

ПРОБЛЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ современного телекоммуникационного оборудования

Н.Л.Сторожук, к.т.н., генеральный директор
АО НПП "КОМЕТЕХ" / snl@kometeh.ru,

Е.В.Опарин, к.т.н., доцент кафедры "Электрическая связь"
ПГУПС императора Александра I / oparuh@mail.ru

УДК 621.391

Изменения инфраструктуры телекоммуникационных систем, которые вызваны переходом на новые сетевые технологии, поэтапным смещением от технологий коммутации каналов к технологии коммутации пакетов (IP/MPLS/Ethernet), развитием сотовых систем связи (LTE и 5G), а также постоянно возрастающими требованиями к точности и стабильности сигналов синхронизации влекут за собой также изменения подходов к решению задач частотно-временного обеспечения. В статье рассмотрены проблемы, непременно возникающие в современных и перспективных сетях связи при передаче сигналов синхронизации, а также актуальные технологии их решения и направления ведущихся и будущих исследований.

ВВЕДЕНИЕ

На всех этапах развития телекоммуникационных систем важным условием обеспечения стабильности ее функционирования является поддержание синхронизации оборудования связи. Сегодня в значительной степени решена проблема обеспечения синхронизации частоты на сетях связи: построены и функционируют системы тактовой сетевой синхронизации (ТСС) крупных операторов, разработаны нормативные и руководящие документы, методики проектирования и проведения измерений. Однако в современных и перспективных сетях связи наблюдается переход телекоммуникационных систем от технологии коммутации каналов к технологии коммутации пакетов, обусловленный прежде всего тем, что при использовании последних передача одного бита информации обходится

дешевле [1]. В связи с этим встает важная задача обеспечения синхронизации по фазе и времени, которая вызвана этим переходом и развитием мобильных сетей следующих поколений, выдвигающим постоянно возрастающие требования к качеству сигналов синхронизации. Таким образом, целесообразно выделить и обобщить возникающие проблемы синхронизации современных и перспективных сетей связи.

СИНХРОНИЗАЦИЯ В СЕТЯХ СВЯЗИ С ЦИФРОВОЙ КОММУТАЦИЕЙ КАНАЛОВ

До недавнего времени необходимости в синхронизации по фазе и времени в сетях связи не было, для работы оборудования с коммутацией каналов, построенных по технологии синхронной цифровой иерархии (SDH), требуется

только синхронизация тактовой частоты на всех узлах сети. Данную проблему решает система ТСС, построенная по иерархическому принципу и предназначенная для формирования необходимого количества сигналов синхронизации и их распределения между телекоммуникационным оборудованием, а также восстановления параметров синхросигналов, искаженных при их распространении по линиям связи.

К оборудованию ТСС первого уровня иерархии относится первичный эталонный генератор (ПЭГ), в состав которого обычно входят три первичных эталонных источника (ПЭИ) и вторичный задающий генератор (ВЗГ), обеспечивающий выбор ПЭИ с требуемыми характеристиками и формирование необходимого числа синхросигналов на его выходах.

ВЗГ, относящийся к оборудованию ТСС второго уровня иерархии, выполняет функции восстановления, формирования, резервирования и контроля входных сигналов синхронизации, а также резервного источника синхронизации (в режиме запоминания частоты) для фрагмента сети ТСС. ВЗГ может также выполнять функцию источника эталонных сигналов синхронизации при наличии в его составе аппаратуры спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS [2].

Местный задающий генератор (МЗГ), относящийся к оборудованию ТСС третьего уровня иерархии, выполняет функции восстановления, распределения сигналов синхронизации в пределах узла связи и резервного источника синхронизации (в режиме запоминания частоты) для фрагмента сети ТСС [2].

Генератор сетевого элемента (ГСЭ), являющийся составной частью оборудования SDH, и генератор средств связи синхронного Ethernet (ГСССЕ) (составная часть оборудования Ethernet) относятся к оборудованию ТСС четвертого уровня. Они обеспечивают выбор синхросигнала при синхронизации внутренних модулей, а также формируют синхросигналы на внешних выходах оборудования.

СИНХРОНИЗАЦИЯ В СЕТЯХ С ПАКЕТНЫМ РЕЖИМОМ ПЕРЕДАЧИ

Ключевой особенностью систем связи с пакетной коммутацией является применение асинхронного протокола, не требующего синхронизации по частоте задающих генераторов. Однако в процессе массового развертывания пакетных сетей выяснилось, что они функционируют не сами по себе, а работают в тесном окружении существующих сетей, в том числе и синхронных сетей связи с коммутацией каналов [3].

