

УДК 006.92+521.934

**О ВОЗМОЖНОСТИ СИНХРОНИЗАЦИИ ОПОРНЫХ УЗЛОВ
ФОРМИРОВАНИЯ ШКАЛЫ ВРЕМЕНИ ССОП
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭТАЛОННОЙ БАЗЫ ГСВЧ
С.Н. Каган**

ФГУП «ВНИИФТРИ»

При внедрении и развитии на сетях операторов связи технологий, относящихся к сетям NGN, использующих пакетную передачу информации, качество предоставляемых услуг связи непосредственно зависит от синхронности процессов передачи и преобразования информации, безошибочности передачи и приема пакетов данных, а для достижения этих целей необходима не только частотная, но и временная синхронизация в пакетной сети. Следует отметить, что в России по сей день нет никаких нормативных документов, устанавливающих требования к характеристикам временной синхронизации на различных участках сети связи общего пользования ССОП.

В то же время согласно рекомендации ITU-T G.2671 «Аспекты временной и фазовой синхронизации в сетях с коммутацией пакетов» [1] определены пять классов точности для систем синхронизации времени (см. табл. 1).

Таблица 1

Классы требований к точности временной синхронизации

Класс точности	Требования к точности	Область использования
1	500 мс	Системы биллинга и регистрации аварий
2	100 мкс	Мониторинг задержек в IP сетях
3	5 мкс	LTE TDD (большие ячейки)
4	1,5 мкс	UTRA-TDD, LTE-TDD (small cell) Wimax-TDD (некоторые конфигурации)
5	1,0 мкс	Wimax-TDD (некоторые конфигурации)
6	единицы нс	Служба предоставления услуг, основанных на определении текущего местоположения мобильного телефона, и некоторые реализации LTE-A

Наиболее строгие требования к синхронизации (порядка единиц микросекунд) предъявляются при формировании сигналов некоторых мобильных сетей, таких как CDMA2000 или LTE FDD. Временная (фазовая) синхронизация часто требуется для поддержания требований интерфейсов

мобильных систем с временным разделением, например, таких как LTE TDD, а также для поддержки широковещательных мультимедийных сервисов MBMS в том случае, если этот сервис базируется на одночастотной сети MBSFN.

В соответствии с Федеральным законом №126-ФЗ от 07.07.2003 «О связи» единым учетно-отчетным временем в сетях связи должно быть московское время, являющееся реализацией Национальной шкалы времени РФ UTC(SU). Разрабатываемая в настоящее время в отрасли связь концепция частотно-временного обеспечения сетей связи общего пользования (ССОП), направленная на обеспечение устойчивого функционирования, безопасности и целостности ССОП, предусматривает создание в сети трехуровневой системы опорных узлов формирования шкалы времени (ОУФШВ), размещающихся на узлах связи операторов связи и представляющих информацию о точном времени операторам сети. Для прослеживаемости формируемых шкал времени относительно UTC(SU) и обеспечения требуемых метрологических характеристик актуальной является задача синхронизации ОУФШВ первого уровня с использованием эталонной базы ГСВЧ РФ. При этом в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений времени и частоты ГОСТ 8.129-99 передаётся размер единиц времени и частоты от Государственного первичного или вторичных эталонов времени и частоты к рабочим эталонам ОУФШВ.

Эталонная база ГСВЧ

Государственная служба времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ) – постоянно функционирующая система технических средств и организаций ряда федеральных органов исполнительной власти, объединённых общей научно-технической и метрологической деятельностью по обеспечению потребностей страны в узаконенной информации о точном времени, эталонных частотах и параметрах вращения Земли. Деятельность ГСВЧ определена Федеральным законом «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 г. №102-ФЗ, Федеральным законом «Об исчислении времени» от 04.03.2011 г. №107-ФЗ, а также Постановлением Правительства №225 от 23.03.2001 г., утверждающим «Положение о Государственной службе времени, частоты и определения параметров вращения Земли».

В состав эталонной базы ГСВЧ РФ входят:

Государственный первичный эталон единиц времени, частоты и национальной шкалы времени ГЭТ1-2012, ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московской области;

Государственный вторичный эталон единиц времени и частоты ВЭТ1-5, Восточно-Сибирский филиал ФГУП «ВНИИФТРИ», г. Иркутск;

Государственный вторичный эталон единиц времени и частоты ВЭТ1-7, Дальневосточный филиал ФГУП «ВНИИФТРИ», г. Хабаровск;

Государственный вторичный эталон единиц времени и частоты ВЭТ1-19, Сибирский научно-исследовательский институт метрологии (СНИИМ), г. Новосибирск;

Государственный рабочий эталон единиц времени и частоты РЭТ1-1, Камчатский филиал ФГУП «ВНИИФТРИ», г. Петропавловск-Камчатский.

Также в эталонную базу ГСВЧ функционально входит военный групповой эталон единиц времени и частоты ВГЭ в составе:

- военный эталон единиц времени и частоты ВЭ-31 ФГКУ «ГНМЦ» Минобороны России, г. Мытищи;

- военный эталон единиц времени и частоты ВЭ-33 АЦУС ГСЭВЭЧ «Цель», г. Краснознаменск.

