

Не думай о секундах с ЭНКС-2



IEEE 1588 v2 Precision Time Protocol (PTP)
SNTP, IRIG-A/B 004, PPS, SNMP
2×RS-485, 1×RS-232, 2×Ethernet 100Base-T (PRP)

Госреестр СИ № 37328-15
Гарантия 5 лет
Снижение цены – 36 000 р. без НДС

Теперь с функцией преобразования PTPv2 в PPS
По заказу поставляется как рабочий эталон 4-го разряда

Подробная информация на enip2.ru

 инженерный центр
энергосервис

Синхронизация времени на подстанциях



Государственные первичные атомные эталоны времени, которые являются хранителями самого понятия «секунда», 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?

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

ООО «Инженерный центр «Энергосервис», г. Архангельск

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 ± 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 оборудо-

вания этого достаточно, но гарантировать более высокую точность по протоколу NTP невозможно из-за непредсказуемых сетевых задержек.

На примере многофункционального измерительного преобразователя ЭНИП-2, разработанного специалистами ООО «Инженерный центр „Энергосервис“», проверим, насколько точно синхронизируются устройства по SNTP. Для этого соберем схему, представленную на рис. 1.

ЭНИП-2 синхронизируется по сети от блока коррекции времени ЭНКС-2. Одновременно выход PPS блока коррекции времени ЭНКС-2 через транзисторный ключ подклю-

чается 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.

Устройства ЦПС, являющиеся публикаторами Sampled Values (СТО 56947007-29.240.10.265-2019 «Общие требования к метрологическому конт-

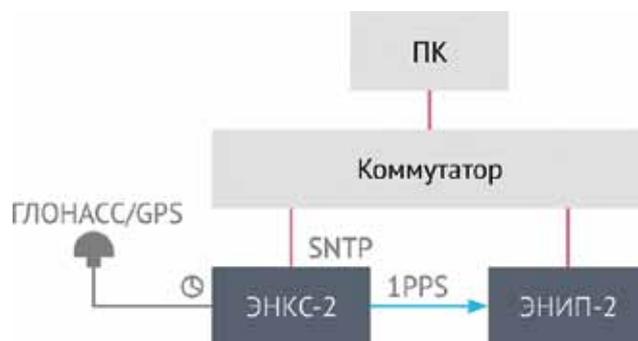


Рис. 1. Схема измерения точности синхронизации времени измерительного преобразователя ЭНИП-2 с помощью блока коррекции времени ЭНКС-2

№	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

ролю измерительных каналов ЦПС») и образующие шину процесса, должны быть синхронизированы с точностью в 1 мкс. Устройства синхронизированных векторных измерений, входящие в состав СМПП, также должны быть синхронизированы с точностью 1 мкс (СТО 59012820.29.020.011-2016 «Релейная защита и автоматика. Устройства синхронизированных векторных измерений. Нормы и требования»).

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, гросмейстерскими, часами (рис. 3). Гросмейстерские 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. Впоследствии 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 гросмейстерских часов и т.д.), и с корректностью настроек устройств (выбор профиля или настройка конкретных параметров). Только в этом случае гарантирована точность не хуже ± 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, PTP позволяет проверить работу системы синхронизации и связанной с ней сетевой инфраструктуры, для чего применяются эталонные приемники протокола PTPv2 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 оциф-

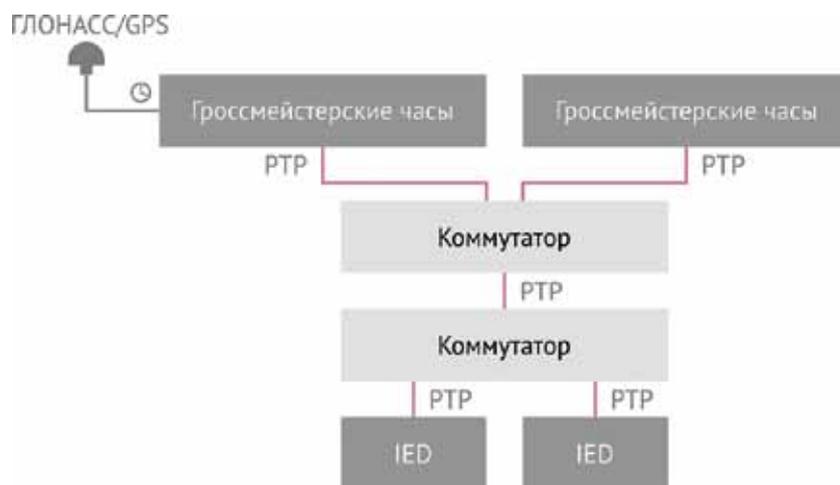


Рис. 3. Пример локальной сети с синхронизацией часов устройств (IED) по PTPv2

рованного 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 отчета, 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 относительно друг друга. Ошибка синхронизации времени ПАС в 1 мкс соответствует абсолютной погрешности, равной 1,08 угловой минуты.

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 пара-

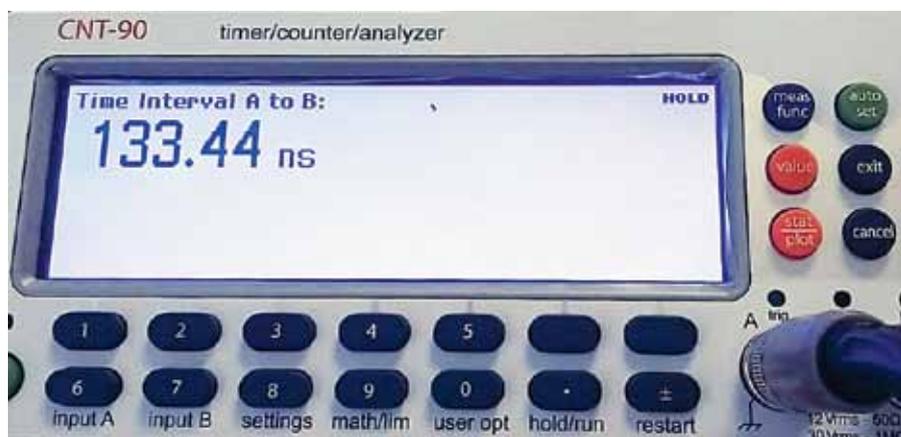


Рис. 4. Тестирование сети сравнением сигналов PPS

метров качества, РЗА, ПАС) допустима синхронизации 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 PTP и сравнить с эталонным значением всемирного координированного 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, связан-

ные 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 угловой

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 угловой минуты. Доля погрешности синхронизации для класса 0,05 составит уже 43,2% от общей погрешности. Учитывая, что серийное измерительное устройство необходимо поверять, то есть должен существовать эталонный генератор аналогового сигнала с точностью выше в несколько раз, чем поверяемое устройство, выпуск измерительных устройств с классом точности 0,05 представляет собой экономически неоправданную

задачу. Перейти на класс 0,05 способно 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.

П. В. Сеитов, начальник отдела технической поддержки,
Р. С. Плакидин, ведущий инженер по метрологии,
В. Н. Бовыкин, начальник управления производства
и сбыта микропроцессорных устройств,
ООО «Инженерный центр «Энергосервис»,
г. Архангельск,
тел.: +7 (8182) 64-6000,
e-mail: ed@ens.ru,
сайт: www.enip2.ru



26-28 мая 2020 г., Москва,
Центр Международной Торговли

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ЭНЕРГОСИСТЕМ 2020

WWW.RZA-EXPO.RU

МЕЖДУНАРОДНАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ

ОРГАНИЗАТОРЫ

НАУЧНО-
ТЕХНИЧЕСКИЙ
ПАРТНЕР

