

Моделирование и исследование корреляционного рефлектометра

Г.Р. Бразовский, М.С. Былина, Н.С. Васильев, С.Ф. Глаголев

СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Аннотация: Известно, что для увеличения динамического диапазона традиционного оптического рефлектометра с простым импульсным зондирующим сигналом необходимо увеличивать длительность зондирующих импульсов, что ухудшает пространственную разрешающую способность. В работе проанализированы возможности корреляционной рефлектометрии, в которой используются сложные зондирующие сигналы, представляющие собой биполярные псевдослучайные последовательности импульсов с узкой автокорреляционной функцией. За счет большой энергии такие сигналы обеспечивают большой динамический диапазон, а за счет узкой корреляционной функции – высокое пространственное разрешение.

Ключевые слова: метод обратного релеевского рассеяния, оптический рефлектометр во временной области (OTDR), корреляционный OTDR (COTDR), зондирующий сигнал, псевдослучайная последовательность, взаимная корреляционная функция, автокорреляционная функция

Оптические рефлектометры во временной области (Optical Time Domain Reflectometer, OTDR), реализующие метод обратного релеевского рассеяния, широко используются для проведения профилактических и аварийных измерений на волоконно-оптических линейных трактах (ВОЛТ) [1]. На рис. 1 представлена структурная схема OTDR, поясняющая принцип его работы.

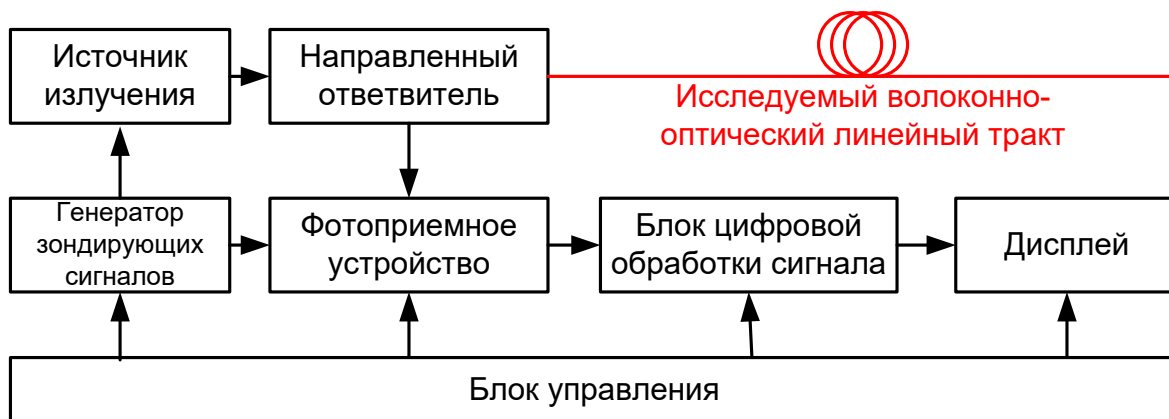


Рис. 1. Структурная схема OTDR

Генератор зондирующих сигналов (ЗС) управляет работой источника оптического излучения. С выхода источника оптический ЗС поступает в исследуемый ВОЛТ через направленный ответвитель (НО). Проходя по ВОЛТ, ЗС формирует сигнал обратного релеевского рассеяния (СОР), представляющий собой совокупность мощностей непрерывного рассеянного излучения и френелевских отражений от локальных неоднородностей ВОЛТ. СОР из ВОЛТ через НО поступает на ФПУ, где преобразуется в электрическое напряжение.

В блоке цифровой обработки сигнала (ЦОС) происходит аналого-цифровое преобразование (АЦП), выделение оцифрованного СОР из шума ФПУ с помощью N -кратного накопления (усреднения) и логарифмирование накопленного сигнала. После обработки цифровой СОР формирует на дисплее рефлектограмму $Y(l)$ – зависимость

уровня СОР от расстояния вдоль ВОЛТ.

В традиционных ОТДР в качестве ЗС используется периодическая последовательность одиночных зондирующих импульсов с пиковой мощностью P_m и длительностью t_p . Поскольку динамический диапазон ОТДР зависит от энергии ЗС, пиковая мощность P_m выбирается большой, но ее максимальное значение ограничено порогами возникновения в ВОЛТ нелинейных видов рассеяния. Энергия ЗС возрастает также при увеличении t_p , однако при этом ухудшается пространственная разрешающая способность измерений. Таким образом, в традиционном ОТДР существует компромисс между динамическим диапазоном, определяющим максимальную длину исследуемого ВОЛТ, и пространственной разрешающей способностью [2].

