

## ПЕРВИЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ синхронизации в современных мультисервисных макросетях мобильной связи

Приведена потребность в сигналах точного времени и частоты в мультисервисных макросетях мобильной связи. Показана эволюция развития первичных источников синхронизации. Рассмотрено назначение и принцип действия первичного опорного генератора шкалы времени в сетях с передачей пакетов и усовершенствованного первичного эталонного генератора сигналов частоты и времени для мультисервисной макросети мобильного оператора.

**Ключевые слова:** мультисервисная макросеть, сеть синхронизации, сигналы точного времени и частоты, первичный источник синхронизации, первичный опорный генератор.

### Введение

Развитие современных сетей связи невозможно без точных часов – прецизионных стандартов частоты. Если десятикратное увеличение точности измерения массы, длины и других физических величин происходит каждые 50 лет, то десятикратное увеличение точности измерения времени и частоты – каждые 20 лет [1]. Современный предел относительной точности измерения частоты и времени оценивают величиной  $10^{-14} - 10^{-16}$ .

В современных стандартах частоты применяют, по меньшей мере, 5 основных классов прецизионных источников: кварцевые генераторы (ОСХО), приемники навигационных сообщений (GPS/GLONASS/Galileo), ячейки на парах рубидия (RB), атомные стандарты на цезиевом пучке (CS) и водородные мазеры (HM).

### Постановка задачи

В настоящий момент в стационарных сетях для обеспечения синхронизации узлов связи строится наложенная сеть тактовой сетевой синхронизации. Она обеспечивает доставку сигналов синхронизации до всех узлов телекоммуникационной сети, построенной на базе оборудования с временным разделением каналов [2].

Операторы мобильной связи, использующие 2G- и 3G-сети с дуплексной передачей с разделением по частоте, обеспечивают заданное качество предоставляемых услуг путем организации частотной синхронизации базовых станций.

Стремительно развивающийся в настоящее время процесс конвергенции фиксированных и мобильных сетей в единую мультисервисную макросеть реализуется на основе технологий пакетной передачи данных. Многие мобильные операторы планируют реализовать передачу трафика по недорогим в эксплуатации IP/MPLS-сетям. Однако переход на них в большинстве случаев достаточно сложный, поскольку связан с отказом от критически важных сервисов, которые требуют временной синхронизации. Выходом из создавшейся ситуации является реализации различных методов синхронизации в IP/MPLS-сетях, что позволит обеспечить критически важные сервисы синхронизацией требуемой точности.

Потребность в сигналах точного времени и частоты в мобильных сетях обусловлена следующими факторами [2].

1. Синхронная коммутация: коммутация голосовых каналов осуществляется в синхронных коммутаторах, где синхронизация низкого качества приведет к возникновению проскальзываний и снижению качества обслуживания.

2. Стабильность частоты беспроводного интерфейса (радиоинтерфейса): синхронизация низкого качества приведет к взаимному влиянию с другими каналами и отказу в предоставлении услуги в конечном итоге.

3. Процесс передачи данных: синхронизация низкого качества станет причиной потери пакетов при их передаче, что приведет к отказу в предоставлении услуги или значительному увеличению задержки в ее предоставлении.

4. Временная синхронизация в CDMA требует прецизионной временной и фазовой синхронизации.

Сетям операторов мультисервисной макросети, поставщикам услуг IPTV, мобильного и цифрового телевидения требуется высокоточная тактовая синхронизация, необходимая для работы сетей и выполнения таких функций, как сетевой мониторинг, работа приложений диспетчерской связи и сбора данных. Обеспечение высокоточной синхронизации – основная задача полноценного функционирования мультисервисной макросети. Ведь в отличие от сетей TDM, в которых сведения о времени передаются вместе с данными, сети с пакетной коммутацией не поддерживают этой функции. Отсутствие синхронизации порождает такие проблемы, как потеря данных, большое количество ошибок и значительные задержки в получении информации, критичной к задержкам.

### Основная часть

На заре развития сетей синхронизации полагалось, что достаточно одного первичного эталонного генератора (PRC - Primary Reference Clock) на всю сеть и можно было бы мириться с их высокой стоимостью.

