

Экспериментальная проверка погрешности сличения шкал времени по каналам волоконно-оптической линии связи

**© В. О. Миронов, Л. Я. Белов, В. К. Кошелев,
А. А. Барский, П. Н. Паршин**

АО «РИРВ», г. Санкт-Петербург, Россия

Представлены экспериментальные данные проверки погрешности сличения шкал времени потребителей по выделенному каналу волоконно-оптической линии связи длиной 10 км и по каналам локальной вычислительной сети с помощью малогабаритной аппаратуры потребителей частотно-временной информации. Приведены схема эксперимента и его результаты, показывающие достижение СКО сличения на уровне 1.2 нс и 14.5 нс соответственно.

Ключевые слова: Сличение шкал времени, волоконно-оптические линии связи, погрешность сличения, дальность, тип кабеля, схема эксперимента, ведущий-ведомый, протокол IEEE1588v2.

На современном этапе развития точность стандартов времени и частоты постоянно растет, и возникает потребность в совершенствовании методов уменьшения погрешности синхронизации и сличения шкал времени (ШВ) территориально разнесенных комплексов до величин порядка единиц наносекунд.

Такого рода задачи возникают при дистанционном сличении шкал времени территориально разнесенных объектов, а также в связи с уязвимостью ГЛОНАСС. Создание аналогичной или близкой по точности к ГЛОНАСС системы для передачи времени и частоты является актуальной задачей резервирования сигналов единого времени для потребителя [2].

В статье представлены экспериментальные данные, полученные в ходе испытаний, проводимых на объекте заказчика, по проверке:

— средние квадратические погрешности (СКО) сличения ШВ потребителей по выделенным каналам волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) на основе комплекса средств синхронизации ШВ объектов, разнесенных на расстояниях до 10 км и оснащенных малогабаритной аппаратурой потребителей

частотно-временной информации (МАП ЧВИ) 3-го и 4-го класса точности (далее — МАП-3, МАП-4) разработки АО «РИРВ»;

— СКО сличения ШВ МАП-4 относительно ШВ МАП-3 по каналам ВОЛС, образующим локальную сеть в составе двух узлов и одного коммутатора.

Заданные показатели сличения ШВ были ориентированы на следующие значения:

- по выделенным каналам ВОЛС не более 10 нс;
- по каналам ВОЛС, образующим локальную сеть, не более 1 мкс.

Описание эксперимента

Схема подключения изделий МАП-3 и МАП-4 по проверке погрешности сличения ШВ по каналам ВОЛС объектов, разнесенных на расстояние 10 км, представлена на рис. 1.

Схема подключения изделия МАП-3 и МАП-4, по проверке погрешности сличения ШВ по каналам ВОЛС, образующим ЛВС, представлена на рис. 2.

Проверка проводилась при размещении изделий МАП-3, 4, катушки оптоволоконного кабеля длиной 10 км и коммутатора с поддержкой протокола IEEE1588v2 (или РТР — «Precision Time Protocol») на одном объекте.

Для оценки СКО сличения ШВ МАП 4 класса точности относительно ШВ МАП 3 класса точности по выделенным каналам ВОЛС и по каналам ВОЛС, образующим локальную сеть, МАП-4 был переключен в режиме автономного хранения ШВ и сличением ШВ по протоколу РТР по каналам ВОЛС.

Взаимодействие между двумя блоками сличения по каналам ВОЛС (БС ВОЛС), входящими в состав МАП-3 и МПА-4, построено по иерархическому принципу. БС ВОЛС из состава МАП-3 путём выбора режима работы назначался «ведущим» (или «master» согласно терминологии протокола IEEE1588v2 [1], [2], применяемого для синхронизации ШВ), БС ВОЛС из состава МАП-4 — «ведомым» (или «slave» в терминологии стандарта IEEE1588v2).