Этот компромисс может быть разрешен при переходе к корреляционному ОТДР (Correlation OTDR, COTDR), в котором благодаря использованию сложных ЗС с большой энергией можно одновременно получить большой динамический диапазон и высокое пространственное разрешение [2, 3].

Для формирования ЗС в COTDR используются биполярные псевдослучайные последовательности (ПСП), обладающие в совокупности автокорреляционной функцией (АКФ), содержащей один узкий максимум (центральный лепесток) и боковые лепестки минимальной величины. Такими свойствами обладают, например, биполярные кодовые ПСП Баркера [4]. На рис. 2 представлена ПСП Баркера с $K = 11$ элементами и ее АКФ.

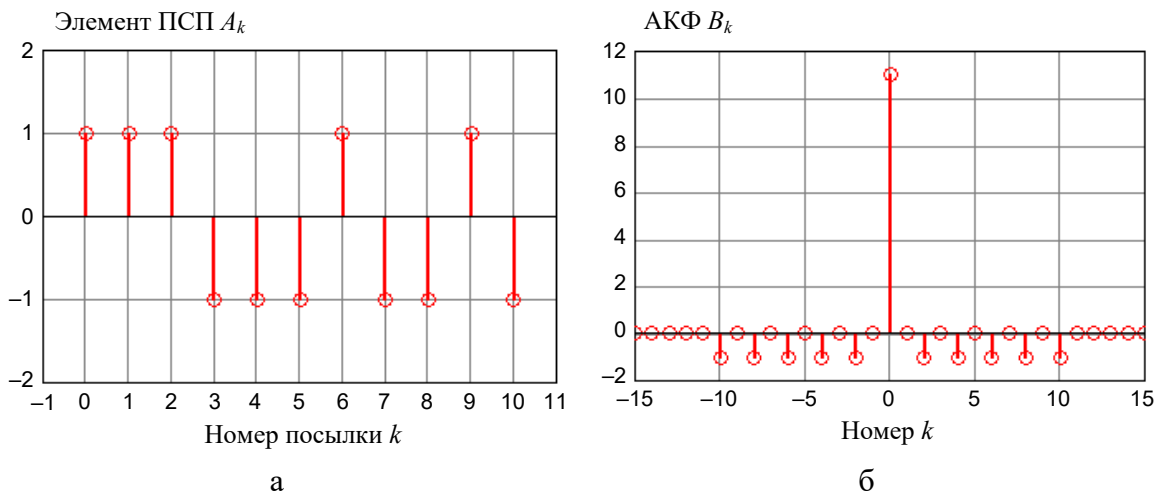


Рис. 2. ПСП Баркера (а) и ее АКФ (б)

Непосредственно использовать биполярную ПСП для формирования ЗС в COTDR с энергетическим приемом СОР невозможно. Наилучшим способом формирования ЗС для COTDR является последовательная отправка в ВОЛТ двух посылок ЗС, прием двух СОР и вычисление их разности. Первая посылка состоит из пачки оптических импульсов с пиковой мощностью P_m и длительностью t_p , которая повторяет положительные импульсы исходной ПСП. Вторая посылка повторяет отрицательные импульсы исходной ПСП. Для двух посылок регистрируются два СОР P_1 и P_2 , разность которых P_r представляет собой СОР для биполярного ЗС.

Для получения понятной оператору рефлектограммы в COTDR необходимо вычислить разностный СОР $P_r = P_1 - P_2$, суммарный СОР $P_s = P_1 + P_2$ и взаимно корреляционные функции (ВКФ) P_r и P_s с исходной биполярной ПСП. Рефлектограмма будет представлять собой сумму двух рассчитанных ВКФ P_{br} и P_{bs} .