Состав технических средств ГСВЧ представлен на рис. 1.

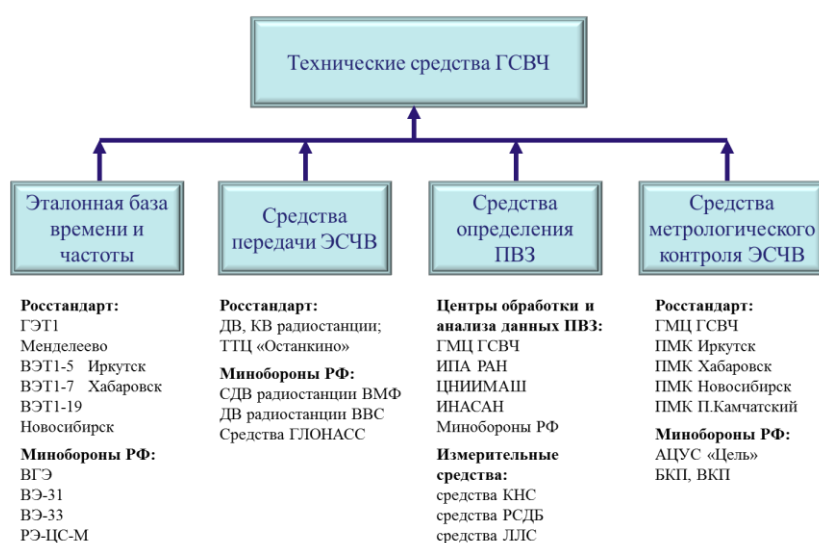


Рис. 1. Состав технических средств ГСВЧ

Расположение Государственного первичного эталона времени, частоты и национальной шкалы времени и государственных вторичных и рабочих эталонов времени и частоты ГСВЧ в различных пространственно-разнесенных регионах России ((Менделеево, Новосибирск, Иркутск, Хабаровск, Петропавловск-Камчатский), характеристики вторичных эталонов, позволяющие формировать шкалы времени, расхождение которых относительно UTC(SU) не превышает ± 30 нс для вторичных эталонов и ± 100 нс для рабочего эталона в г. Петропавловск-Камчатский,

представляют широкие возможности частотно-временного обеспечения сетей связи общего пользования (ССОП) в различных регионах.

Оборудование ГСВЧ и методы, позволяющие осуществить передачу размеров единиц времени и частоты и Национальную шкалу времени от ГЭВЧ к рабочему эталону ОУФШВ

Для сравнений шкал времени территориально разнесенных эталонов времени и частоты применяются следующие основные методы:

- с помощью перевозимых квантовых часов (ПКЧ);
- с использованием перевозимого калиброванного приемника ГЛОНАСС;
- с использованием сигналов времени и частоты, передаваемых глобальными навигационными спутниковыми системами;
- с использованием сигналов времени и частоты, передаваемых через дуплексный канал космической связи;
- с использованием сигналов времени и частоты, передаваемых по волоконно-оптическим линиям связи;
- с использованием RTP протокола.

Метод сличений пространственно-разнесенных эталонов единиц времени и частоты при помощи перевозимых квантовых часов

Метод перевозимых квантовых часов (ПКЧ) основан на сравнении шкалы времени ПКЧ со шкалой времени одного из сличаемых эталонов, дальнейшей транспортировке ПКЧ от одного из эталонов единиц времени и частоты к другому и последующем сравнении шкалы времени ПКЧ со шкалой времени второго эталона единиц времени и частоты.

Принцип сравнения шкал времени с помощью перевозимых квантовых часов поясняется рис. 2.

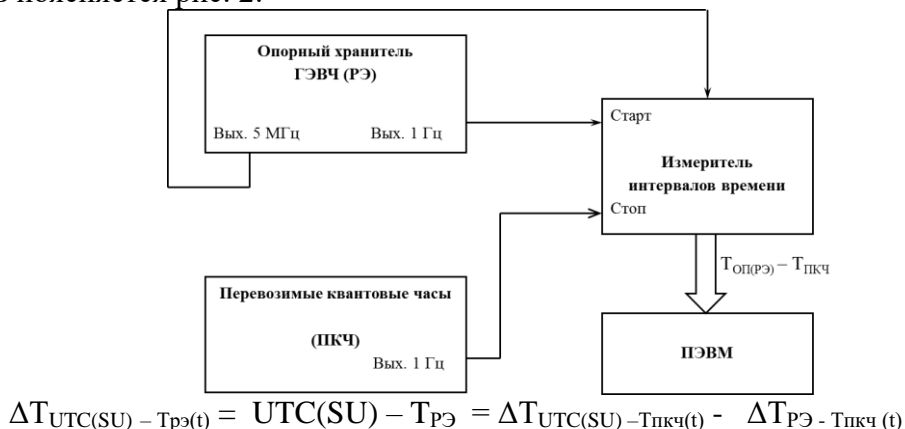


Рис. 2. Принцип сравнения шкал времени с помощью ПКЧ

ПКЧ экономичны, не требуют специальных климатических условий, занимают мало места и имеют достаточно хорошие метрологические характеристики.

