

Передача сигналов шкалы времени по волоконно-оптическим линиям при помощи телекоммуникационных SFP-трансиверов

**© А. В. Вытнов, П. В. Зиновьев, Д. В. Иванов,
А. С. Карпичев, А. А. Махнач, А. А. Царук**

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

В статье представлено разработанное в ИПА РАН устройство для передачи импульсных сигналов шкалы времени по волоконно-оптическим линиям. Устройство использует стандартные телекоммуникационные SFP-трансиверы, что существенно удешевляет построение линий передачи, а также позволяет применить техники спектрального уплотнения сигналов при передаче нескольких шкал.

В работе представлено описание устройства и результаты измерения стабильности передачи сигнала.

Ключевые слова: передача шкалы времени, шкала времени, 1PPS, ВОЛС, SFP-трансивер.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.47.8-11>

Введение

В настоящее время для передачи различных радиочастотных сигналов широко используются волоконно-оптические линии связи (ВОЛС). Нашли они применение и в системах частотно-временной синхронизации, обеспечивающих различную аппаратуру сигналами опорных частот и шкал времени. На радиотелескопах нового поколения ИПА РАН уже функционирует система передачи опорной частоты 100 МГц по оптоволокну [1]. Но использовать имеющуюся систему для передачи сигналов шкалы времени не представляется возможным, и шкалы передаются по отдельным кабельным линиям. Чтобы избежать дополнительных линий и использовать имеющееся оптическое волокно, в ИПА РАН разработано и изготовлено устройство, передающее сигналы шкалы времени по оптоволокну при помощи телекоммуникационных SFP-трансиверов. Данное решение, за счет использования стандартизированного оборудования, позволяет существенно упростить систему синхронизации и в случае необходимости сократить количество линий связи при использовании техники спектрального уплотнения [2].

Преимущества

При переходе в оптический диапазон система передачи получает ряд важных преимуществ по сравнению с классическим решением на основе коаксиальных кабелей: невосприимчивость к электромагнитным помехам; возможность передачи на большие расстояния (до 80 км) без использования ре-

трансляторов и промежуточных усилителей; возможность применения техник спектрального уплотнения для получения нескольких каналов связи в одном оптическом волокне.

Также в оптоволоконных системах легко организовать двунаправленную передачу сигнала. В системах, обеспечивающих синхронизацию оборудования, это позволяет измерить время распространения сигнала по линии передачи и скомпенсировать его в случае необходимости.

Реализация

Схема разработанного передатчика представлена на рис. 1. Он состоит из передающего и приемного устройств и работает по принципу, описанному ниже.

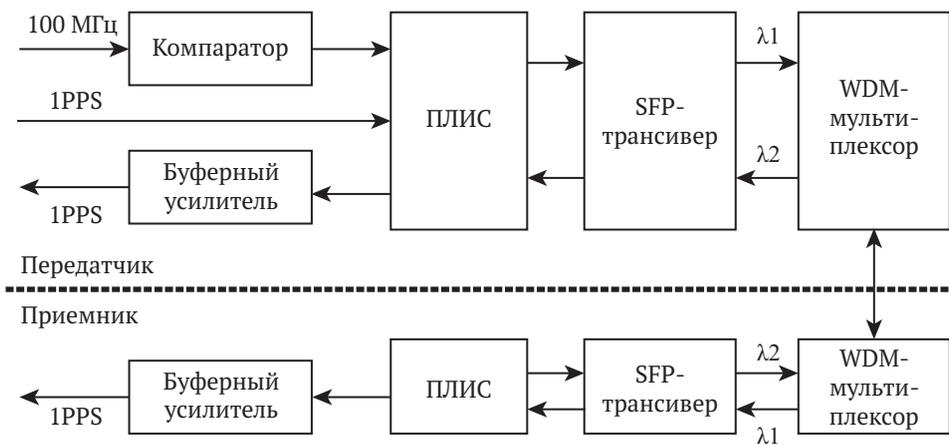


Рис. 1. Структурная схема передатчика

Программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС), тактируемая внешним сигналом опорной частоты (100 МГц), формирует внутреннюю шкалу времени, которая синхронизируется с внешней шкалой при помощи сигнала «1PPS» (метки времени). Для передачи посредством SFP-модуля ПЛИС также генерирует кодовую последовательность, связанную с внутренней шкалой, которая передается по ВОЛС и декодируется принимающей стороной. Декодирование происходит без привязки к какому-либо тактовому сигналу, чтобы не вносить дополнительную неопределенную задержку при обратном преобразовании. Одновременно с декодированием приемник посылает принятый сигнал обратно на передатчик, чтобы оценить время распространения сигнала и иметь возможность скомпенсировать его, подстроив внутреннюю шкалу устройства.

Передача в разных направлениях осуществляется на разных длинах волн оптического передатчика, близких друг другу чтобы исключить влияние дисперсии.

Результаты

В ходе работ проведены эксперименты по передаче сигналов шкалы времени через выделенные оптические волокна, а также через одно волокно с применением спектрального уплотнения типа «CWDM» (рис. 2). Сигналы передавались как через короткие отрезки оптического волокна, так и через отрезки длиной до 200 метров.

