

Волоконно-оптическая линия передачи и измерения задержки секундного импульса в РСДБ-телескопе РТ-13

© А. А. Царук, Е. Т. Жуков, А. В. Вытнов, П. В. Зиновьев

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Предложен оптико-электронный метод передачи сигналов времени в РСДБ-телескопе нового поколения РТ-13. Метод основан на использовании волоконно-оптической линии передачи и измерения задержки секундного импульса от наземной части телескопа до антенны.

Научная новизна предложенного метода состоит в том, что впервые в РСДБ-телескопе осуществлена как передача, так и измерение задержки импульса времени запросным способом с точностью в десятки пикосекунд. Метод реализован с помощью одной двунаправленной волоконно-оптической линии, соединяющей наземную и антенную части радиотелескопа и использующей мультиплексирование сигналов с волновым разделением каналов.

Ключевые слова: РСДБ, сличение шкал времени, оптическое волокно, лазерная техника.

<https://doi.org/10.32876/ApplAstron.50.73-78>

Введение

В радиотелескопах предыдущего поколения на антеннах большого диаметра типа РТ-32, работающих в режиме радиоинтерферометра со сверхдлинной базой (РСДБ), для передачи сигналов частоты и времени с наземной части на антенну использовались радиочастотные кабели, а для определения задержки сигнала в кабеле — измеритель электрической длины кабеля [1, 2].

В РСДБ-телескопах нового поколения на быстроповоротных антеннах малого диаметра РТ-13, установленных в обсерваториях «Зеленчукская» и «Бадары», осуществляется передача опорной частоты 100 МГц с помощью волоконно-оптической линии передачи (ВОЛП) от стандарта частоты на гетеродины и широкополосную систему преобразования сигналов (ШСПС), размещенные в кабине на антенне [3]. Передача сигнала времени осуществляется по радиочастотным кабелям, что вносит основной вклад в погрешность калибровки задержек при сравнении шкал времени методом РСДБ [4].

Разработка более эффективного метода передачи времени в РСДБ-радиотелескопах нового поколения является актуальной научной задачей, решение которой имеет существенное значение для применения технологии РСДБ в области высокоточного сравнения удаленных на большие расстояния шкал времени.

Задача исследования состоит в разработке более точного в части калибровки задержек метода передачи времени в РТ-13 на основе использования ВОЛП и измерения задержки секундного импульса в тракте от помещения хранителя времени и частоты до поворотной кабины радиотелескопа. Это позволит уменьшить погрешность калибровки задержки сигнала времени в радиотелескопе.

Исследование возможности передачи и измерения задержки секундного импульса с помощью ВОЛП

Погрешность измерения задержки импульсного сигнала прямо пропорциональна длительности фронта и обратно пропорциональна отношению сигнал/шум на входе измерительного прибора. В радиочастотных коаксиальных кабелях эти параметры ограничиваются недостаточной полосой пропускания и вносимым затуханием. Это приводит к искажениям импульса и не позволяет достичь высокой точности измерения его задержки. Снизить этот эффект и повысить точность при передаче шкалы времени на большие расстояния можно используя волоконно-оптические линии связи. Также применение оптических линий связи дает возможность контролировать задержку в линии.

Предложенный путь решения этой задачи с более высокой точностью, по сравнению с существующими методами, состоит в использовании новых волоконно-оптических лазерных и фотодиодных модулей СВЧ-диапазона, созданных в лаборатории радиофотоники Национальной академии наук Беларуси [5], в сочетании с оптическими циркуляторами, мультиплексорами и буферными усилителями. Особенностью применяемых модулей является прямое электрооптическое преобразование (лазерному модулю не требуется внешнее питание), что исключает возникновение систематической составляющей погрешности при преобразовании радиочастотного сигнала в оптический. Применение этих элементов радиофотоники позволяет обеспечить высокую крутизну фронта передаваемых импульсов (от 10 пс) при малом джиттере (менее 1 пс).

В состав разработанной волоконно-оптической линии РСДБ-телескопа РТ-13 входят: оптический кабель длиной до 300 м, наземная и антенная части, которые содержат тракт прямой и обратной передачи синхрои импульса на волне 1310 нм, синхронизирующего формирователь секундного импульса ШСПС, и тракт передачи секундного импульса на волне 1330 нм от форматора ШСПС.