Погрешность метода сравнений шкал времени при помощи перевозимых квантовых часов не превышает ± 2 нс при времени транспортировки не более 24 ч и определяется:

- метрологическими характеристиками перевозимого стандарта частоты и времени;
- степенью учета, компенсации и стабилизации возмущающих факторов;
- условиями транспортировки.

ПКЧ применяются в основном для целей калибровки существующих каналов сравнений шкал времени.

Метод сличений пространственно-разнесенных эталонов единиц времени и частоты с использованием перевозимого калиброванного приемника ГЛОНАСС

Метод аналогичен методу перевозимых квантовых часов. Для сравнения шкал времени используется приемник ГЛОНАСС с известной задержкой от фазового центра антенны до выхода выделенного сигнала 1 Гц. Сначала производится сравнение временного положения выделенного приемником сигнала 1 Гц относительно UTC(SU), затем приемник перевозится к месту расположения сличаемого рабочего эталона и производятся аналогичные измерения. Принцип метода поясняется рис. 3.

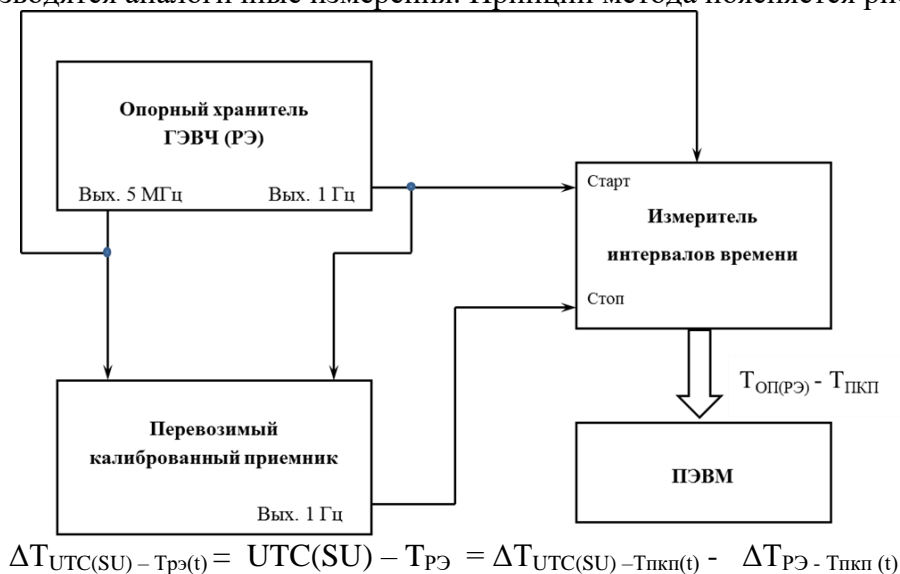


Рис. 3. Принцип сравнения шкал времени с помощью ПКП

Дифференциальный метод сличений эталонов с использованием ГЛОНАСС

Дифференциальный метод сличений с использованием сигналов космических спутниковых систем (метод «common-view») широко применяется в ГСВЧ как для сличений ГЭВЧ со вторичными эталонами, так и с национальными эталонами зарубежных стран. При этом методе в месте расположения сличаемых эталонов (например, ГЭВЧ и рабочего эталона ОУФШВ) одновременно осуществляется прием сигналов от одного и того же спутника и определяется разность временного положения выделенного сигнала 1 Гц, соответствующего бортовой или системной шкале, относительно шкал каждого из сличаемых эталонов. По результатам измерений формируются файлы установленного формата CGGTTS v.2, где отражается информация о номере спутника, его угле возвышения и азимуте, времени начала и продолжительности сеанса измерений, разности опорной шкалы времени (шкалы времени сличаемого эталона) с бортовой и системной шкалами времени и другая необходимая для обработки информация, доступные для обеих сторон. По данным этих файлов рассчитывается разность шкал сличаемых эталонов.

Принцип метода поясняется на рис. 4.

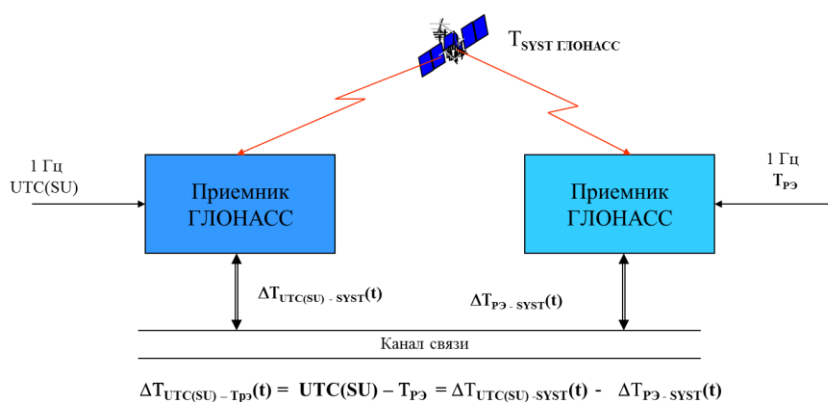


Рис. 4. Принцип дифференциального метода сличений с использованием ГЛОНАСС

Погрешность метода зависит от метрологических характеристик технических средств, условий приема и ограничена погрешностью ± 5 нс. Снижение систематической погрешности метода достигается периодической калибровкой канала сличений. Важной особенностью метода является его простота и надежность.