В современных сетях PRC становится массовым изделием [3]. Поэтому производители квантовых стандартов частоты, желая сохранить позиции на рынке оборудования синхронизации, поставляют первичные источники синхронизации (PRS – Primary Reference Source). Это просто стандарт частоты без резервирования, как правило, снабженный стыками.

Вопрос о применении GPS/GLONASS/Galileo для синхронизации сетей связи широко представлен в монографиях [1, 3, 4]. Все ведущие операторы сетей связи в Украине широко используют аппаратуру синхронизации на основе приемников GPS/GLONASS/Galileo. Но для достижения необходимой надежности крупные операторы используют комбинацию CS + GPS/GLONASS/Galileo, что автоматически превращает PRS в PRC. Как правило такое сочетание первичных источников встречается на верхнем уровне иерархии сетей синхронизации.

Важным моментом в развитии атомных часов (Atomic Clocks) за последнее десятилетие является утверждение новых требований к точности и стабильности, а также появление требований к фазовой синхронизации, фактически к параметру “время” (что особенно важно для сетей мобильной связи 4G – LTE) [1, 3, 4].

На рис. 1 представлена эволюция развития первичных источников синхронизации:

- PRC - первичный эталонный генератор для “классической” сети синхронизации;
- PRTC – первичный опорный генератор шкалы времени в сетях с передачей пакетов;
- ePRTC (enhanced Primary Reference Time Clock - усовершенствованный первичный эталонный генератор сигналов частоты и времени для мультисервисной макросети мобильного оператора.

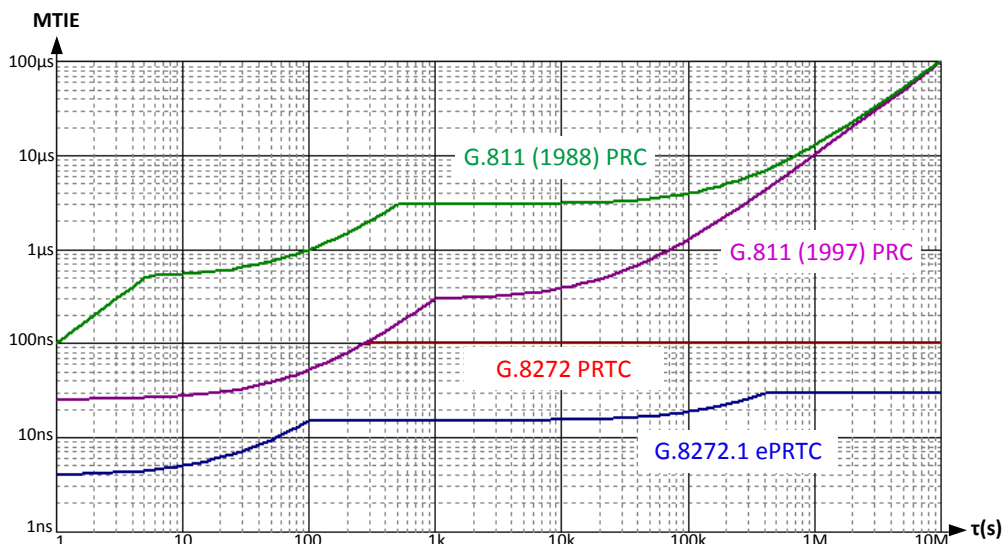


Рис. 1 Эволюция развития первичных источников синхронизации

Первичный опорный генератор шкалы времени PRTC, пригодный для временной, фазовой и частотной синхронизации в сетях с передачей пакетов. Данные требования применяются при нормальных условиях окружающей среды, определенных для оборудования. Типовой PRTC формирует эталонный сигнал для временной, фазовой и частотной синхронизации других генераторов в пределах сети или сегмента сети. В частности, PRTC способен формировать эталонный сигнал для грандмастера электросвязи (T-GM) в пределах сетевых узлов, в которых находится PRTC. PRTC формирует эталонный сигнал времени, который может быть проверен на соответствие признанному стандарту времени (например, всемирному координированному времени (UTC)). Время UTC может быть получено из лаборатории времени UTC, зарегистрированной в Международном бюро мер и весов (МБМВ) (например, национальной лабораторией UTC) или, в большинстве случаев, при помощи глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS). В настоящей Рекомендации определяются требования к выходным характеристикам PRTC. Точность PRTC должна соблюдаться согласно требованиям, указанным в [5].

