

*Первичные эталоны времени способны обеспечить отклонение частоты не более  $10^{-14}$ – $10^{-15}$ , то есть ошибку не более 1 секунды за 30 млн. лет. А какие требования к точности синхронизации с национальной шкалой времени предъявляются в системах автоматизации подстанций? Что стоит за сухими цифрами технических требований, насколько они оправданы? Позволяют ли заданные пределы синхронизации внутренних часов интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ) соотносить значения и события во времени настолько точно, насколько это необходимо для ведения режимов в реальном времени, анализа текущих процессов, регистрации аварий, учета электроэнергии?*

# СИНХРОНИЗАЦИЯ ВРЕМЕНИ НА ПОДСТАНЦИЯХ: ТРЕБОВАНИЯ К ТОЧНОСТИ, ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ



**Павел Сеитов**

Начальник отдела технической поддержки  
ООО «Инженерный центр «Энергосервис»



**Роман Плакидин**

Ведущий инженер по метрологии  
ООО «Инженерный центр «Энергосервис»

Рассмотрим, какие требования предъявляются к точности синхронизации часов ИЭУ, применяемых в автоматизированных системах управления подстанций.

АИИС КУЭ должна обеспечивать синхронизацию времени от источника точного времени при проведении измерений количества электроэнергии с точностью не хуже  $\pm 5,0$  с (Приложение 11.1 к «Положению о порядке получения статуса субъекта оптово-

го рынка»). Очевидно, что в случае применения традиционных средств учета (микропроцессорные счетчики) указанная погрешность не окажет существенного влияния на объем учтенной электроэнергии за расчетный период.

Требования к АСУ ТП ПС явно указывают (СТО 56947007-29.240.10.256-2018), что точность синхронизации устройств должна быть не хуже 1 мс – такая точность нужна для фиксации меток времени событий (изменение состояния коммутационных аппаратов, сигналы срабатывания защит и автоматики), в меньшей степени – для измерений. Для синхронизации времени в сети Ethernet АСУ ТП, как правило, используют протокол NTP (SNTP) или синхронизацию по выделенным линиям (PPS, IRIG).

NTP и его вариант SNTPv4 (Simple Network Time Protocol, RFC 4330) обеспечивает точность порядка 1–10 мс. Этого достаточно для большинства интеллектуальных электронных устройств, но гарантировать более высокую точность по NTP не представляется возможным из-за непредсказуемых сетевых задержек.

На примере многофункционального измерительного преобразователя ЭНИП-2 проверим, насколько точно синхронизируется устройство по SNTP, и с какой точностью фиксируются события. Для этого соберем схему, изображенную на рис. 1.

С помощью блока коррекции времени осуществляется синхронизация электронного устройства по протоколу SNTP. Через транзисторный ключ производится подключение выхода «PPS» блока коррекции времени к дискретному входу синхронизируемого устройства. Таким образом, приблизительная точность синхронизации устройства рассчитывается как разность между меткой времени срабатывания дискретного сигнала от «PPS» – сигнала и меткой времени, полученной синхронизируемым устройством по протоколу SNTP. Результат испытания представлен на рис. 2.

Фронт сигнала PPS составляет 500 мс. Из результатов опыта видно, что в ненагруженной трафиком сети SNTP вполне уверенно обеспечивает точность не хуже 1 мс.

Цифровая подстанция, а также системы мониторинга переходных режимов (СМНР) повышают требование

до микросекундной точности синхронизации устройств сопряжения с шиной процесса. В целом для ЦПС принято считать, что устройства уровня подстанции должны быть синхронизированы с точностью до 1 мс, а устройства, работающие на шину процесса (генерация SV потоков), должны быть синхронизированы с точностью до 1 мкс (СТО 56947007-29.240.10.265-2019 «Общие требования к метрологическому контролю измерительных каналов ЦПС», СТО 59012820.29.020.011-2016 «Релейная защита и автоматика. Устройства синхронизированных векторных измерений. Нормы и требования»).

Для обеспечения такой точности также могут использоваться выделенные каналы (по протоколам IRIG и сигналам PPS), но IEC/IEEE 61850-9-3 предлагает более эффективный и удобный способ – синхронизации по сети Ethernet с применением протокола PTPv2 (IEEE 1588—2008).