На рис. 3 и 4 представлены результаты моделирования разностного и суммарного СОР из ВОЛТ длиной $L = 18.5$ км, содержащего две отражающие неоднородности на

расстояниях $l_1 = 3$ и $l_2 = 3.5$ км с коэффициентами отражения $r_1 = r_2 = 0.00003$ и вносимыми потерями $a_{c1} = a_{c2} = 1$ дБ. Коэффициенты отражения от переднего и заднего торцов ВОЛТ принимались равными $r_0 = r_3 = 0.00003$. В расчете были приняты следующие параметры ОВ: коэффициент затухания $\alpha = 0.5$ дБ/км, коэффициент рассеяния $\alpha_s = 0.4$ дБ/км, фактор обратного рассеяния $G_s = 2 \cdot 10^{-3}$, эффективный показатель преломления $n_g = 1.5$. В качестве ЗС использовалась биполярная ПСП Баркера (рис. 2).

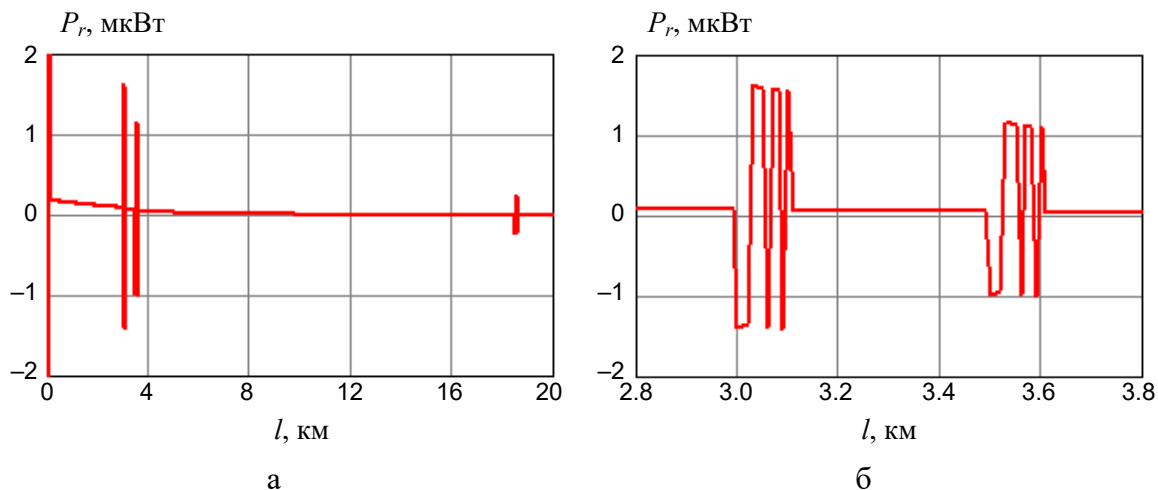


Рис. 3. Разностный СОР (а) и его фрагмент (б)

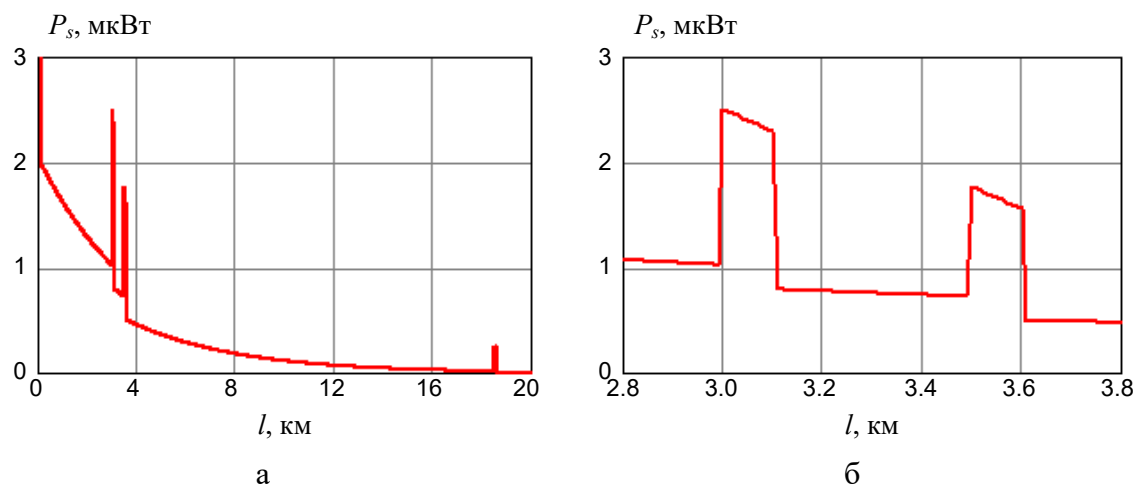


Рис. 4. Суммарный СОР (а) и его фрагмент (б)

На рис. 5 и 6 представлены результаты расчета ВКФ разностного и суммарного СОР с исходной биполярной ПСП Баркера.

