
Перспективы развития комплексов и средств радиолокации на основе радиофотонных и квантовых технологий. Прикладная радиофотоника

УДК 621.396.65

Определение времени задержки в волоконно-оптических линиях передачи данных и синхросигналов

© С.В. Стариков, А.А. Сударенко, С.О. Крумляков, Д.Е. Чертилин

ПАО «Радиофизика»

Рассмотрены вопросы измерения временных задержек, вносимых активными элементами волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), такими как SFP-модули. Полученные в работе результаты могут быть применены для снижения времени задержки сигналов в ВОЛС передачи данных и синхросигналов фазированных антенных решеток.

Ключевые слова: волоконно-оптические линии связи, SFP-модули, фазированные антенные решетки, время задержки сигнала.

Введение. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) применяются в антенных системах для передачи: аналоговых сигналов прямой и косвенной модуляции; цифровых данных, например сигналов диагностики, сигналов синхронизации, сигналов привязки времени; отчетов для цифроаналогового преобразователя (ЦАП) в цифровых фазированных антенных решетках (ФАР). Тракт ВОЛС состоит из следующих элементов: приемных и предающих модулей, волоконно-оптических линий передачи [1]. Каждый из этих элементов вносит свою временную задержку в работу антенного устройства, снижая его быстродействие.

Для передачи цифровых сигналов по ВОЛС в антенной технике широкое применение получили типовые оптические SFP-трансиверы стандарта SFF 8431 [2], применяемые в серверном оборудовании. Типовой SFP-трансивер имеет в своем составе микроконтроллер, лазерный диод, фотоприемник и драйверы приемного и передающего каналов. Структурная схема SFP-трансивера представлена на рис. 1.

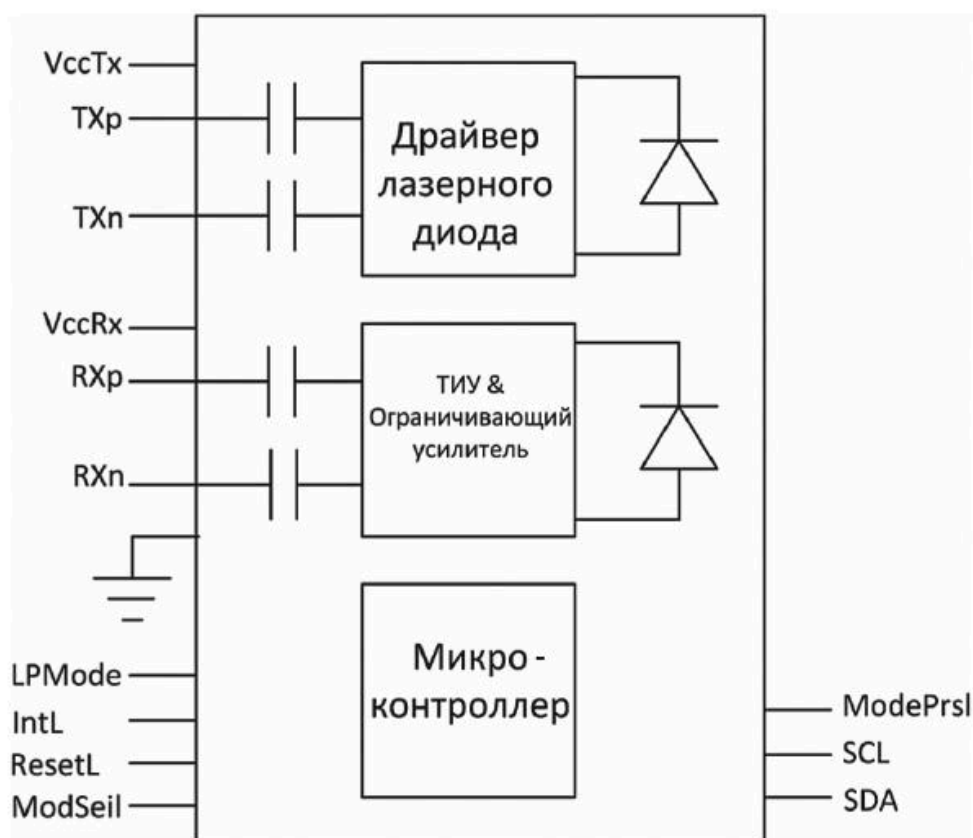


Рис. 1. Структурная схема оптического SFP-трансивера

Электронные компоненты, входящие в состав SFP-модуля, имеют временные задержки обработки сигнала, что влияет на быстродействие SFP-модуля, а значит, и антенного устройства, в состав которого они входят. Конструкции электронных компонентов, входящих в состав SFP-модулей, у разных производителей различаются, что приводит к разным временным задержкам преобразования сигнала в активных элементах ВОЛС.

