

УДК 531.76

## СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ СЕТЕЙ СВЯЗИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ЭТАЛОННЫМИ СИГНАЛАМИ ВРЕМЕНИ И ЧАСТОТЫ

Р.И. Балаев

ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская обл., Россия,  
balaev@vniiftri.ru

*Аннотация.* В статье рассмотрены основные тенденции развития технологий сетей связи и оборудования частотно-временного обеспечения. Изложены возросшие требования к частотно-временной синхронизации, приведены ссылки на актуальные рекомендации Международного союза электросвязи. В статье описаны перспективы применения когерентных систем частотно-временного обеспечения. Сделан вывод о перспективах использования волоконно-оптических линий связи для обеспечения эталонными сигналами частоты и времени когерентных систем частотно-временного обеспечения.

*Ключевые слова:* сетевая синхронизация, частотно-временная синхронизация, когерентные системы синхронизации, ГНСС, PTP, передача эталонных сигналов частоты и времени по волоконно-оптическим линиям.

## UP-TO-DATE REQUIREMENTS FOR PROVIDING NEW GENERATION COMMUNICATION NETWORKS WITH REFERENCE SIGNALS OF TIME AND FREQUENCY

R.I. Balaev

FSUE «VNIIFTRI», Mendeleevo, Moscow region, Russia,  
balaev@vniiftri.ru

*Annotation.* The article discusses the main trends in the development of communication network technologies and equipment for time-frequency support. The increased requirements for time-frequency synchronization are stated, links are provided to the current recommendations of the International Telecommunication Union. The article describes the prospects for the use of coherent systems of time-frequency support. A conclusion is made about the prospects of using fiber-optic communication lines to provide coherent time-frequency systems with reference signals of frequency and time.

*Key words:* network synchronization, time-frequency synchronization, coherent synchronization systems, GNSS, PTP, transmission of frequency and time reference signals over fiber-optic lines.

Появление новейших технологий передачи и коммутации, а также стремительный рост объёмов трафика и предоставляемых абоненту множества услуг неизбежно формируют новые требования к системам синхронизации сетей связи [1–5]. В то время как традиционная тактовая сетевая синхронизация основывается на частотной синхронизации, развивающиеся беспроводные сети также требуют временной синхронизации. Для удовлетворения

этих требований традиционные методы и модели частотно-временного обеспечения необходимо адаптировать к особенностям работы сетей связи нового поколения. При развёртывании сетей связи пятого поколения одним из критически важных показателей становится задержка пакетной передачи, которая напрямую зависит от параметров синхронизации по тактовой частоте и времени.

Требования стандарта IMT-2020 (International Mobile Telecommunications-2020 Standard) предполагают минимизацию вариации задержки пакетов до десятков наносекунд. А необходимость реорганизации и модернизации существующей и функционирующей подсистемы базовых станций и схем коммутации повлечёт существенное повышение требований к точности временной синхронизации — она не должна будет превышать 150–200 нс. Такое ужесточение норм для временной синхронизации приведёт к необходимости повышения требований к точности установки частоты эталонных источников сетевой синхронизации, то есть первичных эталонных генераторов (ПЭГ) и первичных эталонных источников (ПЭИ) [6].

Международным союзом электросвязи (МСЭ, англ. ITU) не только предписаны обновлённые и более жёсткие требования к эталонным источникам сигналов частотной и временной синхронизации, но и введены определения модернизированных эталонных источников. К таким источникам относятся ПЭГ (и улучшенные ПЭГ, или сокращённо — уПЭГ, англ. — ePRC), первичный эталон времени и частоты ПЭВЧ (и уПЭВЧ, англ. — ePRTC) и, в перспективе, модернизированный ПЭИ или источник сигналов синхронизации ИСС (и уИСС, англ. — eAPTS) [7]. Требования к уПЭГ, описанные в рекомендации МСЭ-Т G.811.1 (Timing characteristics of enhanced primary reference clocks), предназначены для обеспечения работы систем частотной синхронизации перспективных систем связи. Требования к уПЭВЧ представлены в рекомендации МСЭ-Т G.8272.1 (Timing characteristics of enhanced primary reference time clocks), они необходимы для обеспечения работы систем временной синхронизации стандартов связи 5G и выше.