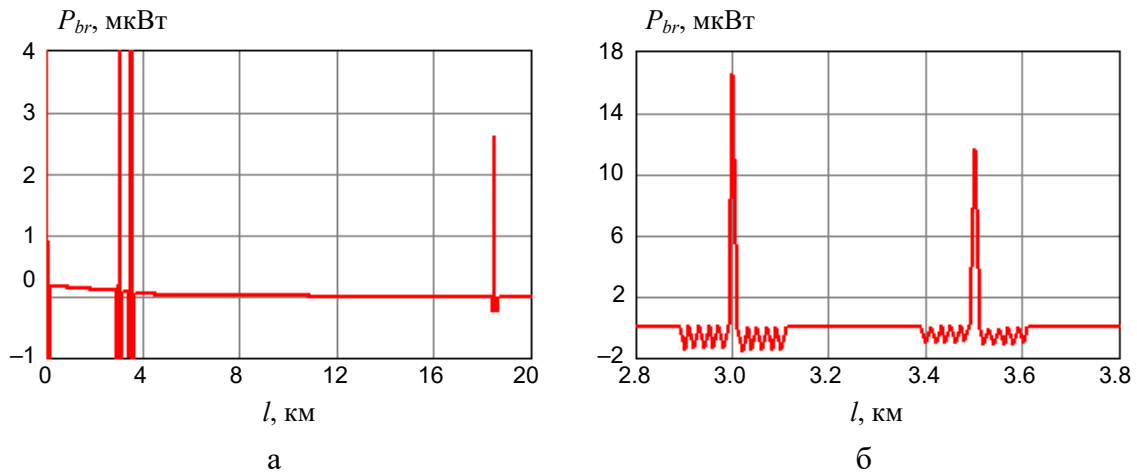


Рис. 5. ВКФ разностного СОР с исходной ПСП (а) и ее фрагмент (б)

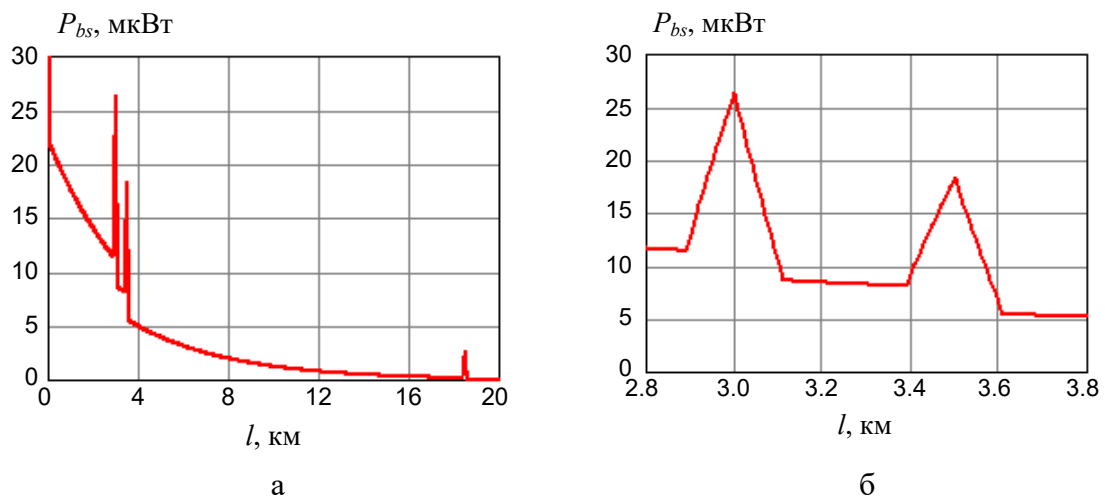


Рис. 6. ВКФ суммарного СОР с исходной ПСП (а) и ее фрагмент (б)

На рис. 7 показана рефлектограмма COTDR – сумма ВКФ разностного и суммарного сигналов. Из рисунка видно, что сигнал релейского рассеяния имеет достаточно большую величину, а сигнал френелевского отражения имеет узкий пик, точно указывающий на место расположения неоднородности.