Цель данной работы — исследование возможности увеличения быстродействия антенных систем посредством выбора SFP-модулей с минимальным временем преобразования сигнала. В качестве приемного и передающего модулей были использованы SFP-трансиверы следующих производителей: Avago, Source Photonic, LinkCare, «Оптэл», Future Technologies.

Методика измерения временных задержек SFP-модулей. Для проведения измерений был собран стенд, представленный на рис. 2 [3].

Коммутация SFP-модулей с измерительным стендом осуществляется через тестовую плату, изображенную на рис. 3. На ней расположены четыре SMA-разъема: два для подачи дифференциального сигнала на передающий канал и два для снятия дифференциального сигнала с приемного канала SFP-модуля.

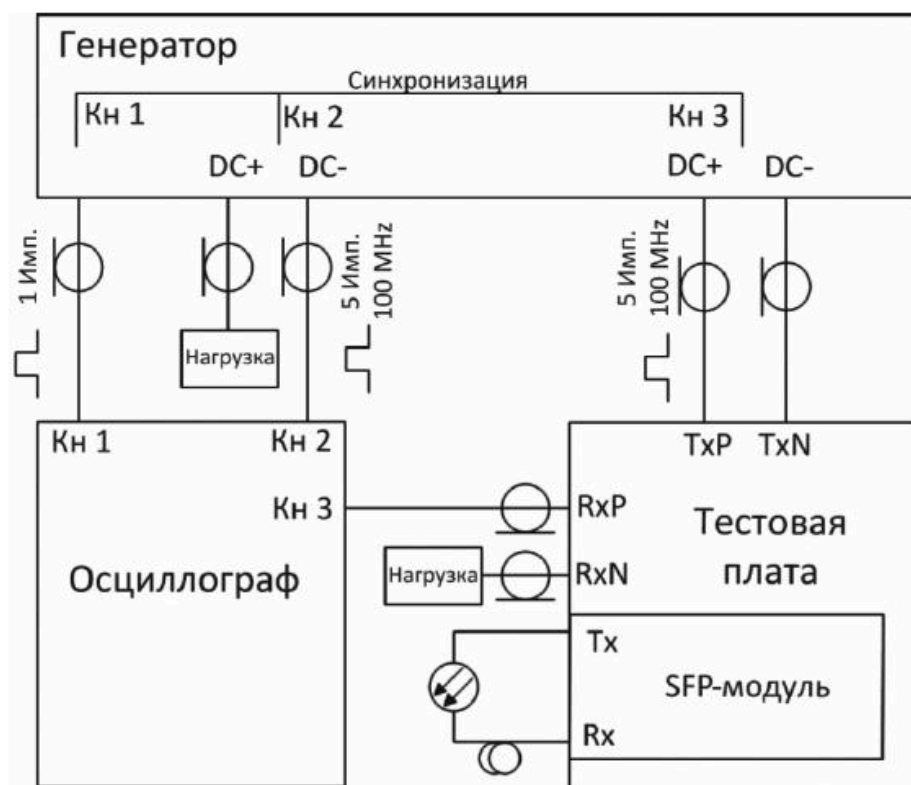


Рис. 2. Схема измерительного стенда

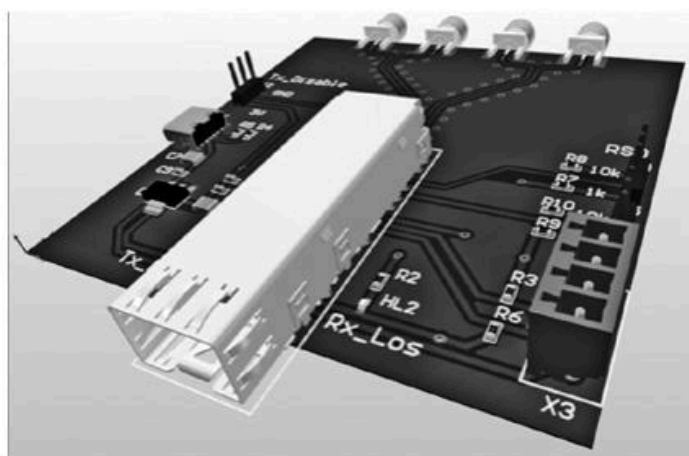


Рис. 3. Модель тестовой платы

С дифференциального вывода генератора на тестовую плату с подключенным SFP-модулем подается меандр, состоящий из пяти импульсов частотой 100 МГц, повторяющихся 1 раз в 80 мс. Форма входного сигнала позволяет сделать первый импульс различимым, что важно при смещении входного и выходного сигнала более чем на один период. Оптический выход и вход SFP-модуля соединены патч-кордом длиной 1 м. Принимаемый SFP-модулем оптический сигнал передается с тестовой платы на осциллограф через один канал дифференциального вывода.