Согласно рекомендации МСЭ-Т G.8275/Y.1369 МСЭ-Т (Architecture and requirements for packet-based time and phase distribution) вводится понятие когерентной системы уПЭВЧ (Coherent PRTC — cnPRTC). Основное отличие такой системы от систем, использующих в качестве источников синхронизации ПЭГ или ПЭВЧ, заключается в возможности образования единой системы связанных уПЭВЧ с целью организации взаимодействия и сравнения их часов. Само сравнение часов в таких системах может происходить не только через прямые соединения звеньев цепи, но и косвенно через одно или несколько промежуточных соединений.

На рис. 1 представлены примеры различных вариантов топологии таких систем — с центральным ядром сети (сложная) и кольцевого типа.

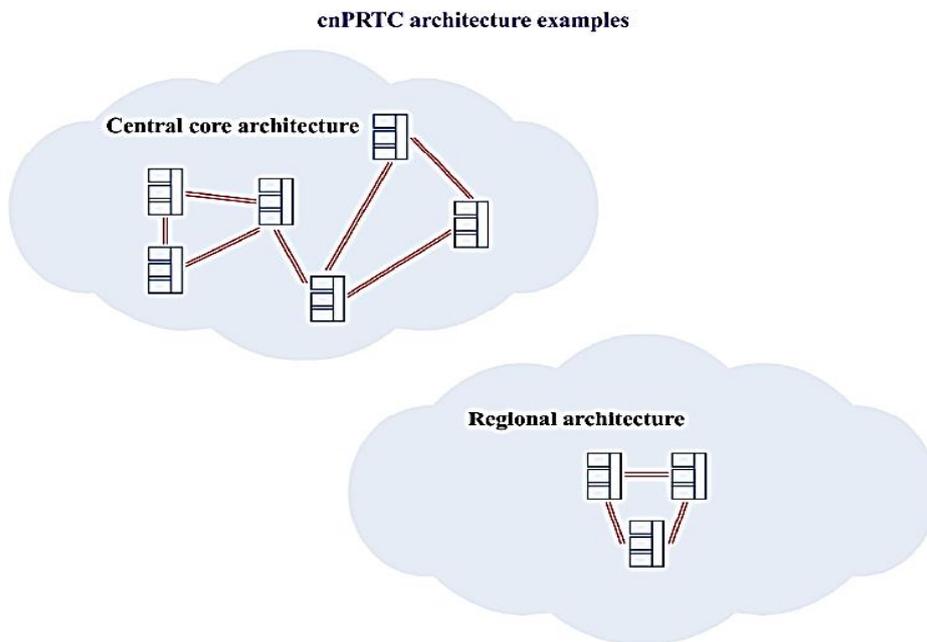


Рис. 1

В модернизированных эталонных источниках сигналов частотной и временной синхронизации, таких как уПЭВЧ, для повышения точности и стабильности формируемых эталонных синхросигналов должны применяться высокостабильные атомные стандарты частоты и более сложные двухсистемные приёмники глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), а также должна быть реализована более сложная система формирования шкалы времени (ШВ) с помощью частотно-временных комбайнеров — специальных устройств, которые на основе эталонной частоты и принятых сигналов ГНСС будут формировать выходные сигналы 1PPS и шкалу времени.

Как уже было сказано, сравнение часов — основной и очень важный компонент системы когерентных уПЭВЧ (cnPRTC), поэтому мониторинг и взаимные сличения часов также должны обеспечиваться самой системой. Система связанных между собой когерентных уПЭВЧ (cnPRTC) должна соединять первичные эталонные часы на самых высоких уровнях сетевой иерархии — на уровне ПЭГ. В целях повышения точности формирования ШВ систему когерентных уПЭВЧ необходимо обеспечивать эталонными сигналами частоты и времени (ЭСЧВ) от Государственного первичного эталона единиц времени, частоты и национальной шкалы времени UTC (SU) ГЭТ 1-2018, вторичных и рабочих эталонов Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ).

В настоящее время для точной синхронизации времени в пределах от десятков нс до единиц мкс в пакетных сетях применяется протокол прецизионного времени — Precision Time Protocol (PTP), описанный в стандарте IEEE 1588v2 2008 г. Но для обеспечения передачи ШВ от эталонов времени и частоты ГСВЧ к системе когерентных уПЭВЧ или внутри самой системы когерентных уПЭВЧ необходима точность временной синхронизации в пределах единиц нс и лучше. Эти требования обуславливают необходимость применения нового варианта протокола PTP IEEE1588v2.1-2019, известного под названием White Rabbit («белый кролик»). Этот стандарт значительно сложнее PTP (IEEE 1588v2-2008), но позволяет обеспечить точность подстройки удалённых ведомых часов с субнаносекундной точностью.

