

# Синхронизация времени на подстанциях

Государственные первичные атомные эталоны времени, которые являются хранителями самого понятия «секунда» и вокруг которых возведены целые институты, обеспечивают отклонение частоты не более  $10^{-14}$ – $10^{-15}$ , то есть ошибка в 1 секунду будет накапливаться на протяжении 30 миллионов лет. Разумеется, столь высокая точность не нужна в большинстве приложений, в том числе – в системах автоматизации подстанций (ПС). Но какая же точность требуется от систем времени, контролирующей работу ПС? Что стоит за сухими цифрами технических требований и насколько они оправданны? А самое главное, соответствуют ли им внутренние часы интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ) и позволяют ли они соотносить значения и события во времени настолько точно, насколько это необходимо для ведения режимов в реальном времени, анализа текущих процессов, регистрации аварий и учета электроэнергии?

Эта статья посвящена требованиям к точности синхронизации часов электронного оборудования, работающего в автоматизированных системах управления подстанций.

Согласно современным требованиям, предъявляемым к синхронизации времени в автоматизированных системах учета электроэнергии (АИИС КУЭ), синхронизация времени в приборах учета должна выполняться с точностью не хуже  $\pm 5$  секунд в сутки. Такая точность вполне достаточна, так как не вызовет существенного искажения объема учтенной электроэнергии за расчетный период.

К автоматизированным системам управления подстанций (АСУ ТП) требования существенно строже: точность синхронизации устройств должна быть не хуже 1 мс – это необходимо для фиксации меток времени событий (изменение состояния коммутационных аппаратов, сигналов срабатывания защит и автоматики и пр.).

В сетях передачи данных АСУ ТП для синхронизации времени, как правило, используют протокол NTP (SNTP) или синхронизацию по выделенным линиям (PPS, IRIG).

Протокол сетевого времени NTP и его вариант SNTPv4 (Simple Network Time Protocol, RFC 4330) обеспечивает точность порядка 1–10 мс. Для большей части электронного оборудования этого достаточно, но гарантировать более высокую точность по протоколу NTP невозможно из-за непредсказуемых сетевых задержек.

На примере многофункционального измерительного преобразователя ЭНИП-2 проверим, насколько точно синхронизируются устройства по SNTP. Для этого соберем схему, представленную на Рис. 1.

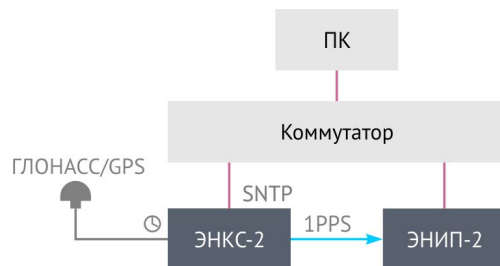


Рис. 1. Схема измерения точности синхронизации времени измерительного преобразователя ЭНИП-2 с помощью блока коррекции времени ЭНКС-2

ЭНИП-2 синхронизируется по сети от блока коррекции времени ЭНКС-2. Одновременно выход PPS блока коррекции времени ЭНКС-2 через транзисторный ключ подключается к дискретному входу синхронизируемого ЭНИП-2.

Оценка точности синхронизации ЭНИП-2 определяется по присвоенной метке времени срабатывания дискретного входа от PPS. Фронт сигнала PPS составляет 500 мс. Результат опыта фиксируется по данным в журнале событий дискретных сигналов ЭНИП-2 (рис. 2), который показывает, что незагруженная локальная сеть и протокол SNTP вполне уверенно обеспечивают точность не хуже 1 мс.