Второй канал дифференциального вывода подключается к согласованной нагрузке. Для сравнения отставания переднего фронта входного и выходного сигналов тестовой платы со второго канала генератора подается сигнал аналогичный входному. С первого канала генератора на осциллограф подается импульс длительностью 50 нс, передний фронт которого является триггером для осциллографа и относительно которого рассматриваются сигналы на входе и выходе тестовой платы.

Формы сигнала триггера и входного сигнала тестовой платы изображены на рис. 4. Все каналы осциллографа синхронизированы. Для подключения генератора к тестовой плате и тестовой платы к осциллографу используют одинаковые кабели, чтобы исключить влияние распространения сигнала по кабелям на результаты измерений.

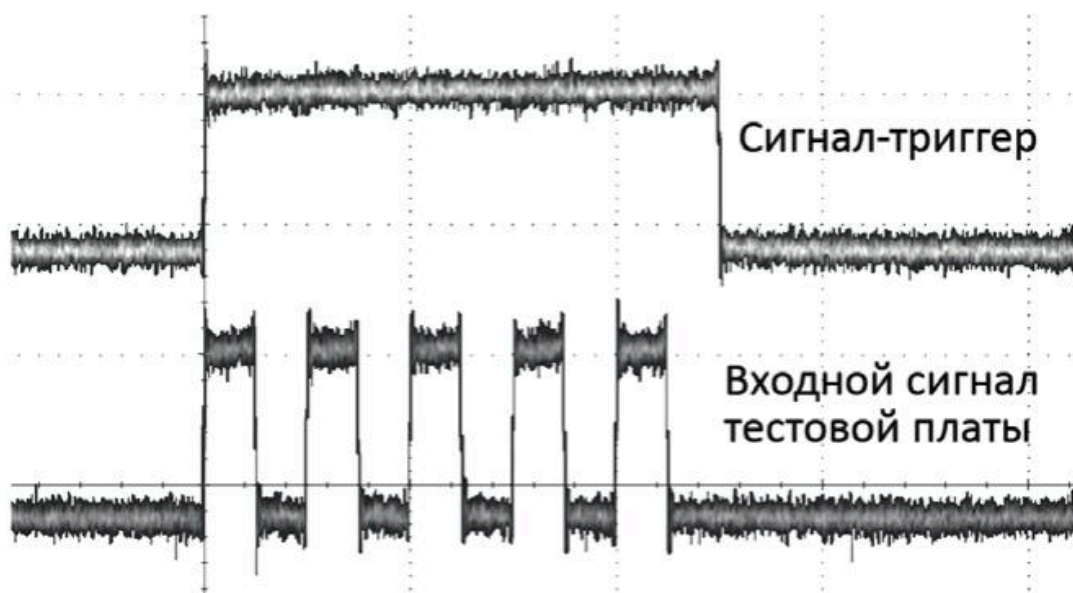


Рис. 4. Формы сигнала-триггера и входного сигнала тестовой платы

Задержка распространения сигнала в микрополосковых линиях тестовой платы и патч-корде длиной 1 м составили 0,6 и 5 нс соответственно.

Результаты измерений. На рис. 5 изображены формы входного и выходного сигналов тестовой платы.