PTPv2 использует сеть Ethernet и топологию главного-подчиненного устройства, в которой все подчиненные часы синхронизируются от единых для всех часов, называемых гроссмейстерскими (их может быть несколько в сети). Гроссмейстерские часы обычно синхронизируются от приемников

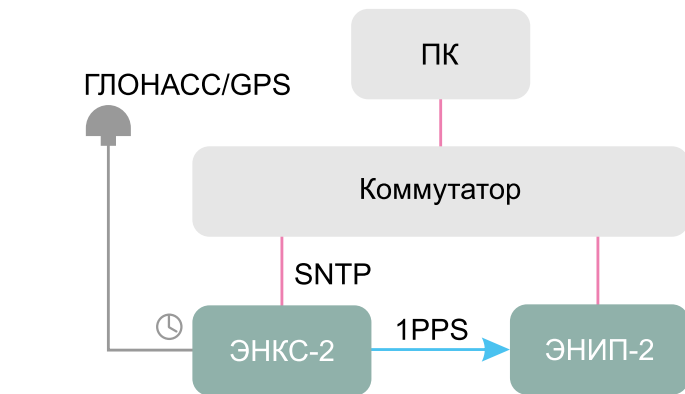


Рис. 1. Схема проверки точности синхронизации и фиксации меток времени в ЭНИП-2

GPS/ГЛОНАСС. PTPv2 позволяет точно учитывать задержку распространения пакетов в сети Ethernet. При построении сети применяются Ethernet-коммутаторы с поддержкой PTP, так называемые прозрачные часы. Прозрачные часы добавляют свои метки времени в PTP-пакеты на входе и выходе. С этого момента время пребывания пакета внутри коммутатора рассчитывается и добавляется в поле соответствующего пакета данных или последующее сообщение.

PTP довольно общий стандарт, конкретизировать который призваны специальные профили, разработанные для разных отраслей. Профиль для электроэнергетики, названный Power Profile, первоначально

был описан в документе IEEE C37.238-2011. При разработке серии стандартов IEC 61850 был представлен профиль Power Profile Utility в документе IEC/IEEE 61850-9-3:2016. Не так давно вышла новая редакция профиля Power Profile для электроэнергетики – IEEE C37.238-2017 призванная решить проблемы совместимости первой редакции Power Profile с Power Profile Utility.

В оборудовании тот или иной профиль может явно задаваться в настройках или назначаться путем настройки отдельных параметров. Т.е. при построении сети с PTP в соответствии с определенным профилем нужно обращать внимание на подробности реализации PTP в применяемых устройствах.

№	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	
9	DIO9 -> OFF	HW TS1 DC	22.05.2019 12:00:08:500	0x00000000	

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

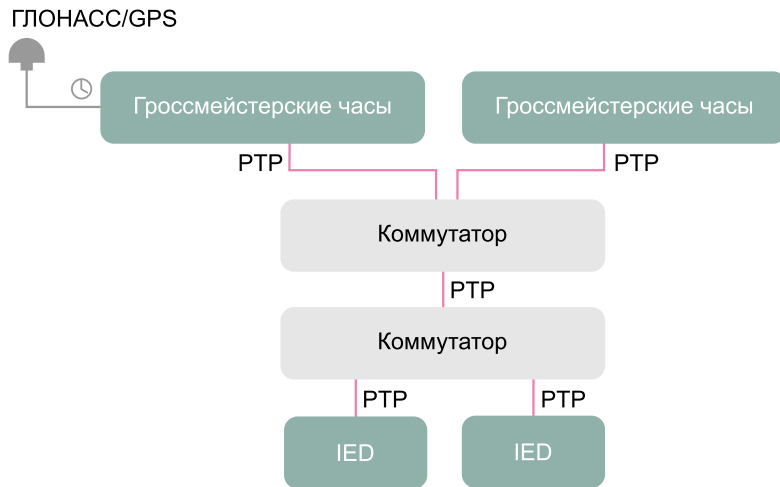


Рис. 3. Структурная схема синхронизации устройств по локальной сети с поддержкой PTPv2

Стандарт на объединяющие устройства (преобразователи аналоговых сигналов) IEC 61869-9 (п.6.904.1) уточняет:

«Объединяющее устройство (merging unit) может использовать (для синхронизации часов) один импульс в секунду (1PPS) или PTP. В любом случае точность синхронизации времени (средняя ошибка относительно абсолютного времени), как ожидается, будет лучше, чем  $\pm 1$  мкс».