Оценка СКО сличения ШВ МАП-4 по отношению к ШВ МАП-3 по ВОЛС производилась при соединении двух БС ВОЛС из состава МАП-3 и МАП-4 отдельным оптическим кабелем длиной 10 км (FC-9-LC-LC-UPC ф. Hyperline), а также путём подключения БС ВОЛС к локальной вычислительной сети через сетевой коммутатор с поддержкой протокола IEEE1588v2 (РТР).

Для обеспечения сличения ШВ потребителей по выделенным каналам ВОЛС и каналам ВОЛС, образующим локальную сеть, предъявлялись следующие требования к ВОЛС и инфраструктуре, образующей локальную сеть:

- тип оптического кабеля — одномодовый 9/125 мкм, дуплексный;
- длина волны излучения — 1310 нм;
- тип оптических разъёмов — LC/UPC дуплексные;
- максимальная длина оптического кабеля между изделием и потребителями не более 10 км;
- тип применяемых сетевых коммутаторов — Ethernet;
- тип портов сетевых коммутаторов — оптические или SFP 1000Base-FX;

- пропускная способность портов сетевых коммутаторов – 1.25 Гбит/с;
- особые требования к сетевым коммутаторам – поддержка протокола RTP(IEEE1588v2);
- режим работы сетевого коммутатора в части поддержки протокола RTP(IEEE1588v2) – Boundary clock (граничные часы), двухшаговый (two-step), транспортный протокол UDP.

Измерения расхождения ШВ производились частотомером Pendulum CNT-90, работающим в режиме измерения временных интервалов, и блоком БС ВОЛС МАП-4. Входы частотомера CNT-90 «А» подключались к выходу 1 Гц МАП-3, вход «В» – к выходу 1 Гц МАП-4. Дополнительно контроль СКО сличения ШВ МАП-4 относительно ШВ МАП-3 по ВОЛС производился на экране универсальной вычислительной машины (УВМ), входящей в состав МАП-4.

БС ВОЛС подключается к выходам блоков МАП-3-БС и МАП-4-БС (из состава изделия МАП-4 и изделия МАП-3 соответственно) для получения сигналов 1 Гц, 5 МГц и информационного обмена (RS-232). Из данных сигналов БС ВОЛС формирует свою собственную ШВ, которая соответствует ШВ подключенного к нему изделия МАП-3 или изделия МАП-4.

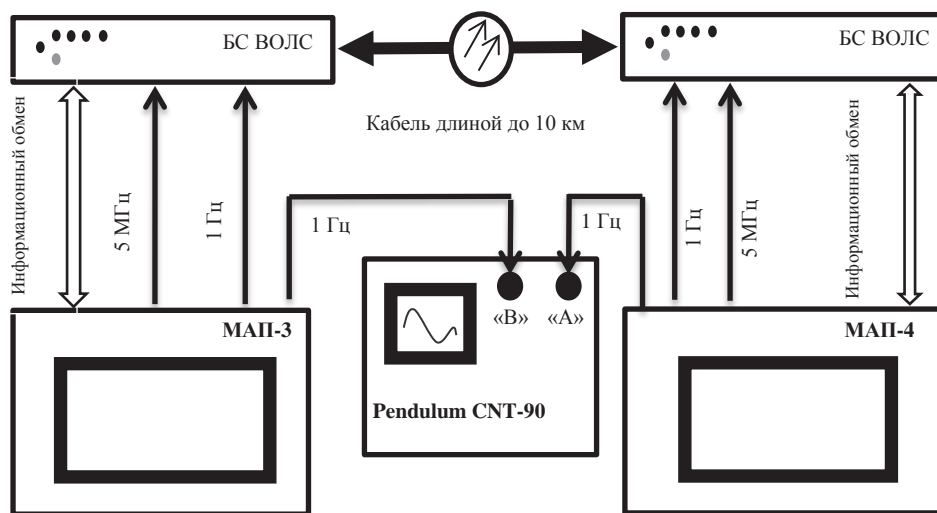


Рис. 1. Схема информационного взаимодействия двух БС ВОЛС для сличения ШВ изделия МАП-4 относительно ШВ изделия МАП-3 по выделенным каналам ВОЛС