Метод сличений пространственно-разнесенных эталонов единиц времени и частоты с использованием дуплексного канала космической связи.

Метод сравнений шкал времени с использованием сигналов времени и частоты, передаваемых через дуплексный канал космической связи (Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer - TWSTFT) [2], является одним из самых точных методов. Высокая точность достигается путем одновременного (встречного) обмена сигналами через геостационарный телекоммуникационный искусственный спутник Земли. Благодаря использованию двунаправленного канала соответствующие задержки сигналов при расчете конечных результатов взаимно компенсируются. Значительным преимуществом данного метода является отсутствие необходимости точного определения координат. Основным недостатком метода заключается в больших затратах на его осуществление из-за большой стоимости самого оборудования и высокой стоимости аренды канала связи.

Принцип сравнения шкал времени дуплексным методом поясняется рис. 5.

Метод TWSTFT осуществляется путем передачи и приема радиочастотных сигналов, содержащих псевдослучайные шумовые (ПСШ) коды, модулированных с помощью модема на промежуточной частоте методом двухпозиционной фазовой манипуляции (BPSK).

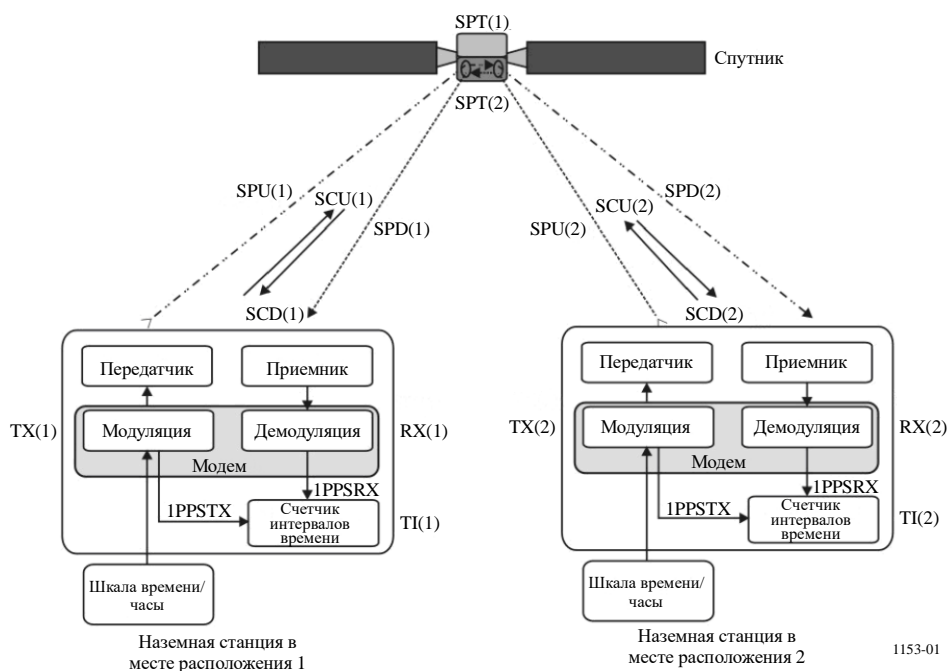


Рис. 5. Принцип сравнения шкал времени дуплексным методом

Фазовая модуляция синхронизирована с местными часами, а модем создает на выходе синхронно с последовательностью BPSK один импульс в секунду (1PPS), называемый 1PPSTX. Этот сигнал является реализацией шкалы времени, называемой TS(k). Каждая станция использует специальный ПСШ код для своей последовательности BPSK в передаваемом сигнале. Приемное оборудование создает последовательность BPSK удаленных станций и восстанавливает из принимаемого сигнала импульс сигнала времени 1PPS, называемый 1PPSRX. Разница $T(k)$ между двумя сигналами 1PPS измеряется счетчиком интервалов времени. В соответствии с предварительно согласованным расписанием пара станций захватывает на определенный период, называемый сеансом, код соответствующей удаленной станции, измеряет время прихода сигнала и сохраняет результаты. После обмена записями данных может быть вычислено различие между показателями двух часов.

Типовые характеристики метода TWSTFT следующие:

- погрешность сравнений шкал времени до 0,3 нс (неопределенность типа А);
- пределы допускаемой погрешности сравнений шкал времени территориально распределенных эталонов времени и частоты ± 1 нс (неопределенность типа В).