№	Событие	Описание	Метка времени UTC	Состояние ТС	Флаги ТС
1	DIO9 -> OFF	HW TS1 DC	22.05.2019 12:00:12:500	0x00000000	
2	DIO9 -> ON	HW TS1 DC	22.05.2019 12:00:11:999	0x00000100	
3	DIO9 -> OFF	HW TS1 DC	22.05.2019 12:00:11:500	0x00000000	
4	DIO9 -> ON	HW TS1 DC	22.05.2019 12:00:10:999	0x00000100	
5	DIO9 -> OFF	HW TS1 DC	22.05.2019 12:00:10:500	0x00000000	
6	DIO9 -> ON	HW TS1 DC	22.05.2019 12:00:09:999	0x00000100	
7	DIO9 -> OFF	HW TS1 DC	22.05.2019 12:00:09:499	0x00000000	
8	DIO9 -> ON	HW TS1 DC	22.05.2019 12:00:09:000	0x00000100	

Рис. 2. Оценка точности синхронизации ЭНИП-2 по меткам времени в журнале событий

Более высокие требования к синхронизации времени предъявляются на цифровых подстанциях (ЦПС) и в системах мониторинга переходных режимов (СМПР).

Устройства ЦПС, являющиеся публикаторами Sampled Values (СТО 56947007-29.240.10.265-2019 «Общие требования к метрологическому контролю измерительных каналов ЦПС») и образующие шину процесса, должны быть синхронизированы с точностью в 1 мкс.

Устройства синхронизированных векторных измерений, входящие в состав СМПР, также должны быть синхронизированы с точностью 1 мкс (СТО 59012820.29.020.011-2016 «Релейная защита и автоматика. Нормы и требования»).

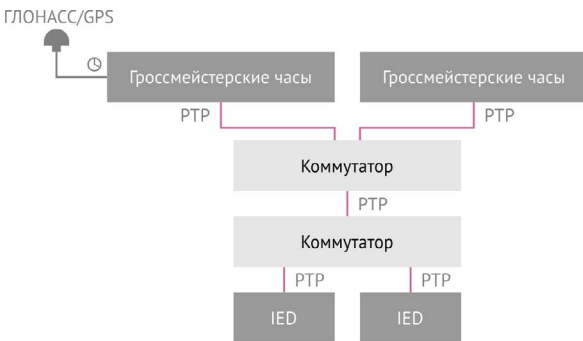


Рис. 3. Пример локальной сети с синхронизацией часов устройств (IED) по PTPv2

Для достижения точности синхронизации с точностью в 1 мкс обычно используют выделенные каналы (IEC 61869-9, п.6.904.1) по протоколам IRIG и сигналам PPS. Однако стандарт IEC/IEEE 61850-9-3 предлагает более эффективный и удобный способ синхронизации вышеуказанных систем – синхронизацию времени по сети Ethernet с применением протокола PTPv2 (IEEE 1588–2008).

В сети с поддержкой PTPv2 принята топология ведущего и ведомых устройств, где подчиненные часы синхронизируются с главными «гроссмейстерскими» часами (Рис. 3). Гроссмейстерские часы, как правило, синхронизируются от приемников GPS/ГЛОНАСС. Протокол PTPv2 дает возможность точно учитывать задержку распространения пакетов в сети Ethernet. Для этого при построении сети применяются Ethernet-коммутаторы с поддержкой PTP, так называемые прозрачные часы, которые учитывают задержку времени на передачу PTP-пакета далее по маршруту, изменяя при этом содержимое пакета.

Для PTPv2 разработаны различные профили. Профиль для электроэнергетики (Power Profile) первоначально был описан в документе IEEE C37.238-2011. В последствии профиль Power Profile Utility был представлен в IEC/IEEE 61850-9-3:2016. Текущая редакция профиля Power Profile для электроэнергетики описана в стандарте IEEE C37.238-2017, который решает проблемы совместимости первой редакции Power Profile с Power Profile Utility.

Таким образом, применение PTPv2 для синхронизации устройств в сети связано и с правильным

проектированием (количество коммутаторов, топология, количество гроссмейстерских часов и т.д.), и с корректностью настроек устройств (выбор профиля или настройка конкретных параметров). Только в этом случае гарантирована точность не хуже  $\pm 1$  мкс.