Возникла необходимость передачи сигналов ТСС через сеть с коммутацией пакетов. Для решения этой задачи была разработана технология синхронного Ethernet (Synchronous Ethernet, также называемая SyncE), обеспечивающая передачу тактовых сигналов через физический уровень Ethernet.

При создании технологии SyncE 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).

Параллельно с разработкой и стандартизацией технологии SyncE в последние годы активно развивалось и другое направление синхронизации в пакетных сетях, основанное на использовании протокола РТР IEEE 1588 в качестве метода передачи времени и частоты в пакетных сетях [4].

ВРЕМЕННАЯ И ФАЗОВАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ В СОВРЕМЕННЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

Для работы современного телекоммуникационного оборудования, использующего такие технологии, как SDN, TSN, LTE-A, 5G, кроме синхронизации тактовой частоты необходима еще временная и фазовая синхронизация. Например, для современных сетей мобильной связи необходимо обеспечить синхронизацию начальной фазы отсчета секунды с точностью до сотен или даже десятков нс.

Механизмы распределения шкалы времени значительно отличаются от тех, что используется для распределения частоты. Существуют различные протоколы, которые обеспечивают перенос информации о текущем времени, имеющие различные уровни разрешения (точности). В качестве примеров можно привести протокол сетевого времени NTP (Network Time Protocol) и протокол точного времени РТР (Precision Time Protocol).

NTP – 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.

РТР – это протокол точного времени, используемый для синхронизации часов в сетях с коммутацией

пакетов. Протокол RTP реализуется одновременно на программном и аппаратном уровнях устройства. Точность достигается за счет проставления меток времени сообщений RTP на аппаратном уровне. RTP подразумевает обмен двусторонними сообщениями с метками времени. На основе полученных меток времени рассчитывается задержка.

Все большую популярность приобретает комбинированный механизм, предусматривающий совместное использование синхронного Ethernet для передачи тактовой частоты и поддержки протокола RTP для передачи (восстановления) тактовой частоты и сигналов точного времени. Это становится актуальным в связи с постепенным вытеснением систем SDH и полным переходом на пакетные методы передачи [4].

МЕХАНИЗМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЛЯ СИНХРОНИЗАЦИИ КАБЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Данный тип синхронизации обычно применяется в лабораторном измерительном оборудовании и стационарных сетях, требующих высокой точности синхронизации и разделенных небольшим расстоянием, имеет одностороннее распространение тактирующих сигналов. Скоростью распространения сигналов по кабелю 3 нс/м в большинстве случаев можно пренебречь и говорить об одновременности процессов в передатчике и приемнике.

МЕХАНИЗМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛОБАЛЬНЫХ СИСТЕМ СПУТНИКОВОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) такие как GPS, ГЛОНАС и др., в которых устройства, синхронизируются от орбитальных спутников путем передачи сигналов универсального времени, имеет одностороннее распространение сигналов времени. Обеспечивает точность синхронизации на основе системы GPS (1 мкс, возможная: 50 нс, сложно: 10 нс или лучше).

МЕХАНИЗМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЛЯ СИНХРОНИЗАЦИИ СТАНДАРТНЫХ ЛОКАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Как правило, это сети, где применяются промышленные протоколы, которые поддерживают передачу данных в реальном времени и имеют в своем составе механизмы синхронизации (Ethernet/IP, RTP и т. д.). Применение временных меток, генерируемых программой, позволяет обеспечить диапазон тактовой синхронизации от 10 мкс до 1 мкс. В случае аппаратного генерирования временных меток точность генерирования временных меток

соответствует внутренним часам и достигает диапазона 20–50 нс. При прохождении сигнала по каналам SyncE обеспечивается точность синхронизации 10 нс. Такие решения требуют применения специализированного оборудования на всех узлах, через которые проходят синхросигналы.

МЕХАНИЗМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛОБАЛЬНОЙ СЕТИ ИНТЕРНЕТ

При использовании данного механизма устройства, как правило, разделенные большим расстоянием и имеющие доступ в интернет, синхронизируются с несколькими серверами точного времени на основе запросов клиент-сервер (NTP, RTP). Инициатором запроса времени и процесса синхронизации является клиент, что приводит к неравномерной загрузке сервера. Основные причины, влияющие на точность – длина пути и асимметрия линии. Точность системы NTP на основе интернет, как правило, составляет несколько мс, с применением протокола RTP – до десятков нс, а некоторые источники утверждают, что она может достигать точности около 30 нс. Такую точную фазовременную синхронизацию оборудования сети, протокол RTP может обеспечить только при работе в сетях с технологией синхронного Ethernet.

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ СИНХРОНИЗАЦИИ В СЕТЯХ ОПЕРАТОРОВ СВЯЗИ

Создание системы единого точного времени (ЕТВ) на сети оператора связи предполагает обязательное выполнение двух процессов, а именно установку текущего времени, его хранение и последующую корректировку. При этом погрешности, возникающие в случае дистанционной передачи сигналов ЕТВ от источника к потребителю, то есть "локальным часам", можно классифицировать в виде шумов передачи, установки и нестабильности внутреннего генератора локальных часов [5].

Для установки и корректировки времени в сетях операторов связи на основе коммутации пакетов кроме сигналов от ГНСС могут использоваться пакетные методы, при этом возможны два основных способа передачи информации о частоте от эталонного источника сигнала к приемнику, необходимой для поддержания точности хода местных "локальных часов" [6].

Основной проблемой синхронизации частоты и времени в сетях связи с коммутацией пакетов на основе пакетного метода передачи является девиация временной задержки пакетов в промежуточных маршрутизаторах, что приводит к возникновению определенных трудностей при

обработке временных меток, прошедших через эти сети.

Традиционная тактовая сетевая синхронизация опиралась на распределение тактовой частоты, но развивающиеся сети мобильной связи требуют точного распределения параметров фаза/время. По мере эволюции 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 [7].

ОТЕЧЕСТВЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ СИНХРОНИЗАЦИИ

В качестве примера современного оборудования синхронизации можно привести выпускаемый АО НПП "КОМЕТЕХ" ВЗГ "СОНАТА-В".

Аппаратура "СОНАТА-В" предназначена для использования на сетях тактовой сетевой синхронизации в качестве вторичного задающего генератора, местного задающего генератора или составного элемента первичного задающего генератора, в ее состав также входят первичные эталонные часы, обеспечивающие независимую от глобальных навигационных спутниковых систем временную и фазовую синхронизацию телекоммуникационного оборудования по протоколам NTP и PTP. Оборудование выполнено в корпусе 3U стандарта 19".

"СОНАТА-В" соответствует требованиям приказа Министерства информационных технологий и связи России от 7 декабря 2006 года № 161, рекомендациям МСЭ-Т G.812, IEEE 1588v2, МСЭ-Т G.8272.1 и обеспечивает тактовую, временную и фазовую синхронизацию телекоммуникационного оборудования разных поколений, использующего такие технологии как SDH, SyncE, SDN, TSN, LTE-A, 5G и другие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 ГНСС, а также серверы времени, поддерживающие



Вторичный задающий генератор "СОНАТА-В"

протоколы NTP и PTP. В качестве входных синхросигналов для ВЗГ наряду с сигналами от ПЭГ стали использоваться сигналы SyncE, импульсы начала секунды (1PPS) 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 1PPS. Высокостабильный внутренний генератор ВЗГ обеспечивает точность хранения времени в случае сбоя приема сигналов коррекции времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Сторожук М.** Мониторинг сетевого трафика в магистральных сетях для обеспечения работы сетей TSN // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2022. № 3. С. 30–33.
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. **Рыжков А.В., Шварц М.Л.** Современные тенденции развития систем сетевой синхронизации в сетях электросвязи. От плезиохронных до когерентных сетей // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2021. № 4. С. 27–38.
4. **Рыжков А.В.** Частотно-временное обеспечение в сетях электросвязи. М.: Горячая линия–Телеком. 2021. 270 с.
5. **Мазуренко Д.К.** Модель передачи сигналов единого точного времени в сети связи с пакетной коммутацией // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. т. 2014. . Т. 8. № 5. С. 45–49.
6. **Мазуренко Д.К.** Сетевые решения построения пакетной сети распределения сигналов единого точного времени // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. т. 2015. Т. 9. № 4. С. 67–71.
7. **Коган С.** Сети 5G: распределение сигналов синхронизации на оптическом транспортном уровне // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2022. № 4. С. 50–59; № 5. С. 44–58; № 6. С. 42–53.