Метод сличения эталонов по ВОЛС с использованием АРСВ

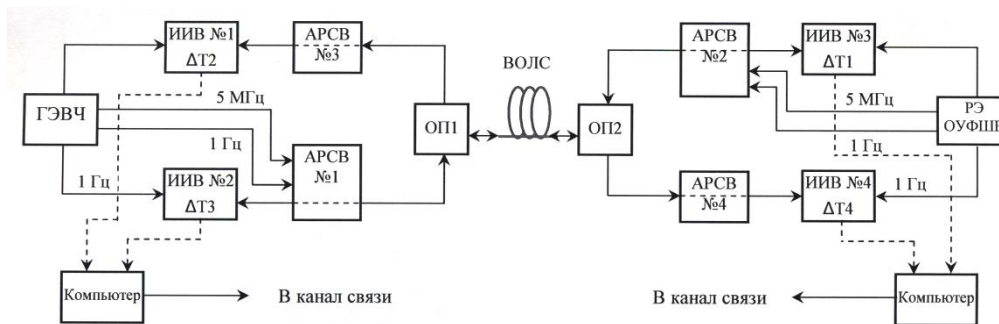
Аппаратура распределения сигналов времени (АРСВ) (ООО «АЛТО», г. С-Петербург) включается в цепи передачи дуплексных каналов связи с пропускной способностью 2048 кбит/с (E12) для обмена информацией с аналоговой аппаратурой.

Ведущий комплект АРСВ синхронизирует собственную шкалу времени и частоту встроенного кварцевого генератора по внешним опорным сигналам 5 МГц и 1 Гц, а также передает код времени, поступающий от опорного источника. Ведомый комплект синхронизирует частоту встроенного кварцевого генератора по принимаемым от ведущего комплекта АРСВ сигналам тактовой синхронизации, собственную шкалу времени – по принимаемым меткам времени и дешифрирует принимаемый код времени.

Особенностью метода сравнения шкал времени с использованием АРСВ является двунаправленность передачи меток шкал времени между сличаемыми эталонами, при котором определяется и компенсируется задержка сигнала в линии связи.

Принцип работы метода поясняется рис. 6.

При условии равенства задержек в волоконно-оптической линии связи и оптических преобразователях в прямом и обратном направлениях результат сравнения шкал времени не зависит от задержки в ВОЛС даже при её температурных изменениях.



$$T_{\text{ГЭВЧ}} - T_{\text{РЭ}} = [(\Delta T_2 - \Delta T_1) - (\Delta T_4 - \Delta T_3)]/2$$

Рис. 6. Принцип сравнения шкал времени ГЭВЧ и РЭ ОУФШВ с использованием APCB и двунаправленного волоконно-оптического канала связи

Для расчета расхождения шкал времени необходимо передавать результаты измерений ΔT_1 , ΔT_2 , ΔT_3 , ΔT_4 по каналу связи. При этом может быть использован тот же канал связи, по которому передаются метки времени. Систематическая погрешность, причиной которой может быть асимметрия задержек в APCB, оптических преобразователях и каналообразующей аппаратуре в обоих направлениях, может быть учтена калибровкой канала связи с использованием перевозимых квантовых часов.

Экспериментальные исследования по определению потенциальной точности данного метода при сравнении пространственно-разнесенных шкал времени, проведенные в 2011 году ФГУП «ВНИИФТРИ» совместно с ООО «АЛТО», показали возможность реализации погрешности, не превышающей 1-2 нс при длине выделенной ВОЛС порядка 50 км.

Метод временной синхронизации в пакетных сетях с использованием RTP протокола

Протокол прецизионного времени (Precision Time Protocol — RTP v.2) [3] позволяет с малой погрешностью передавать сигналы точного времени от главных часов к клиентским часам по асинхронной сети с пакетной передачей благодаря аппаратным средствам проставления меток времени, встроенным в маршрутизаторы и коммутаторы.

Сеть RTP строго иерархична. На вершине иерархии синхронизации располагаются так называемые «гроссмейстерские» часы (grandmaster clock), обычно подключаемые к внешнему опорному источнику, в качестве которого могут быть использованы стандарты частоты и времени или приемники GPS/ГЛОНАСС.

Особенностью РТР является то, что для синхронизации ведомых часов используются четыре сообщения (рис. 7):

Sync (синхронизация) – многоадресная рассылка от гроссмейстерских часов через каждые 2 с по умолчанию;

Follow Up (напоминание) – многоадресная рассылка метки времени T_1 ;

Delay Req (запрос задержки) – от ведомых часов гроссмейстерским;

Delay Resp (отклик задержки) — передача времени T_4 .