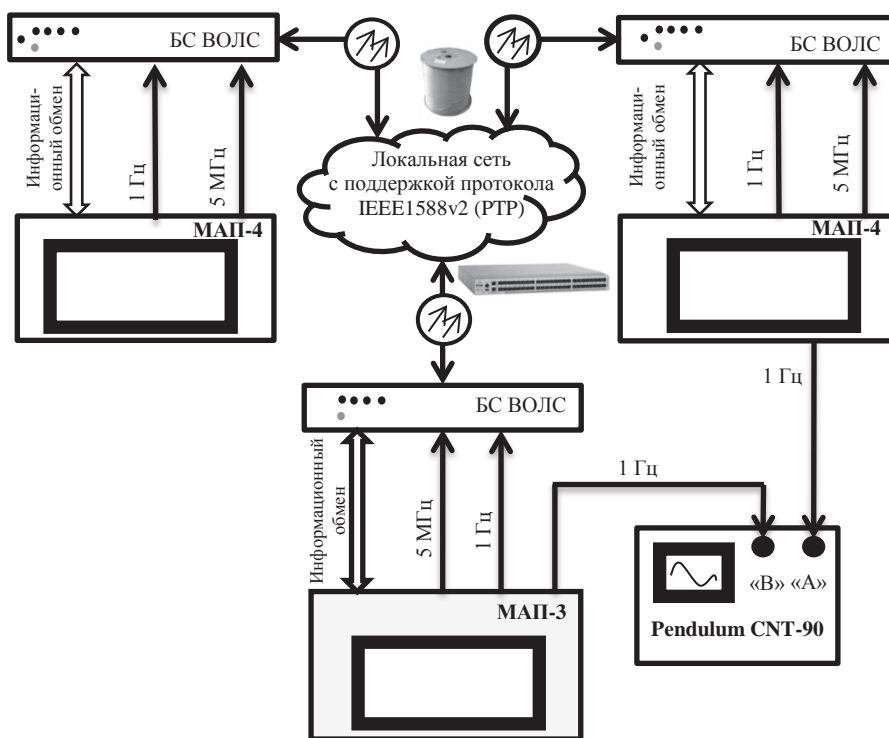


Рис. 2. Схема информационного взаимодействия трех БС ВОЛС для сличения ШВ изделия МАИ-4 относительно ШВ изделия МАИ-3, образующих локальную сеть из трех узлов и одного коммутатора

Измерения расхождения ШВ МАИ-4 относительно ШВ МАИ-3, отображаемые на экране частотомера CNT-90 и блока БС ВОЛС МАИ-4, представлены на рис. 3–5.

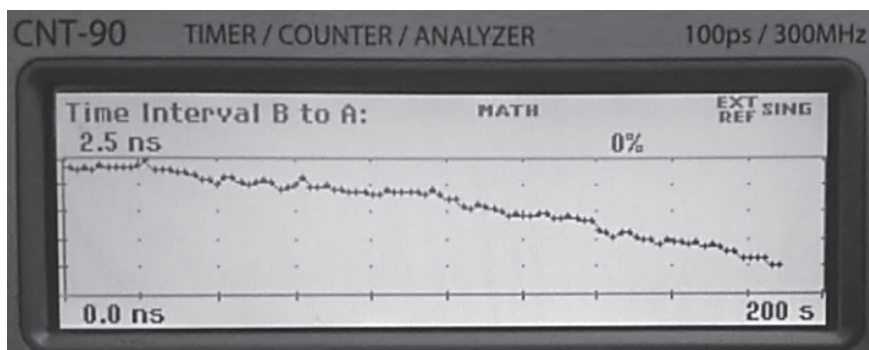


Рис. 3. Измерения расхождения ШВ МАИ-4 относительно ШВ МАИ-3 на экране частотомера CNT-90