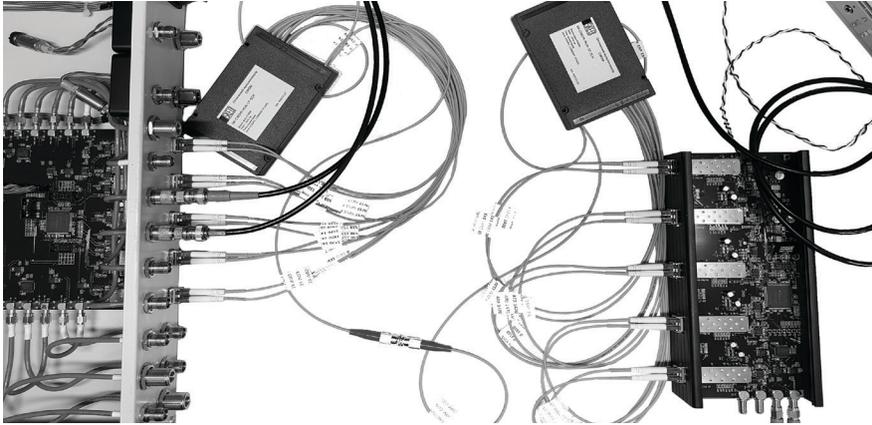


Рис. 2. Передающая (слева) и приемная (справа) части, соединенные через CWDM-мультиплексор

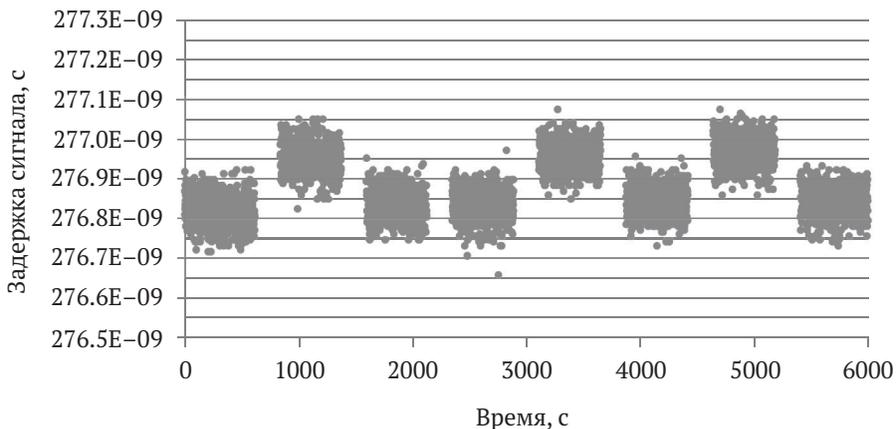


Рис. 3. Задержка сигнала в 200-метровой линии передачи; промежутки между измерениями — отключение питания устройства

Для оценки стабильности работы устройства в ходе эксперимента измерялась задержка в линии передачи: временной интервал между опорным сигналом шкалы времени и сигналом, полученным на выходе приемного модуля. На рис. 3 показана серия таких измерений при передаче сигнала по 200-метровой линии с применением CWDM-уплотнения. Среднеквадратическое отклонение измеренной величины не превышает 100 пс (случайная погрешность измерительной установки не превышает 15 пс). Это говорит о малом «джит-

тере» системы, который во многом обусловлен параметрами применяемых SFP-трансиверов и не зависит от длины линии передачи. Применение техник спектрального уплотнения не оказывает влияния на стабильность передачи.

По результатам измерений видно, что ошибка привязки к внешней шкале (ошибка от включения к включению) составляет не более 200 пс.

Заключение

Разработанное устройство пригодно для передачи импульсных сигналов шкалы времени по оптическим линиям (как выделенным, так и с применением техник спектрального уплотнения) и может применяться в задачах, требующих точностей привязки порядка 1 нс.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на уменьшение случайной и систематической погрешностей при передаче сигналов шкалы времени.

Литература

1. Царук А. А., Карпичев А. С., Зиновьев П. В., Витнов А. В., Иванов Д. В. Передача сигнала опорной частоты на РСДБ-радиотелескоп по оптоволоконной линии // Труды ИПА РАН. — СПб: ИПА РАН, 2017. — № 43. — С. 143–150.

2. Наний О. Е. Основы технологии спектрального мультиплексирования каналов передачи // Lightwave Russian Edition. — 2004. — № 2. — С. 47–52.

Time Scale Signal Transfer via Fiber-Optic Lines Using SFP Transceivers

**A. V. Vytnov, P. V. Zinovev, D. V. Ivanov,
A. S. Karpichev, A. A. Makhnach, A. A. Tsaruk**

The article considers a device which has been developed in the IAA RAS to transfer time scale signals via fiber-optic lines. It works with ordinary SFP transceivers which makes the construction of the telecommunication lines much cheaper and allows for using the wavelength-division multiplexing signal transmission technology when a few scales are transferred.

We describe the device and give the figures received as a result of measuring its signal transfer stability.

Keywords: time scale transfer, time scale, 1PPS, FOCL, SPF transceiver.