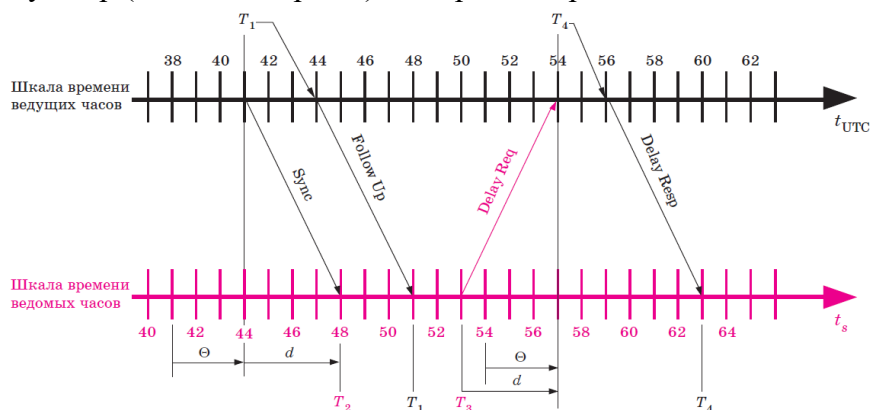


Рис. 7

В результате обработки этих четырех сообщений ведомые часы (как видно из рисунка 34, где для наглядности на шкалах времени t_{UTC} ведущих и t_s ведомых часов нанесены секундные метки) получают четыре метки времени:

- T_1, T_2 – время соответственно отправки сообщения Sync от ведущих часов и приема его ведомыми часами;
- T_3, T_4 – время соответственно отправки сообщения Delay Req от ведомых часов и приема его ведущими часами.

Односторонняя задержка передачи (исходя из предположения, что задержки в обоих направлениях одинаковы) вычисляется по формуле:

$$d = [(T_2 - T_1) + (T_4 - T_3)]/2.$$

Сдвиг шкалы времени ведомых часов относительно шкалы времени ведущих:

$$\Theta = [(T_2 - T_1) - d] = [(T_2 - T_1) - (T_4 - T_3)]/2.$$

Процедура синхронизации согласно протоколу РТР подразделяется на два этапа.

На первом этапе осуществляется коррекция разницы показаний времени между ведущими и ведомыми часами, т. е. осуществляется так называемая коррекция смещения показаний времени. Для этого ведущее устройство осуществляет передачу сообщения для целей синхронизации времени Sync ведомому устройству. Сообщение содержит в себе текущее показание времени ведущих часов, и его передача осуществляется периодически через фиксированные интервалы времени (по умолчанию через каждые 2 секунды).

Однако поскольку считывание показаний ведущих часов, обработка данных и передача через контроллер Ethernet занимает некоторое время, информация о времени в передаваемом сообщении оказывается отличной от времени ведущих часов. Поэтому осуществляется как можно более точная фиксация момента времени, в который сообщение Sync уходит от отправителя, в составе которого находятся ведущие часы (T1). Затем ведущее устройство осуществляет передачу зафиксированного момента времени передачи сообщения Sync ведомым часам (сообщение FollowUp). Те также как можно точнее осуществляют измерение момента времени приема первого сообщения (T2) и вычисляют величину, на которую необходимо выполнить коррекцию разницы в показаниях времени между собою и ведущими часами. Затем непосредственно осуществляется коррекция показаний часов в составе ведомых устройств на величину смещения. Если задержки в передаче сообщений по сети не было, то можно утверждать, что устройства синхронизированы по времени.

На втором этапе процедуры синхронизации устройств по времени осуществляется определение задержки в передаче упомянутых выше сообщений по сети между устройствами. Для этого ведомое устройство отправляет так называемое сообщение Delay Request (запрос задержки в передаче сообщения по сети) ведущему устройству и осуществляет фиксацию момента передачи данного сообщения. Ведущее устройство фиксирует момент приема данного сообщения и отправляет зафиксированное значение в сообщении Delay Response (ответное сообщение с указанием момента приема сообщения). Исходя из зафиксированных времен передачи сообщения Delay Request ведомым устройством и приема сообщения Delay Response ведущим устройством производится оценка задержки в передаче сообщения между ними по сети. Затем производится соответствующая коррекция показаний часов в ведомом устройстве. Однако все упомянутое выше справедливо, если характерна симметричная задержка в передаче сообщения в обоих направлениях между устройствами (т. е. характерны одинаковые значения в задержке передачи сообщений в обоих направлениях).

Задержка в передаче сообщения в обоих направлениях будет идентичной в том случае, если устройства соединены между собой по одной линии связи и только. Если в сети между устройствами имеются коммутаторы или маршрутизаторы, то симметричной задержка в передаче сообщения между устройствами не будет, поскольку коммутаторы в сети осуществляют сохранение тех пакетов данных, которые проходят через них, и реализуется определенная очередность их передачи. Эта особенность может, в некоторых случаях, значительным образом влиять на величину задержки в передаче сообщений (возможны значительные отличия во временах передачи данных). При низкой информационной нагрузке сети этот эффект оказывает малое влияние, однако при высокой информационной нагрузке указанное может значительным образом повлиять на точность синхронизации времени. Для исключения больших погрешностей был предложен специальный метод и введено понятие граничных часов, которые реализуются в составе коммутаторов сети. Данные граничные часы синхронизируются по времени с часами ведущего устройства. Далее коммутатор по каждому порту является ведущим устройством для всех ведомых устройств, подключенных к его портам, в которых осуществляется соответствующая синхронизация часов. Таким образом, синхронизация всегда осуществляется по схеме точка-точка и характерна практически одинаковой задержкой в передаче сообщения в прямом и обратном направлении, а также практическая неизменность этой задержки по величине от одной передачи сообщения к другой.