Теперь попробуем разобраться, отчего на цифровой подстанции так важна точность не хуже 1 мкс и как можно проверить такую точность синхронизации времени в конечном устройстве?

Предварительно выскажем мнение: в случае с преобразователями аналоговых сигналов возможна только косвенная оценка – по погрешности измерения абсолютного угла.

Обычно представление о том, что система синхронизации работает в соответствии с нормативными требованиями, основано на параметрах применяемого источника синхронизации. То есть пользователь имеет сертифицированный источник времени (средство измерения), но фактически оценить точность синхронизации времени в устройствах способен лишь косвенно и часто без возможности получить конкретные цифры.

В свою очередь, РТР позволяет проверить работу системы синхронизации и связанной с ней сетевой инфраструктуры, для чего применяются эталонные приемники протокола РТРv2 с выходами PPS. Но об этом чуть позже.

Для начала определим, какие погрешности могут возникнуть при проблемах с определением времени выборки (sampled values – SV). Например, для SV256 замена значения выборки на соседнюю в случайном порядке дает погрешность по RMS до 0,25 %. Это равнозначно отклонению времени измерений на величину от -78,125 до +78,125 мкс.

Такое поведение средства измерения оказало бы заметное влияние на амплитуду гармоник высокого порядка. Однако здесь мы описали чисто теоретическую ситуацию, а фактически если измерения начнут отставать из-за точности синхронизации, то выборки будут сдвигаться все вместе (то есть измеренные значения будут сдвинуты относительно реальной кривой оцифрованного сигнала на одинаковое время).

Традиционные электромагнитные трансформаторы тока и напряжения подключены непосредственно к измерительным приборам (терминалам, IED), измерительная информация от ТТ и ТН поступает

в реальном времени процесса. На цифровой подстанции измерительная информация передается только в цифровом виде, а значит, чтобы сопоставить полученные SV от разных ПАС, необходимо как минимум синхронизировать их внутренние часы (привязать к одной системе отсчета, например, к всемирному координированному времени UTC). В ПАС необходимо запускать АЦП в моменты времени, строго соответствующие выбранному значению SV, а затем маркировать измерения (SmpCnt). В таком случае ПАС будут делать выборки в условно одинаковые моменты времени (с погрешностью синхронизации). Однако передаваемые выборки доставляются до подписчиков SV с задержками, определяемыми быстродействием ПАС, характеристиками и режимом работы локальной сети. Устройства, подписанные на SV, упорядочивают полученные значения по значению SmpCnt, тем самым «восстанавливают» во времени кривые сигналов друг относительно друга. Ошибка синхронизации времени ПАС в 1 мкс соответствует абсолютной погрешности, равной 1,08 угловых минут.

Таким образом, точность синхронизации времени в устройствах ПАС напрямую влияет на их угловую погрешность, от которой в свою очередь зависит измерение мощности, учет электроэнергии, точность векторных измерений в устройствах подписчиках SV.

Стандарт IEC 61869-9 требует, чтобы при потере синхронизации времени поток SV выдавался с точностью 1 мкс в течение 5 секунд. Переход с одних гроссмейстерских часов на другие, как правило, занимает не более 3 секунд (3 интервала announce frame), а значит, во время смены источника синхронизации качество потока Sampled Values не должно изменяться.

Заметим, что точность в 1 мкс исключительно важна именно для публикаторов SV, а для приемников SV (счетчики, устройства контроля параметров качества, РЗА, РАС) допустима синхронизация с точностью 1 мс (например, NTP), поскольку сам поток SV уже несет информацию о времени в пределах 1 секунды (SmpCnt).