Повышение требований к точности синхронизации в мультисервисных макросетях ставит новые задачи перед разработчиками специализированного оборудования. Обновляется и международная нормативная база, в частности, требования к генераторному оборудованию различного класса. Примером может служить недавно вышедшая Рекомендация ITU-T G.8272.1/Y.1367.1 [6], определяющая основные характеристики улучшенного первичного эталонного генератора частоты и времени ePRTC. По сравнению с “обычным” PRTC (Рекомендация ITU-T G.8272/Y.1367 [5]), к генераторному оборудованию ePRTC предъявляются более жесткие требования в части уровня фазовых шумов на выходе: расчет максимальной ошибки по временному интервалу (MTIE) и временного отклонения (TDEV):

- в режиме захвата опорного сигнала максимальное отклонение временного интервала (MTIE) не должно превышать 30 нс при  $\tau \geq 400\,000$  с (в то время как для “обычного” PRTC значение MTIE не должно превышать 100 нс при  $\tau \geq 273$  с);

- в режиме удержания максимальный уход фазы за 14 суток не должен превышать 100 нс.

На рис. 2 показаны показатели временного отклонения TDEV для ePRTC.

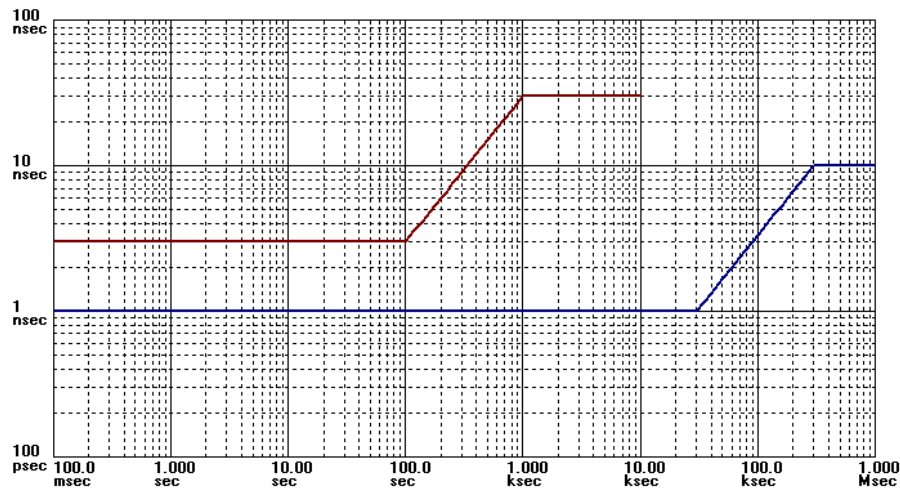


Рис. 2 Показатели временного отклонения TDEV для ePRTC

Реализация ePRTC представляет собой комбинацию цезиевого источника, приемника GPS/GLONASS/Galileo и аппаратуру сличения шкал времени, а также опорных частот [6].

Кроме того, массовый переход транспортной среды с технологии синхронной цифровой иерархии (СЦИ) на современные технологии IP/MPLS требует интеграции PRC/PRTC в IP-среду и обеспечение передачи опорных сигналов по новым протоколам, что собственно и превращает по требованиям все современные источники в ePRTC.

В настоящее время наиболее удачным способом передачи таких сигналов является протокол PTP (Precision Time Protocol или стандарт IEEE 1588v2), который был специально разработан для решения задач синхронизации в пакетных сетях. Он появился в виде стандарта IEEE 1588 [6] на этапе внедрения техники Ethernet в контрольно-измерительные системы с возможностью обобщения на другие сети с многоадресной рассылкой сообщений.