Во второй версии протокола RTRv2 был также предложен механизм использования т. н. прозрачных часов. Данный механизм предотвращает накопление погрешности, обусловленной изменением величины задержек в передаче сообщений синхронизации коммутаторами и предотвращает снижение точности синхронизации в случае наличия сети с большим числом каскадно-соединенных коммутаторов. При использовании такого механизма передача сообщений синхронизации осуществляется от ведущего устройства ведомому, как и передача любого другого сообщения в сети. Однако когда сообщение синхронизации проходит через коммутатор, фиксируется задержка его передачи коммутатором. Задержка фиксируется в специальном поле коррекции в составе первого сообщения синхронизации Sync или в составе последующего сообщения FollowUp. При передаче сообщений Delay Request и Delay Response также осуществляется фиксация времени задержки их в коммутаторе. Таким образом, реализация поддержки т. н. прозрачных часов в составе коммутаторов позволяет компенсировать задержки, возникающие непосредственно в них.

Для осуществления синхронизации все устройства сети должны поддерживать протокол IEEE 1588v2.

Возможные реализации методов синхронизации ОУФШВ ССОП с использованием эталонной базы ГСВЧ

Синхронизация ОУФШВ ССОП с использованием дифференциального метода сличений эталонов через КНС ГЛОНАСС

Возможные решения по синхронизации опорного узла формирования шкалы времени ССОП в первую очередь зависят от аппаратного состава входящего в его состав рабочего эталона времени и частоты. Наиболее распространенным является использование в качестве рабочего эталона первичных эталонных генераторов (ПЭГ), содержащих в своем составе пассивные водородные или промышленные цезиевые стандарты частоты и времени, не имеющие возможности внешней синхронизации. При этом для решения поставленной задачи возможно работать только с выходными сигналами стандартов путем изменения их частоты и временного положения с помощью специально предназначенных для этого устройств. Одним из таких устройств, широко используемых в ГСВЧ и международных службах времени и частоты, является генератор для прецизионного ввода отстроек по частоте и фазе HROG-5 фирмы SDI.

HROG-5 содержит в своем составе синхронизируемый по внешней опорной частоте генератор и позволяет вводить прецизионную коррекцию сигнала по фазе и частоте, что даёт возможность поддерживать значение частоты формируемого на выходе прибора сигнала 5 МГц близким к номиналу, не прибегая к регулировкам непосредственно стандартов частоты, а также устанавливать требуемое значение временного положения выходного сигнала 1 Гц. Разрешающая способность прибора при вводе коррекции по фазе (временному положению) составляет 0,3 фс, по частоте – $5 \cdot 10^{-19}$. Рис. 8 поясняет принцип синхронизации рабочего эталона ОУФШВ с использованием метода дифференциальных сличений с ГЭВЧ через КНС ГЛОНАСС

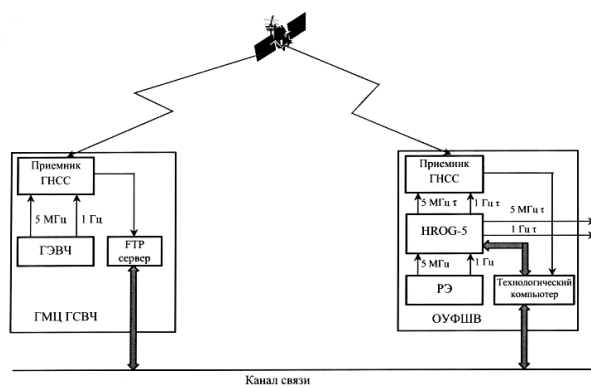


Рис. 8. Принцип синхронизации рабочего эталона ОУФШВ с использованием метода дифференциальных сличений с ГЭВЧ через КНС ГЛОНАСС

При использовании этого метода не обязательно иметь специальный канал связи между ГЭВЧ (ВЭВЧ) и ОУФШВ. Достаточно иметь выход в Интернет технологическому компьютеру ОУФШВ. Для повышения точности дифференциальных сличений желательно на обоих пунктах иметь однотипные многоканальные приемники КНС, формирующие по результатам измерений файлы установленного формата CGGTTS v.2. Посеансные результаты измерений за каждые сутки в ГЭВЧ, а также в местах расположения вторичных и рабочего эталона, входящих в ГСВЧ, доступны на FTP сервере ФГУП «ВНИИФТРИ». Программное обеспечение технологического компьютера ОУФШВ может считывать необходимые для определения расхождения шкал времени и поправки по частоте данные с FTP сервера, а также файлы, формируемые собственным приемником КНС. Усредненная разность измерений по одновременным сеансам и одноименным спутникам позволяет рассчитывать расхождение временного положения сигнала 1 Гц на выходе HROG-5 относительно UTC(SU) и, по результатам серии измерений, поправку на частоту выходного сигнала 5 МГц HROG-5 и выдавать соответствующие команды управления на HROG-5, позволяющие поддерживать формирование выходных сигналов HROG-5, совпадающих с UTC(SU) по частоте и временному положению с заданной точностью.