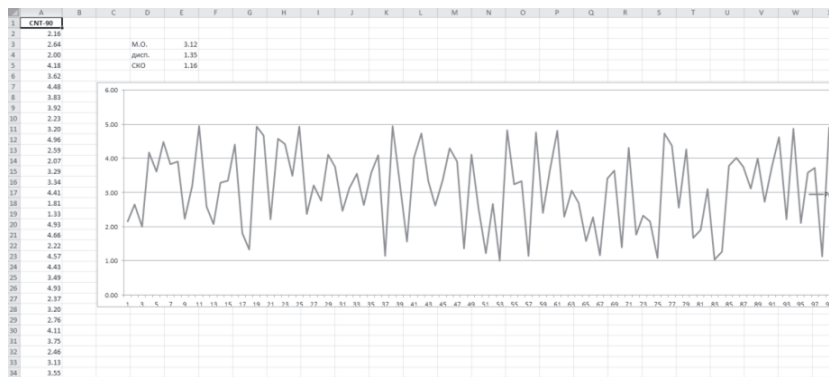


Рис. 4. Результаты сличения ШВ МАП-4 относительно ШВ МАП-3 по выделенным каналам ВОЛС (при длине оптического кабеля 10 км)

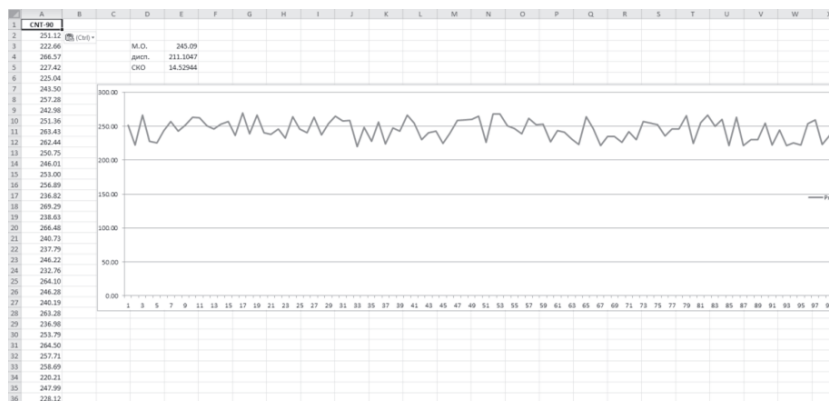


Рис. 5. Результаты сличения ШВ МАП-4 относительно ШВ МАП-3 по каналам ВОЛС, образующим локальную сеть из трех узлов и одного коммутатора

Измерения расхождения ШВ МАП-4 относительно ШВ МАП-3, отображаемые на экране УВМ из состава МАП-4, представлены на рис. 6.

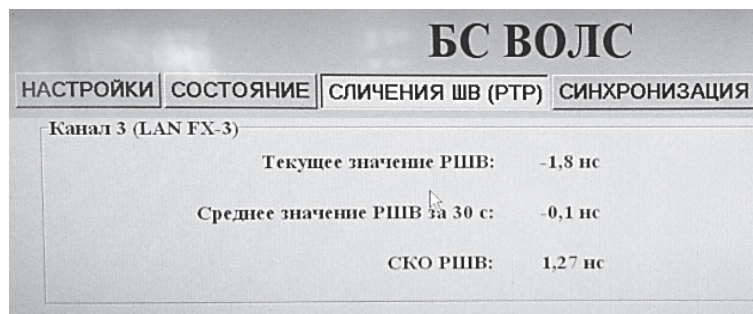


Рис. 6. Измерения расхождения ШВ МАП-4 относительно ШВ МАП-3 на экране УВМ МАП-4

Расчёт оценок составляющих погрешностей сличения производился по формулам 1 и 2 в соответствии с результатами, полученными с частотомера CNT-90 (количество измерений 100 на интервале 200 с) и с помощью БС ВОЛС МАП-3, 4:

$$\widehat{\delta}_{4-3\text{ВОЛС}} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta t_{4-3\text{ВОЛС}}(t_i) - \Delta t_{4-3\text{CNT-90}}(t_i)}{n} \quad (1)$$

$$\widehat{\sigma}_{4-3\text{ВОЛС}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta t_{4-3\text{ВОЛС}}(t_i) - \widehat{\delta}_{4-3\text{ВОЛС}})^2}{n-1}}, \quad (2)$$