Используемые в настоящее время способы доставки ЭСЧВ к элементам сети в составе информационных пакетов порождают ряд острых проблем, связанных с появлением неуправляемой девиации задержек синхросигналов в процессе доставки к сетевым узлам. Вследствие таких задержек появляются дополнительные шумы и искажения в передаваемых пакетных сигналах, что в крайнем случае может привести к развалу информационных пакетов. При использовании сигналов ГНСС рассинхронизация бортовых систем с наземными измерительными средствами полностью обусловлена используемым методом асинхронного пакетного информационного обмена, остро реагирующего на степень загруженности физического канала связи [8]. При этом минимальная достижимая погрешность спутниковых методов сравнения ШВ составляет порядка 1 нс.

В этой связи особое внимание следует уделить альтернативному спутниковым каналам способу доставки эталонных сигналов времени и частоты — с помощью выделенных волоконно-оптических линий передачи, которые позволят поддерживать точности формируемой системой когерентных уПЭВЧ шкалы времени в масштабе всей сети, включая периоды потери сигнала ГНСС. Использование выделенных волоконно-оптических линий передач обладает рядом преимуществ по сравнению с передачей ЭСЧВ по спутниковым каналам, т.к. не подвержено электромагнитным воздействиям, включая преднамеренные помехи, и не связано с особенностями размещения антенн спутниковых радионавигационных систем [9]. Совместное использование выделенных линий ВОЛС и спутниковых каналов при сличениях стандартов из состава технических средств формирования ШВ основных узлов связи с эталонами времени и частоты ГСВЧ, расположенными в различных регионах РФ (Московская область, Новосибирск, Иркутск, Хабаровск, Петропавловск-Камчатский — рис. 2), обеспечит прослеживаемость формируемой шкалы времени сетей связи общего пользования (ССОП) относительно национальной шкалы времени РФ UTC (SU) [10] и достижение требуемых метрологических характеристик частотно-временного обеспечения источников синхронизации сетей связи новых поколений.



Рис. 2. Эталонная база ГСВЧ: ГЭТ 1-2018 — Государственный первичный эталон единиц времени, частоты и национальной шкалы времени UTC (SU); ВЭТ 1-5, ВЭТ 1-7, ВЭТ 1-19 — государственные вторичные эталоны единиц времени и частоты; РЭТ 1-1 — государственный рабочий эталон единиц времени и частоты

### Список литературы

1. Рыжков А.В., Колтунов М.Н., Насонов А.Ю., Шварц М.Л. Актуальные вопросы сличения шкал времени в пакетных сетях электросвязи // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. — 2017. — Т. 8. — № 4. — С. 9–11.
2. Бирюков Н.Л., Триска Н.Р., Шварц М.Л. Режимы синхронизации и качественные показатели передачи // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. — 2019. — № 2. — С. 52–57.
3. 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.
4. Рыжков А.В., Савчук А.В., Шварц М.Л., Дрига И.А. Метрология синхронизации в пакетных сетях электросвязи // Электросвязь. — 2013. — № 2. — С. 13–17.
5. Рыжков А.В., Колтунов М.Н., Насонов А.Ю., Шварц М.Л. Проблемы сличения шкал времени в пакетных сетях электросвязи // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2017. — Т. 11. — № 11. — С. 10–17.
6. Шварц М.Л., Колтунов М.Н., Бирюков Н.Л., Триска Н.Р. Эволюция систем частотно-временного обеспечения сетей связи и требований к ним // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. — 2019. — № 5. — С. 67–71.

7. Колтунов М.Н., Шварц М.Л. Актуальные вопросы применения оборудования частотно-временного обеспечения на ЕЭС России // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. — 2018. — Т. 9. — № 2. — С 113–120.
8. Петров С.Д., Чекунов И.В., Усачев В.А., Топорков А.Г., Корянов В.В. Формирование шкал времени устройств частотно-временного обеспечения методом структурного анализа // Инженерный журнал: наука и инновации. — 2019. — Вып. 8.
9. Рыжков А.В., Шварц М.Л. Пути формирования прецизионной шкалы времени национальной сети связи // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. — 2020. — Т. 14. — № 2. — С. 17–24.
10. ГОСТ 8.567–2014. Измерения времени и частоты. Термины и определения. ГСИ. — М.: Стандартинформ, 2019.

*Статья поступила в редакцию: 26.10.2021 г.*

*Статья прошла рецензирование: 02.11.2021 г.*

*Статья принята в работу: 08.11.2021 г.*