Для организации планирования сети синхронизации PTP необходимо учитывать требования Рекомендации ITU-T G.8261.1 по количеству переприемов. Максимальное количество может быть до 5 или до 10 в зависимости от выбранного принципа коммутации на маршрутизаторах IP/MPLS. Вторым ограничительным фактором является количество обслуживаемых PTP-клиентов одним Cesium PTP-севером (сам PTP-север является отдельным стоящим устройством, но входит в комплекс с Cesium Clock). Доступные PTP-сервера, как правило, позволяют обеспечить надлежащим качеством до 1000 PTP-клиентов (зависит от производителя). Однако никогда не следует нагружать Cesium PTP-сервер максимально нагрузкой, так как в этом случае затруднено сетевое резервирование. Под сетевым резервированием подразумевается возможность обслуживания PTP-клиентов одного PTP-сервера соседним/соседними в случае аварийной ситуации. Таким образом, рациональное решение предполагает планирование Cesium PTP-серверов с 50% нагрузкой (до 500 базовых станций/PTP-клиентов на каждый из трех PTP-серверов). Следует также отметить, что и сами Cesium PTP-сервера уровня ePRTC должны иметь резервирование на аппаратном уровне – два ввода питания, цезиевый генератор (CS), два Receivers GPS/GLONASS/Galileo или one Receiver GPS/GLONASS/Galileo плюс внешний ввод опорного сигнала синхронизации 2МГц/1Е1 от классической сети синхронизации TDM (обеспечиваемой тремя цезиевыми первичными источниками с резервированием по GPS/GLONASS/Galileo).

Вопросы планирования и резервирования сети синхронизации PTP для обеспечения мобильной связи уровня 4G в целом сходны с наработанными принципами в 3G. Но есть несколько существенных отличий. Согласно [5, 6] в каждой базовой станции должна обеспечиваться микросекундная точность. Для этого необходимо дотранслировать необходимую точность до самой базы. Это возможно при задействовании дополнительного

оборудования Boundary Clock (BC). BC размещаются между РТР-серверами и РТР-клиентами. На каждый регион понадобится от 2 до 5 BC. Также для технологии 4G понадобится программное обновление существующих РТР-серверов и увеличения на них изначальной точности, – это будет достигаться трансформацией цезиевых РТР в источник уровня ePRTC, их количество на сеть в нашем случае – 3. Также при планировании РТР-сети синхронизации необходимо учитывать “unicast” и “multicast” режимы работы оборудования.

При внедрении новых технологий, в частности 4G, не теряют своей актуальности вопросы, относящиеся к разделу частотно-временного обеспечения сеансов связи, а также проблемы согласования шкал местных хранителей точного времени в территориально разнесенной инфраструктуре электросвязи. В условиях активного перехода от одних технологий к сетям следующего поколения, вопросы синхронизации встают перед специалистами со все большей силой, так как точное следование всемирному универсальному времени, в конечном счете, выливается в повышении доступности и качества предоставляемых услуг.

Стремясь достичь в сетях связи идеально точного отсчета времени, специалисты службы единого времени и стандартных частот разрабатывают и предлагают разнообразные варианты компьютерного моделирования технических решений в области временной синхронизации.

### **Выводы и рекомендации**

1. Эволюция атомных стандартов частоты предполагает изменение параметров стабильности синхронизации и их характеристик. Меняется сама концепция построения первичных источников сигналов синхронизации – [6] (ePRTC). В процессе развертывания и эксплуатации сети синхронизации на транспортной сети IP/MPLS возникает необходимость в создании системы мониторинга сигналов синхронизации.

2. Внедрение подсетей синхронизации на транспортной сети IP/MPLS в настоящее время является практической необходимостью. За последние годы было реализовано несколько проектов на основе протоколов РТР. Интеграция Atomic Clock в транспортную среду IP/MPLS на основе протокола РТР позволяет реализовать полноценный ePRTC с использованием всех преимуществ новейших технологий.

### **Список использованной литературы**

1. C. Audoin, B. Guinot. The Measurement of Time. Time, Frequency and the Atomic Clock. Cambridge University Press, 1998.
2. Ванчиков А.С. Решение проблем синхронизации в IP-сети / А. С. Ванчиков, А. К. Канаев, В. В. Кренин // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 3. – С. 20–22.
3. S. Bregni. Synchronization of Digital Telecommunication Networks. John Wiley & Sons, Inc. 2001.
4. D.L. Mills. Computer network time synchronization: the network time protocol. CRC Press, 2006.
5. ITU-T Recommendation G.8272/Y.1367 (01/2015) Timing characteristics of primary reference time clocks.
6. ITU-T Recommendation G.8272.1/Y.1367.1 (11/2016) Timing characteristics of enhanced primary reference time clocks.

Надійшла: 5.11.2017

Рецензент: к.т.н., доц. Курченко О.А.