Исходя из сказанного выше, логично утверждать, что в процессе наладки и сдачи в эксплуатацию цифровой подстанции следует уделять особое внимание проверке системы синхронизации времени. Для этого на исследуемом участке сети (например, на самом удаленном, который находится за максимальным количеством коммутаторов от гроссмейстерских часов) необходимо принять сигнал РТР и сравнить с эталонным значением всемирного координированного

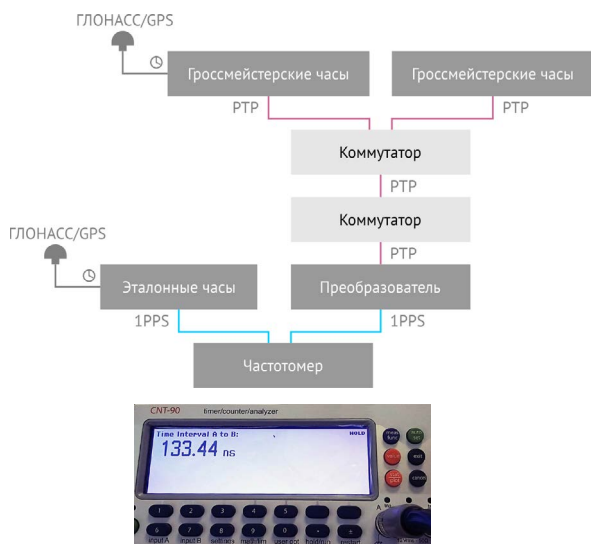


Рис. 4. Тестирование сети сравнением сигналов PPS

времени:

- используя эталонное устройство с приемником GPS/ГЛОНАСС, которое также может принять PTP-сигнал и определить погрешность синхронизации;
- используя эталонное устройство с приемником GPS/ГЛОНАСС и импульсным выходом (PPS), преобразователь сигналов PTP в PPS и осциллограф для сравнения двух сигналов PPS (рис. 4).

Если точность синхронизации в результате проверки окажется не хуже 1 мкс, значит, можно сделать вывод, что сеть организована и настроена правильно. Если в дальнейшем сеть не будет перестроена, то можно допустить, что со временем точность синхронизации не изменится.

Заметим, что источники SV – ПАС, как правило, не имеют выхода PPS, поэтому определить погрешность синхронизации в этих устройствах напрямую невозможно. Обратимся к стандарту на устройства сопряжения IEC 61869-13, который в п. 5.6 поясняет: «Требования к точности SAMU (ПАС) напрямую включают все погрешности, связанные с синхронизацией времени». То есть угловая погрешность напрямую зависит от погрешности синхронизации времени и, следовательно, судить о

точности синхронизации устройства можно только косвенно – по угловой погрешности.

Стандарт IEC 61869-13 устанавливает различные классы точности для измерительных каналов тока и напряжения. Например, для такого распространенного класса точности, как 0,2, по угловой погрешности напряжения требуется уложиться в 10 угловых минут. Это значение включает и возможную погрешность синхронизации, которая при требовании к точности синхронизации 1 мкс (1,08 угловых минуты) составляет 1,08 % от общей погрешности.

Для чрезвычайно точного класса 0,05, которому в настоящее время могут соответствовать только лабораторные установки, это уже 2,5 угловых минуты. Доля погрешности синхронизации для класса 0,05 составит уже 43,2 % от общей погрешности. Учитывая, что серийное измерительное устройство необходимо проверять, то есть должен существовать эталонный генератор аналогового сигнала с точностью выше в несколько раз, чем проверяемое устройство, то выпуск измерительных устройств с классом точности 0,05 представляет собой экономически неоправданную задачу. Перейти на класс 0,05 может помочь в том числе и повышение точности синхронизации, что в свою очередь может дать больший запас по погрешности на измерения

В заключение сделаем следующие выводы:

- синхронизация времени чрезвычайно важна для обеспечения точности измерения на цифровых подстанциях;
- оценка точности системы синхронизации времени может быть осуществлена с помощью эталонных приемников сигналов синхронизации с импульсными выходами и должна проводиться в рамках приемо-сдаточных испытаний системы.

Сеитов П.В., Плакидин Р.С., Бовыкин В.Н.

тел.: (8182) 64-6000, e-mail: ed@ens.ru, www.enip2.ru

инженерный центр  
**энергосервис**