Необходимые при сравнении шкал времени значения задержки секундного импульса в ВОЛП и временного сдвига выходного секундного импульса форматора ШСПС измеряются относительно входного секундного импульса ВОЛП с помощью измерителя интервалов времени типа 53230 (Keysight Technologies) с погрешностью порядка десятков пикосекунд.

Принципом работы устройства является мультиплексирование сигналов с разделением их по длине волны при передаче по одному и тому же оптическому волокну, известному, в частности, как wavelength division multiplexing (WDM) [6]. При этом используются лазерные модули с длинами волн 1310 нм и 1330 нм. Это позволяет одновременно проводить передачу сигнала времени и калибровку тракта его передачи с помощью возвращаемого сигнала.

Калибровка тракта передачи при РСДБ-сличениях часов осуществляется следующим образом. Сигнал ШВ (1 pps) на длине волны 1310 нм передается от сличаемого стандарта частоты и времени на вход синхронизации ШСПС, этот же сигнал посредством использования двух встречно включенных оптических циркуляторов передается обратно в помещение хранителя времени и частоты по тому же волокну. Сигнал 1 pps форматера с выхода ШСПС по тому же волокну на длине волны 1330 нм передается в помещение хранителя времени и частоты. На основе данных о величине задержки производится сравнение выходного сигнала 1 pps форматера (метки времени, к которой привязываются РСДБ-наблюдения) и входного сигнала 1 pps ШВ. Функциональная схема передачи и измерения задержки секундного импульса с помощью ВОЛП приведена на рис. 1.

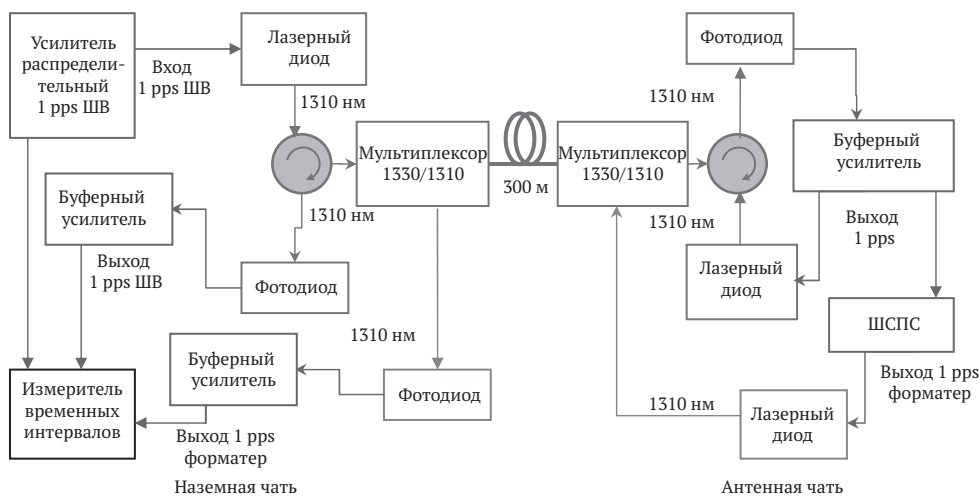


Рис. 1. Функциональная схема передачи и измерения задержки секундного импульса с помощью ВОЛП

Для компенсации ослабления импульсного сигнала в ВОЛП разработаны специальные радиочастотные буферные усилители, позволяющие получить на выходах устройства сигнал 1 pps амплитудой выше 2.5 В на нагрузке 50 Ом, при этом длительность фронтов не превышает 1нс . Структурная схема буферного усилителя приведена на рис. 2.

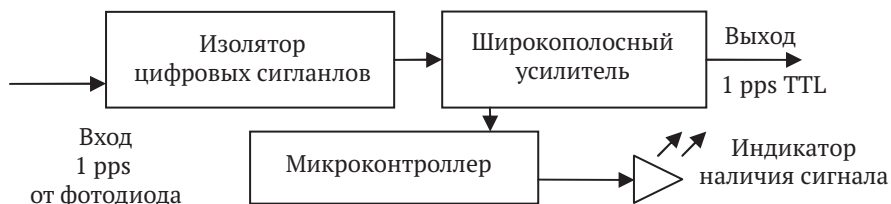


Рис. 2. Схема буферного усилителя

В состав разработанных усилителей входят: изолятор цифровых сигналов на микросхеме ISO7640fm, обеспечивающий гальваническую развязку, широкополосный малошумящий усилитель на микросхеме PI6C18551–КМОП, обеспечивающий малую крутизну фронта и малый вносимый джиттер. Для индикации функционирования схемы используется микроконтроллер ATtiny45-20PU с внутренним тактовым генератором, обеспечивающий включение светодиода при наличии секундного импульса.