Т.е. использование протокола PTP и его Power Profile, при соблюдении требований к организации сети, позволяет утверждать, что точность меток времени на входе устройства будет не хуже, чем  $\pm 1$  мкс.

Таким образом, применение PTP для синхронизации источников SV – это задача правильного проектирования и настройки сети (количество коммутаторов, топология, количество гроссмейстерских часов и т.д.), а также безусловной поддержки всеми сетевыми устройствами выбранного профиля PTP, например Power Profile. Только в этом случае гарантирована точность не хуже  $\pm 1$  мкс.

Попробуем разобраться – почему для ЦПС важна 1 мкс? Как можно проверить такую точность синхронизации времени в оконечном устройстве?

Предварительно выскажем мнение – для преобразователей аналого-

вых сигналов (ПАС) возможна только косвенная оценка, в частности, по погрешности преобразования абсолютного угла.

Обычно легитимность системы синхронизации времени основывается на параметрах применяемого источника синхронизации. Т.е. мы применяем сертифицированный источник времени (средство измерения), а фактическую оценку точности синхронизации времени в устройствах определяем косвенно, зачастую без возможности получения конкретных цифр.

В случае с PTP мы уже можем проверить работу системы синхронизации и связанной с ней сетевой инфраструктуры, используя эталонные приемники протокола PTPv2 с выходами PPS, но об этом ниже.

Для начала определим, какие погрешности могут быть при проблемах с определением времени выборки (SV, sampled values). 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 минус 78,125 мкс до плюс 78,125 мкс.

Такое поведение СИ оказывало бы заметное влияние на амплитуду гармоник высокого порядка. Однако описанная ситуация чисто теоретическая. Фактически же, если измерения будут отставать из-за точ-

ности синхронизации, то выборки будут сдвигаться все вместе (т.е. 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, требуется, 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 потоков 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 устанавливает требование – при потере син-

хронизации ПАС должен выдавать SV 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). Согласно вышеуказанному требованию на время перехода ПАС продолжит выдавать SV без ухудшения качества синхронизации потока.

Заметим, что точность в 1 мкс исключительно важно именно для публикаторов SV, а для приемников SV (счетчики, устройства контроля параметров качества, РЗА, РАС) достаточно синхронизации с точностью 1 мс (например, NTP), т.к. сам поток SV уже несет информацию о времени в пределах 1 секунды (SmrCnt). Точность в 1мс достаточна для формирования меток времени в журналах событий.

Вследствие вышесказанного логично, 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, находящемся за максимальным количеством коммутаторов от гроссмейстерских часов) необходимо принять сигнал PTP и сравнить с эталонным значением всемирного координированного времени:

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

Если точность синхронизации в результате проверки окажется не хуже 1 мкс, 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.



Рис. 4. Схема проверки локальной сети с поддержкой PTPv2

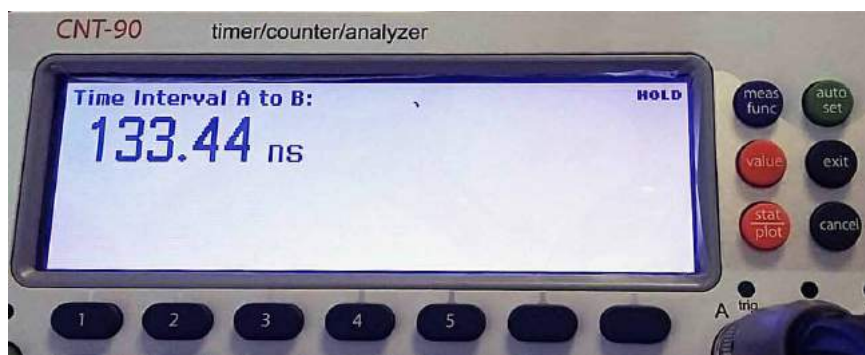


Рис. 5. Результат измерения абсолютной погрешности синхронизации

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». Т.е. угловая погрешность напрямую зависит от погрешности синхронизации времени и, следовательно, судить о точности синхронизации устройства можно только косвенно — по угловой погрешности.

IEC 61869-13 устанавливает различные классы точности для измерительных каналов тока и напряжения. Например, для такого распространенного класса точности, как 0,2, по угло-

вой 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 минут) составляет 1,08 % от общей погрешности.

## 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 ●