Синхронизация ОУФШВ ССОП по волоконно-оптическому каналу связи с использованием аппаратуры распределения сигналов времени АРСВ

Схема, реализующая синхронизацию РЭ ОУФШВ по волоконно-оптическому каналу связи с использованием АРСВ, представлена на рис. 9.

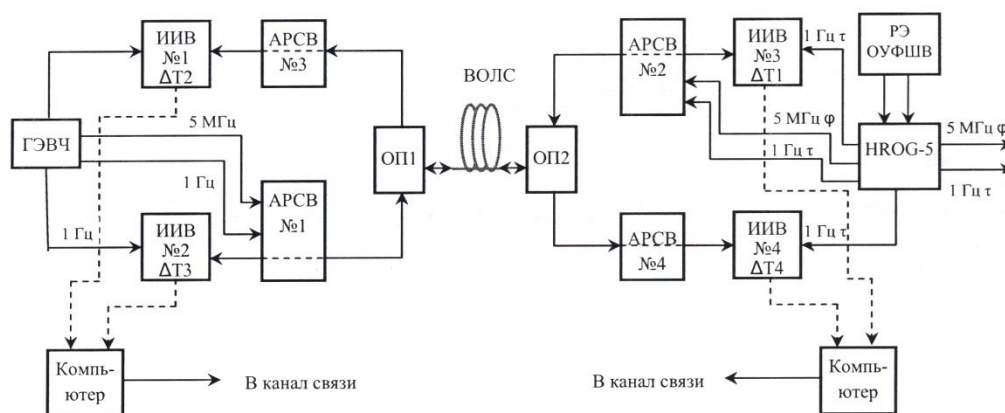


Рис. 9. Схема синхронизации РЭ ОУФШВ с использованием АРСВ и двунаправленного волоконно-оптического канала связи

Схема, представленная на рис. 10, отличается от представленной на рис. 7 наличием генератора прецизионной отстройки по частоте и фазе HROG-5. Специальное программное обеспечение технологического компьютера ОУФШВ, считывая данные измерений собственных измерителей интервалов времени $\Delta T1$ и $\Delta T4$ и получая по каналу связи данные измерений $\Delta T2$ и $\Delta T3$ на стороне ГЭВЧ, позволяет рассчитывать расхождение временного положения сигнала 1 Гц на выходе HROG-5 относительно UTC(SU) и, по результатам серии измерений, поправку на частоту выходного сигнала 5 МГц HROG-5 и выдавать соответствующие команды управления HROG-5, позволяющие поддерживать формирование выходных сигналов HROG-5, совпадающих с UTC(SU) по частоте и временному положению с заданной точностью.

Синхронизация ОУФШВ ССОП по каналу связи с использованием РТР протокола

При наличии канала связи между ГЭВЧ или ВЭВЧ и ОУФШВ, удовлетворяющего требованиям протокола РТР v2 (IEEE1588-2008), можно использовать соответствующее оборудование для синхронизации рабочего эталона ОУФШВ. Для этого в местах расположения ГЭВЧ или ВЭВЧ должны быть размещены ведущие часы (гранд-мастер по терминологии РТР), опорными сигналами для которых являются сигналы ГЭВЧ (ВЭВЧ), а в качестве рабочего эталона ОУФШВ должны использоваться не ПЭГ, а «граничные» часы, получающие время ведущих часов и передающих его по пакетной сети ведомым часам, используя протокол РТР (рис. 10).

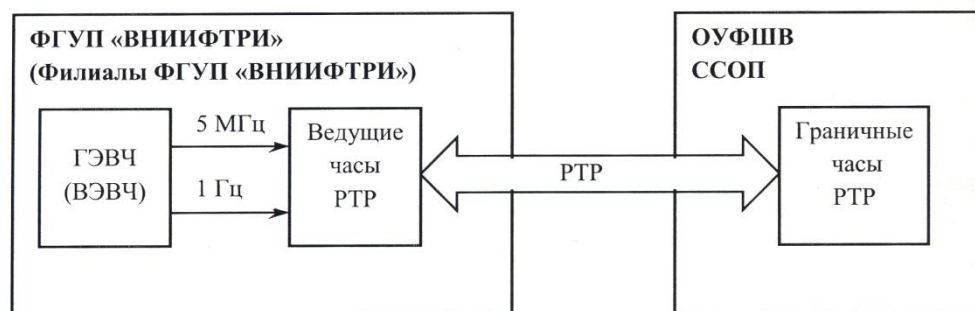


Рис. 10. Синхронизация ОУФШВ с использованием РТР протокола

Недостатком метода является необходимость организации канала связи с каналобразующим оборудованием, удовлетворяющим требованиям протокола РТР v2.

При необходимости синхронизации рабочего эталона не только по времени, но и по частоте, возможна комбинация методов синхронного Ethernet, при котором сигналы тактовой синхронизации передаются на физическом уровне, и PTP.

Литература

1. Recommendation ITU-T G.8271/Y.1366 02/2012.
2. Recommendation ITU-R TF.1153-3 The operational use of two-way satellite time and frequency transfer employing pseudorandom noise codes, 03/2010.
3. IEEE1588-2008 - IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems, Edition: 2008.