на программном и аппаратном уровне устройства. Точность достигается за счет проставления меток времени сообщений *PTP* на аппаратном уровне. *PTP* подразумевает обмен двусторонними сообщениями с метками времени. На основе полученных меток времени рассчитывается задержка.

Протоколы *NTP* и *PTP* рассчитаны на работу в сетях с коммутацией пакетов. Наиболее распространенная сегодня технология пакетной передачи данных – *Ethernet* – достигает в настоящее время скоростей до 100 Гбит/с. В 2017 году были утверждены стандарты на 200 и 400 Гбит/с. В плане дальнейшего развития предполагается увеличение максимальных скоростей до 800 Гбит/с и 1,6 Тбит/с [5]. Успех этой технологии связан, еще и с тем, что она обеспечивает самую дешевую передачу цифровой информации. Не лишена технология *Ethernet* и недостатков, изначально она разрабатывалась для использования в локальных сетях и методы линейного кодирования выбирались исходя из этой задачи, поэтому она наряду с тем, что не обеспечивает гарантированную и своевременную доставку информации, также не предполагает передачу синхросигналов тактовой синхронизации. Переданные по сети *Ethernet* метки времени устанавливают значение времени на ведомых часах, но они не могут обеспечить высокоточную их привязку к началу секунды, то есть не обеспечивают фазовую синхронизацию.

Точную фазовременную синхронизацию оборудования сети, с точностью, требующейся для современных сетей мобильной связи, может обеспечить протокол *PTP* только при работе в сетях с технологией синхронного *Ethernet*.

Синхронный *Ethernet* (*Synchronous Ethernet*) также называемый *SyncE*, является стандартом МСЭ-Т, который обеспечивает передачу тактовых сигналов через физический уровень *Ethernet*. Целью является предоставление сигнала синхронизации тем сетевым ресурсам, которые в конечном итоге могут потребовать такого типа сигналы.

При создании технологии *Sync Ethernet* физический уровень и методы кодирования были заимствованы у технологии *SDH*, а второго (канального) уровня изменения практически не коснулись. Структура кадров осталась неизменной, за исключением *ESMC* сообщения о статусе синхронизации. Его значения также были заимствованы в технологии *SDH* (*SSM*-сообщения об уровне качества синхросигнала).

К преимуществам технологии *SyncE* можно отнести использование *SDH*-структуры физического уровня, а вместе с этим – огромный и бесценный опыт проектирования и построения сетей тактовой сетевой синхронизации, наработанный ранее. Дорогие устройства – первичные эталонные генераторы, вторичные задающие генераторы – могут быть задействованы также и в новой транспортной сети, построенной на основе *Sync Ethernet*.

Традиционная тактовая сетевая синхронизация опиралась на точное распределение тактовой частоты, но развивающиеся сети мобильной связи требуют точного распределения параметров фаза/время. По мере эволюции от сетевой инфраструктуры от коммутации каналов к коммутации пакетов меняются возможности и способы распределения сигналов синхронизации. Разработаны рекомендации МСЭ-Т G.8261, G.8262 и G.8264, в соответствии с которыми можно использовать физический уровень Ethernet в качестве механизма распределения тактовой частоты, аналогичного методам, применяемым для тактовой сетевой синхронизации на сетях, построенных на принципах синхронной цифровой иерархии [6].

С появлением новых требований к синхронизации цифровых телекоммуникационных сетей изменилось и оборудование синхронизации, прежде всего это коснулось вторичных задающих генераторов, как наиболее массовых устройств, являющихся еще и составной частью первичного эталонного генератора. В составе ВЗГ появились приемники глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), а также серверы *NTP* и *PTP*. В качестве входных синхросигналов для ВЗГ наряду с сигналами от ПЭГ стали использоваться сигналы *SyncE*, импульсы начала секунды (1 PPS) и сигналы от спутников ГНСС. Расширился и спектр выходных сигналов ВЗГ и ПЭГ, к традиционным синхросигналам 2048 кГц и 2048 кбит/с добавились сигналы с частотой 10 МГц, 5 МГц, 1 МГц и сигнал 1 PPS.