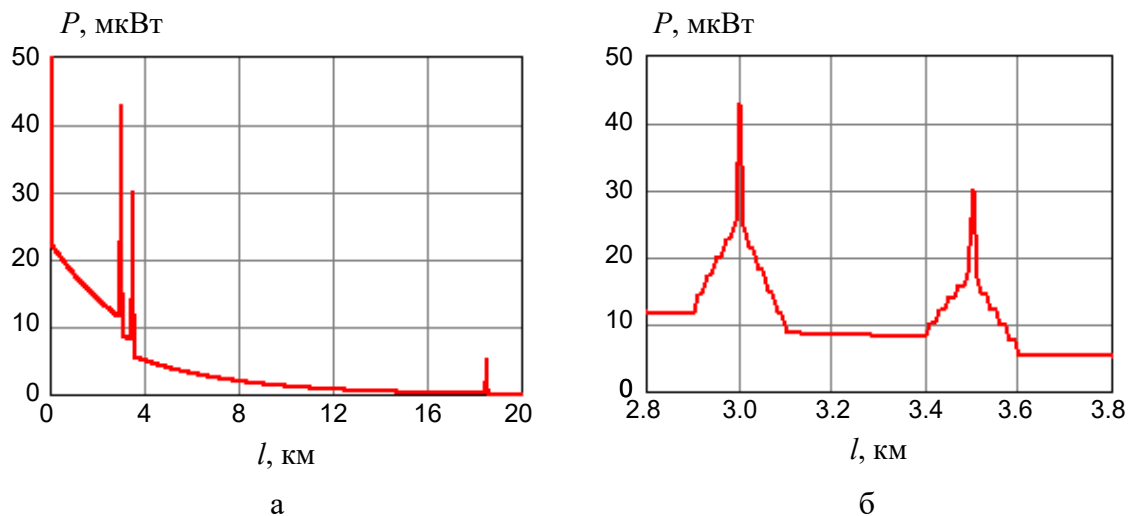


Рис. 7. Рефлектограмма COTDR и ее фрагмент

Основным преимуществом COTDR перед традиционным OTDR является увеличение максимального сигнала релеевского рассеяния и динамического диапазона D в K раз при том же пространственном разрешении Δl и пиковой мощности P_m за счет увеличения длительности и энергии ЗС.

Из рис. 7 видно также, что сигнал френелевского отражения искажается и расширяется у основания, что несколько ухудшает пространственное разрешение COTDR. Это принципиальный недостаток всех COTDR, использующих в качестве ЗС биполярные ПСП, у которых АКФ имеет боковые лепестки. Однако в литературе описаны модифицированные ПСП Баркера и другие виды биполярных ПСП, лишенных данного недостатка [2, 3, 5, 6]. Исследование возможностей их применения в корреляционной рефлектометрии является предметом дальнейших исследований авторов.

Список литературы

1. Былина М.С. Практические приемы повышения эффективности использования оптических рефлектометров при эксплуатации ВОЛС / М.С. Былина, А.П. Рогов, С.Ф. Глаголев, А.Б. Семенов // Фотон-экспресс. – 2021. – № 7 (175). – С. 4–7.
2. Newton S. A. A new technique in OTDR // Electronics & Wireless World. – 1988. – Vol. 94, no. 1627. – P. 496–500.
3. Корреляционный рефлектометр со сложным зондирующим сигналом / В. Б. Архангельский, С. Ф. Глаголев, К. В. Марченко, А. В. Семин // Фотон-Экспресс. – 2004. – № 5 (37). – С. 42–44.
4. Дворников С.В. Модифицированные импульсные последовательности на основе кодов Баркера / С.В. Дворников, С.С. Дворников, Е.В. Марков // Труды учебных заведений связи. – 2022. – Т. 8, № 1. – С. 8–14.
5. Сьянов В.А. Подавление боковых лепестков составных фазокодомодулированных сигналов на основе кодов Баркера / В.А. Сьянов // Известия вузов России. Радиоэлектроника. – 2017. – № 2. – С. 53–56.
6. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М. : Радио и связь, 1985. – 384 с.