Экспериментальные исследования ВОЛП передачи и измерения задержки секундного импульса

Изготовлен экспериментальный образец ВОЛП передачи и измерения задержки секундного импульса, который прошел лабораторные исследования, подтвердившие его работоспособность и технические параметры: входной и выходной импульсы положительной полярности амплитудой более 2.5 В, длительностью 15 ± 5 мкс и крутизной фронта менее 1 нс. Фотография внутреннего вида антенного и наземного блоков экспериментального образца ВОЛП представлена на рис. 3.

Проведены экспериментальные исследования по передаче и измерению задержки секундного импульса в обсерватории «Светлое». Антенный и наземный блоки экспериментального образца были смонтированы на радиотеле-скопе РТ-13 и проведены исследования по передаче и измерению задержки секундного импульса по штатной схеме его передачи по радиочастотным кабелям и с использованием реальной ВОЛП.

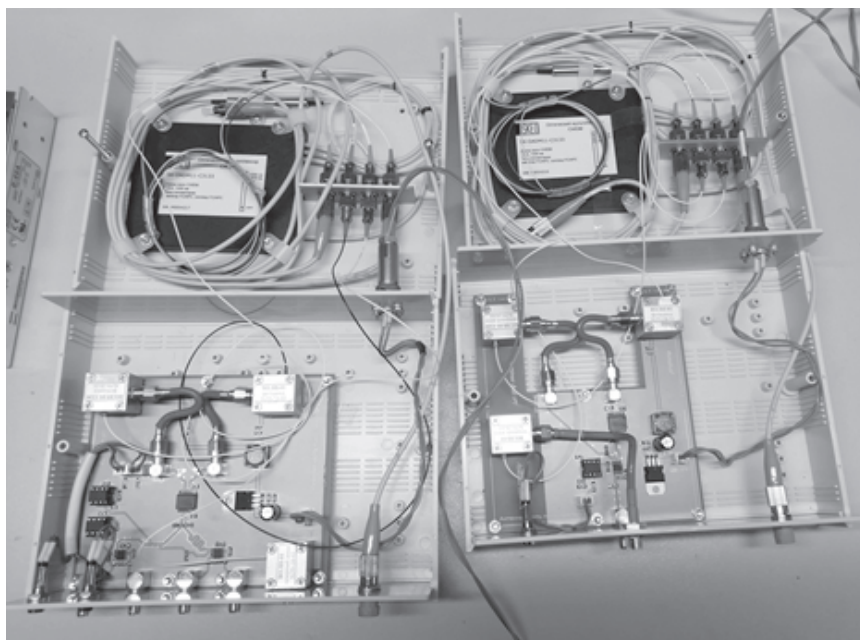


Рис. 3. Внутренний вид антенного и наземного блоков экспериментального образца ВОЛП

Измеренная задержка в ВОЛП составила 1379.74 нс, при этом погрешность измерения составила порядка 30 пс. Нормированные результаты измерений задержки секундного импульса, приведенные на рис. 4, свидетельствуют о более высокой точности измерения задержки секундного импульса в ВОЛП по сравнению со штатной схемой, в которой погрешность измерения ШВ составляет 0.1 нс.