В качестве примера современного оборудования синхронизации, можно привести выпускаемые АО НПП «КОМЕТЕХ» ВЗГ «СОНАТА-У», ПЭГ «СОНАТА-Э» и ПЭГ «СОНАТА-Ц». В состав ПЭГ входит ВЗГ и два первичных эталонных источника (ПЭИ), на основе цезиевого стандарта частоты в СОНАТА-Ц и на основе водородного стандарта частоты в СОНАТА-Э



Рисунок 1 – ВЗГ СОНАТА-У

Оборудование СОНАТА-Э, СОНАТА-Ц и СОНАТА-У сертифицировано в системе сертификации в области связи, разработаны и производятся в России, в их составе нет заимствованных зарубежных программных и аппаратных модулей. В случаях применения аппаратуры в сетях связи специального назначения, может быть проведена оценка соответствия изделия установленному заказчиком для конкретной сети

связи уровню доверия, а также доработка изделия по требованиям устанавливаемого профиля защиты.



Рисунок 2 – ПЭГ:  
а – СОНАТА-Э, б – СОНАТА-Ц

### Литература

1 Рыжков А.В., Шварц М.Л. Современные тенденции развития систем сетевой синхронизации в сетях электросвязи. От плезизонных до когерентных сетей // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. – 2021. – № 4.

2 Приказ Минцифры России «Об утверждении рекомендаций по построению сети связи общего пользования в части системы обеспечения тактовой сетевой синхронизации» от 15 декабря 2021 года № 1339.

3 Приказ Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации №673 от 20.12.2016 г. Об утверждении требований к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сети связи общего пользования в части установления требований к допустимой величине разности (расхождению) шкал времени в сетях операторов связи. В котором установлены нормы на разность (расхождение) шкал времени в сетях операторов связи относительно национальной шкалы времени Российской Федерации;

4 Приказ Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 05 октября 2017 г. № 538 «Об утверждении Методики измерений разности (расхождения) шкал времени на основе протоколов NTP и PTP».

5 Сторожук М. Мониторинг сетевого трафика в магистральных сетях для обеспечения работы сетей TSN// Первая миля. – 2022. – № 3.

6 Коган С. СЕТИ 5G: распределение сигналов синхронизации на оптическом транспортном уровне // Первая миля. – 2022. – №№ 4-6.

Воробьев Александр Сергеевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник отдела синхронизации и точного времени, АО НПП «КОМЕТЕХ», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: исследования проблем тактовой сетевой синхронизации, вопросы, связанные с повышением точности измерений фазовых блужданий.

Email: vas@kometeh.ru

Сторожук Николай Леонидович – кандидат технических наук, генеральный директор, АО НПП «КОМЕТЕХ», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: исследования проблем тактовой временной и фазовой сетевой синхронизации, вопросы, связанные с повышением точности установки временных меток.

Email: snl@kometeh.ru

Россия, г. Санкт-Петербург, 196006, ул. Парковая, д. 4, литера А, ком. 405.

## TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF NETWORK SYNCHRONIZATION EQUIPMENT

The article is devoted to the topic of changing the requirements for synchronization of digital telecommunication networks in connection with the development of new signal transmission technologies and the emergence of modern domestic synchronization equipment that meets these requirements. The issues of the development of digital signal transmission technologies and the related changes in the requirements for clock and time synchronization of network equipment are considered, and an example of modern domestic synchronization equipment is given.

Keywords Network synchronization; frequency-time synchronization; PCI; SDH; LTE; 5G; NTP; PTP; SyncE; GNSS.

Vorobyov Alexander Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of the Synchronization and Accurate Time Department, AO NPP KOMETEKH, St. Petersburg.

Area of scientific interests: research of network clock synchronization problems, issues related to improving the accuracy of phase wander measurements.

Storozhuk Nikolai Leonidovich – Candidate of Technical Sciences, General Director, JSC NPP “KOMETEKH”, St. Petersburg.

Area of scientific interests: studies of clock time and phase network synchronization problems, issues related to improving the accuracy of setting time stamps.