Так как SFP-модули не предназначены для передачи пакетов импульсов с длительными промежутками времени между пакетами, на осциллограммах могут присутствовать выбросы и пропуски импульсов. Влияние этих дефектов на задержку сигнала в SFP-модулях в данной работе не учитывается, так как они не влияют на временную отметку переднего фронта первого импульса.

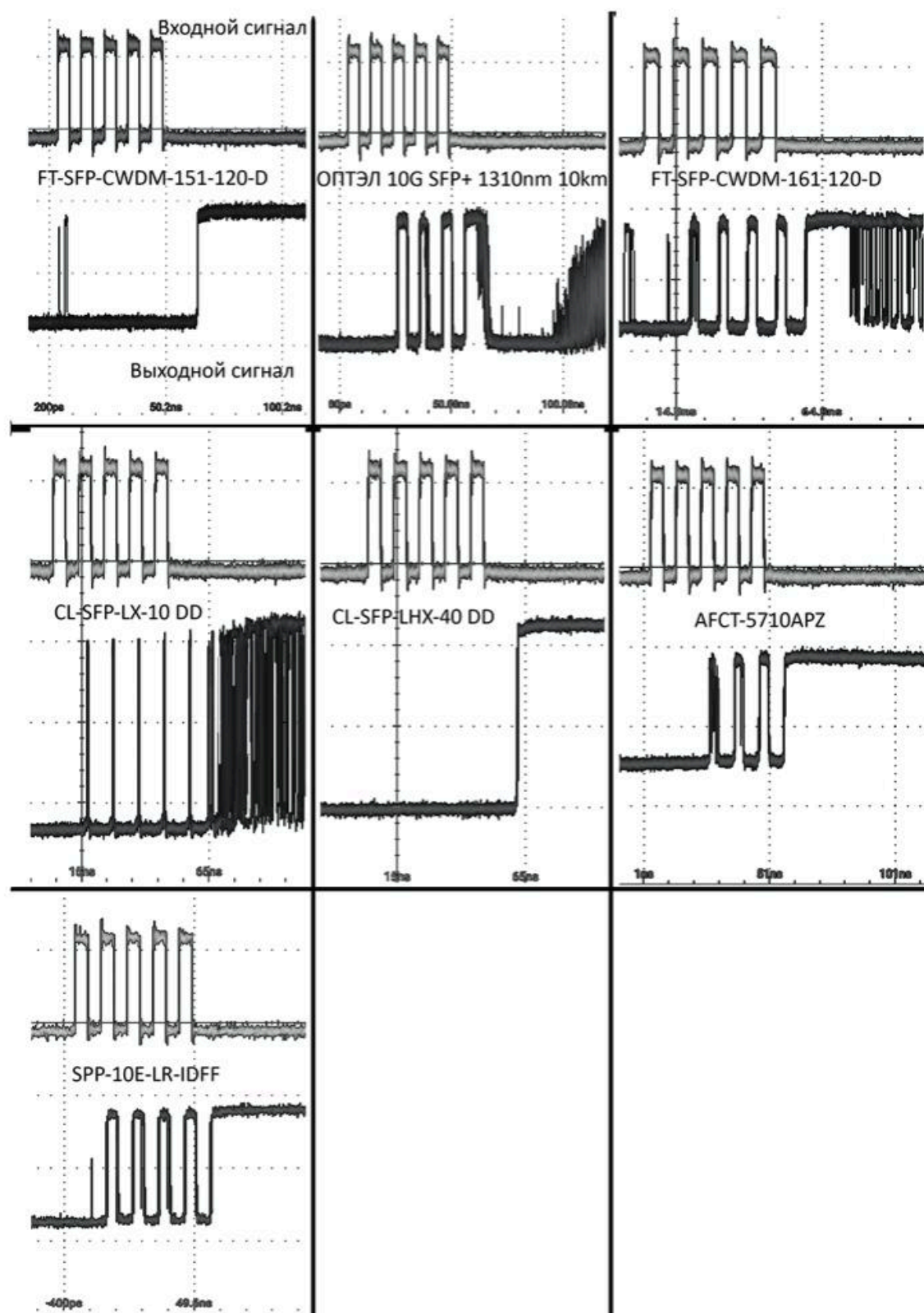


Рис. 5. Графики входных и выходных сигналов (верхний график — форма входного сигнала; нижний график — форма выходного сигнала)