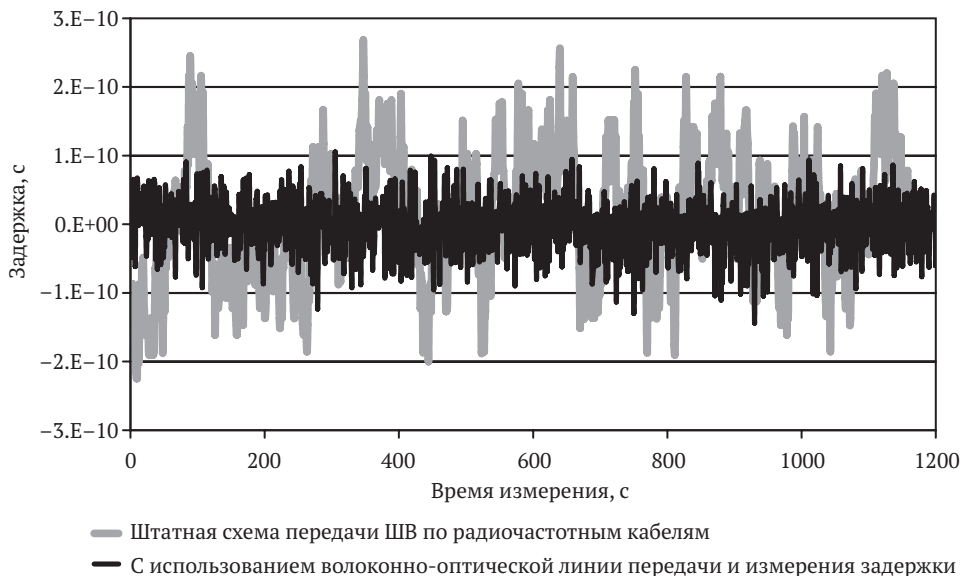


Рис. 4. Результаты измерений задержки секундного импульса в линии передачи РТ-13

Заключение

Предложен эффективный оптико-электронный метод передачи времени в РСДБ-телескопах нового поколения. Он основан на применении волоконно-оптической линии связи с лазерными и фотодиодными модулями в сочетании с оптическими циркуляторами, мультиплексорами и буферными усилителями для передачи и измерения задержки секундного импульса в тракте от помещения хранителя времени и частоты до поворотной кабины радиотелескопа. Проведенные разработки и исследования данной линии подтвердили возможность ее применения для калибровки задержки сигналов шкал времени на радиотелескопах РТ-13. Это обеспечивает возможность достижения нового поколения рекордных значений случайных и систематических погрешностей сравнений удаленных на расстояния в тысячи километров шкал времени на уровне десятков пикосекунд.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП/УНУ «Радиоинтерферометрический комплекс «Квазар-КВО».

Литература

1. *Rogers A. E. E.* Phase and group delay calibration of a very long baseline interferometer by East Coast VLBI Group. *Radio Interferometry Techniques for Geodesy*. — NASA, 1980. — URL: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19800020318.pdf> (accessed 05.07.2019).

2. *Витнов А. В., Иванов Д. В., Карпичев А. С.* Система контроля фазовой стабильности в радиоастрономических экспериментах // *Приборы и техника эксперимента*. — М.: Наука, 2013. — Вып. 2. — С. 54–57.

3. *Царук А. А., Карпичев А. С., Зиновьев П. В., Витнов А. В., Иванов Д. В.* Передача сигнала опорной частоты на РСДБ-телескоп нового поколения по оптоволоконной линии // *Труды ИПА РАН*. — СПб.: ИПА РАН, 2017. — Вып. 43. — С. 143–150.

4. *Царук А. А., Жуков Е. Т., Иванов Д. В., Курдубов С. Л., Суркис И. Ф., Мельников А. Е., Носов Е. В., Безруков И. А., Хвостов Е. Ю.* Оценка возможностей сравнения шкал времени и частот с использованием РСДБ-системы нового поколения // *Метрология времени и пространства: материалы 8-го Международного симпозиума*. — «ВНИИФТРИ», 2016. — С. 80–84.

5. *Чиж А. Л., Малышев С. А., Микитчук К. Б.* Волоконно-оптические лазерные и фотодиодные модули СВЧ-диапазона и системы радиофотоники на их основе // *Электроника и микроэлектроника СВЧ*. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. — Т. 1. — С. 10–15.

6. *Itaoka A., Kihura M.* Accurate time/frequency transfer method using bi-directional WDM transmission // *Proceedings of the 27-th Precise Time and Time Interval Application and Planning Meeting*. — 1995. — P. 373–384.

A Fiber Optic Line to Transfer and Measure 1pps Delays in the RT-13 VLBI Telescope

A. Tsaruk, , E. Zhukov, A. Vytnov, P. Zinovev

We have proposed an optical and electronic time transfer method for the RT-13 VLBI telescope of the new generation. The main feature of this method is that it uses a fiber optic line to transfer 1pps signal and to measure 1pps signal delays from the ground part of the telescope to its antenna simultaneously.

The scientific novelty of the proposed method is that the accuracy of the active measurement of the signal pulse delays is only a few dozens of picoseconds, which has never been achieved before inside the VLBI telescopes. The method is realised with a single bi-directional fiber optic line connecting the ground part of the radio telescope and its antenna. The line uses the signals multiplexed with the wavelength division of channels.

Keywords: VLBI, comparison of time scales, comparison of remote frequencies standards, VLBI system of new generation, optical fiber.