где $\Delta t_{4-3\text{ВОЛС}}(t_i)$ — результаты измерений сличения ШВ МАП-4 по отношению к ШВ МАП-3, полученные с помощью блоков БС ВОЛС МАП-3,4; $\Delta t_{4-3\text{CNT-90}}(t_i)$ — результаты измерений сличения ШВ МАП-4 по отношению к МАП-3, полученные с помощью частотомера CNT-90; $\widehat{\delta}_{4-3\text{ВОЛС}}$ — среднее значение расхождения ШВ, полученное с помощью БС ВОЛС МАП-3,4; $\widehat{\sigma}_{4-3\text{ВОЛС}}$ — СКО сличения ШВ МАП-4 относительно ШВ МАП-3 с помощью БС ВОЛС МАП-3,4; n — количество результатов измерений расхождений ШВ МАП-3 по отношению к ШВ МАП-3 (100 измерений) на частотомере CNT-90 и блоках БС ВОЛС.

Результаты проверки приведены в таблице.

В результате эксперимента оценка погрешности (СКО) синхронизации ШВ МАП-4 по отношению к ШВ МАП-3 по выделенным каналам ВОЛС на расстояниях до 10 км составила 1.2 нс (при заданном значении — не более 10 нс), по каналам ВОЛС, образующим локальную сеть в составе трех узлов и коммутатора — 14.5 нс (при заданном значении и неопределенных параметрах локальной сети — не более 1 мкс). Наличие дрейфа результатов сличения шкал времени, рис. 3, может быть объяснено различием точностных характеристик опорных генераторов МАП-3 и МАП-4.

Таблица

Результаты экспериментальной проверки

№ п/п	Наименование измерения	Заданное в ТЗ значение	Результат эксперимента
1	СКО сличения ШВ МАП-4 по отношению к ШВ МАП-3 по выделенным каналам ВОЛС	10 нс, не более	1.2 нс
2	СКО сличения ШВ МАП-4 по отношению к ШВ МАП-3 по каналам ВОЛС, образующим локальную сеть	1 мкс, не более	14.5 нс Для локальной сети из трех узлов и коммутатора

Вывод:

Экспериментальные данные подтверждают обеспечение заданных значений погрешности сличения ШВ по ВОЛС. Достигнутые точности на основе синхронизации ШВ по ВОЛС с использованием протокола IEEE1588v2 (PTP v2)

определяют его как перспективный метод при построении сетей синхронизации и сличения ШВ. Необходимость провести отдельные исследования по определению предельно достижимых точностей.

Предполагается, что повышение точности сличения ШВ может быть достигнуто за счет учета взаимного хода ШВ.

Литература

1. Жуков Е. Т., Иванов А. В., Леготин Н. Н. Принципы построения опорной сети ЧВО на сети связи общего пользования // Т-Comm-Телекоммуникация и транспорт. — Т. 8, № 2. — 2014.

2. Иванов А. В., Моховиков Н. В., Каган С. Н., Малимон А. Н., Пестерев С. В., Пальчиков В. Г., Гальшиев А. А. Сличение территориально удалённых эталонов времени и частоты с применением волоконно-оптических линий связи // Труды ИПА РАН. — СПб.: Наука, 2012. — Вып. 23. — С. 131–135.

Experimental Verification of Time Scale Comparison Errors via Fiber Optic Communication Link Channels

V. O. Mironov, L. Y. Belov, V. K. Koshelev, A. A. Barskiy, P. N. Parshin

This paper presents an experiment of the time scale comparison using a fiber optic linX channel and the local computing network. The measurements were made using small-size equipment. The scheme of the experiment and its results are showing a better than expected RMS of the time scale comparison.

Keywords: time scale comparison, fiber optic communication links, comparison accuracy range, cable type, scheme of the experiment.