По временной задержке между передними фронтами входного и выходного сигналов, были получены значения временной задержки в ВОЛС. Зная временную задержку распространения сигнала в патч-корде длиной 1 м и микрополосковых линиях тестовой платы, исследователи получили значения задержки сигнала в SFP-модулях. Результаты измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Наименование модуля	Задержка сигнала в ВОЛС, нс	Задержка сигнала в SFP-модуле, нс
CL-SFP-LX-10 DD [4]	13,3	7,7
CL-SFP-LHX-40 DD [4]	57,8	52,2
Оптэл 10G SFP+ 1310nm 10km	22,4	16,8
SPP-10E-LR-IDFF [5]	12	6,4
AFCT-5710APZ [6]	23,4	17,8
FT-SFP-CWDM-161-120-D	15,7	10,1
FT-SFP-CWDM-151-120-D	60	54,4

Заключение. При отработке методики измерения времени задержки SFP-трансивера получен следующий результат — минимальная задержка распространения сигнала в ВОЛС, состоящей из SFP-модулей компании Source Photonic. Результаты данной работы могут оказаться полезными не только при проектировании цифровых частей ФАР, но и при разработке систем передачи цифровых сигналов, к которым предъявляются требования быстродействия.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Носов Ю.Р. *Оптоэлектроника*. Москва, «Радио и связь», 1989, с. 289–315.
- [2] *SFF-8431 Specification for Enhanced Small Form Factor Pluggable Module SFP+*. URL: <https://www.gigalight.com/downloads/standards/sff-8431.pdf>
- [3] Гребнев А.К., Гридин В.Н., Дмитриев В.П. *Оптоэлектронные элементы и устройства*. Москва, «Радио и Связь», 1998, с. 295–302.
- [4] *Datasheet: RoHS compliant 1310 nm Single-mode Transceiver, (1000Base-LX) Small Form Pluggable (SFP), 3.3 V (DDM) 1.0625Gbd Fiber Channel/1.25 Giga-bit Ethernet*. URL: https://atg-computer.ru/pdf2/modul/002_1G/001_ge/cl-sfp-lx-10.pdf
- [5] *Datasheet: SPP-10E-LR-IDFF, DS-7100, Rev 06, 2017-01-19*. URL: https://www.sourcephotronics.com/wp-content/uploads/2017/08/DS-7100-06_SPP-10E-LR-IDFF_20170119.pdf
- [6] *Datasheet: AFCT-5710Z and AFCT-5715Z Families of Single-Mode Small Form Factor Pluggable (SFP) Optical Transceivers with Optional DMI for Gigabit Ethernet (1.25 Gbd)*. URL: <https://datasheet.ciiva.com/15133/getdatasheetpartid-318534-15133086.pdf>

Стариков Сергей Валериевич — канд. техн. наук, начальник отдела ПАО «Радиофизика».

Сударенко Александр Алексеевич — начальник отдела ПАО «Радиофизика».
e-mail: alex_radian@mail.ru

Крумляков Сергей Олегович — ведущий инженер ПАО «Радиофизика».
e-mail: krumlyakov94@mail.ru

Чертилин Дмитрий Евгеньевич — инженер ПАО «Радиофизика».
e-mail: chertilin.dima@mail.ru

Determining the delay time in fiber-optic transmission lines of data and synchronization signals

© S.V. Starikov, A.A. Sudarenko, S.O. Krumlyakov, D.E. Chertilin

PJSC “Radiofizika”

In this paper, the issues of measuring time delays introduced by the active elements of optical fiber communication lines, such as SFP modules, are considered. The results obtained in this work can be applied to reduce the delay time of signals in the data transmission and synchronization signals of phased array antennas.

Keywords: *optical fiber communication lines, SFP modules, phased array antenna, signal delay time.*

Starikov S.V., Cand. Sci. (Eng.), Head of department at the PJSC «Radiofizika».

Sudarenko A.A., Head of department at the PJSC «Radiofizika».
e-mail: alex_radian@mail.ru

Krumlyakov S.O., Lead engineer at the PJSC «Radiofizika».
e-mail: krumlyakov94@mail.ru

Chertilin D.E., Engineer at the PJSC «Radiofizika». e-mail: chertilin.dima@mail.ru