

К. А. Лукин, Д. Н. Татьяна, Ю. А. Шиян, Л. В. Юрченко, А. В. Базакуца*

Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины

12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина

E-mail: lukin.konstantin@gmail.com, lukin@ire.kharkov.ua

*НППФ ООО «Оптические телекоммуникации»

3, ул. Индустриальная, Харьков, 61106, Украина

E-mail: info@optel.com.ua

ОПТИЧЕСКИЙ РЕФЛЕКТОМЕТР НА ОСНОВЕ МЕТОДА СПЕКТРАЛЬНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Представлен результат разработки оптического низкокогерентного рефлектометра на основе спектральной интерферометрии с гетеродинным переносом частоты в радиодиапазон, что позволяет измерять расстояния в десятки километров. Разработан, изготовлен и исследован макет рефлектометра микрометрического диапазона расстояний на базе волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо и широкополосного источника инфракрасного излучения. На основе проведенных исследований показана возможность и целесообразность использования метода низкокогерентной спектральной интерферометрии для применения в рефлектометрических измерениях расстояний на волоконно-оптических линиях связи. Ил. 7. Библиогр.: 17 назв.

Ключевые слова: оптическая низкокогерентная рефлектометрия, спектральная интерферометрия, широкополосные источники оптического излучения, сверхяркие светодиоды, гетеродинный перенос частот.

Важнейшим диагностическим инструментом для волоконно-оптических систем и компонентов является оптическая рефлектометрия. Наибольшее применение в оптических телекоммуникациях получил метод оптической рефлектометрии временной области – *optical time domain reflectometry (OTDR)*.

OTDR лежит в основе современных оптических рефлектометров, которые являются сложными и дорогостоящими приборами, позволяющими проводить измерения основных параметров оптоволоконных линий связи: определять длину оптических линий связи, расстояние до мест неоднородностей оптического волокна (сварки, точки коммутации и т. п.), рассчитывать затухание в линии, величины возвратных потерь и величины отраженного сигнала, визуализировать повреждение волоконных линий связи (ВОЛС) и многое другое [1, 2].

Принцип работы *OTDR* основан на анализе отраженных оптических импульсов, излучаемых рефлектометром в оптическое волокно. Измерения с помощью оптического рефлектометра основано на явлении обратного рассеяния света в волокне и на отражении света от перепадов показателя преломления. Импульсы света, распространяясь по линии, испытывают отражения и затухания на неоднородностях линии и вследствие поглощения в среде.

Недостатком *OTDR* является наличие так называемой «мертвой зоны» – длины оптического волокна от выхода/входа рефлектометра, которую рефлектометр не может измерить в силу особенностей принципа работы. Величина мертвой зоны обратно пропорциональна длине зондирующего импульса. Другим недостатком является высокая стоимость *OTDR*.

Альтернативой методу *OTDR* может служить оптическая низко-когерентная рефлектометрия – *optical low coherence reflectometry (OLCR)*. Как правило, низкокогерентная техника используется для измерений с субмиллиметровым разрешением с очень высокой чувствительностью, но только в пределах ограниченного диапазона расстояний [3].

Нами рассматривается применение оптической низкокогерентной рефлектометрии *OLCR*, основанной на методе спектральной интерферометрии для измерения больших расстояний путем гетеродинного переноса широкополосного спектра источника оптического излучения в радиодиапазон частот.

1. Теоретические основы метода спектральной интерферометрии. Метод спектральной интерферометрии (или метод двойной спектральной обработки) состоит в формировании периодического чередования максимумов и минимумов на оси частот спектра, которые являются следствием линейной интерференции гармонических спектральных составляющих широкополосных стационарных случайных сигналов, суммируемых на выходе интерферометра, при условии, что разность длин плеч интерферометра превышает длину когерентности L_c источника излучения (ИИ) [4–11].

Метод может быть реализован с помощью интерферометра Майкельсона либо Фабри-Перо. В случае одиночного отражателя спектральная мощность $F_{\Sigma}(f, \tau_0)$ сигнала на выходе интерферометра (входе спектрального измерительного устройства) может быть представлена в следующем виде [5]:

$$F_{\Sigma}(f, \tau_0) = 2F(f)\{1 + \cos(2\pi f\tau_0 + \theta)\}, \quad (1)$$

где f – частота гармонических спектральных составляющих широкополосного спектра оптического излучения; $F(f)$ – амплитуда гармонических спектральных составляющих широкополосного спектра оптического излучения; τ_0 – время запаздывания между сигналами, распространяющимися в плечах интерферометра; θ – разность фаз между сигналами в плечах интерферометра, зависящая от оптических элементов установки.

Анализ спектра мощности $F_{\Sigma}(f, \tau_0)$ суммарного сигнала опорного и измерительного плеч интерферометра позволяет получить информацию о разности длин плеч, т. е. о дальности L_0 до зондируемого отражателя [5]. Особенность спектра (1) этого сигнала, как говорилось ранее, состоит в периодическом чередовании максимумов и минимумов на оси частот (длин волн), которые являются следствием конструктивной, деструктивной и промежуточной интерференций гармонических спектральных компонент стационарных случайных сигналов, суммируемых на выходе интерферометра [5]. Период этого чередования обратно пропорционален времени запаздывания τ_0 отраженного сигнала относительно зондирующего, что позволяет однозначно оценивать расстояние до отражателя L_0 . Для этого измеряется разность T_f частот f_1 и f_2 , соответствующих положению двух соседних экстремумов (максимумов либо минимумов) спектральной мощности (1), и далее находится расстояние из соотношения [4–11]

$$L_0 = \frac{c}{2T_f} = \frac{c}{2(f_1 - f_2)}, \quad (2)$$

где c – скорость света в вакууме.

Выражение (2) можно представить через длины волн в следующем виде:

$$L_0 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_2 - \lambda_1)} \approx \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}, \quad (3)$$

где λ_1 и λ_2 – длины волн, соответствующие положению двух соседних экстремумов (максимумов либо минимумов) спектральной мощности (1); λ – центральная длина волны излучения оптического источника; $\Delta\lambda$ – ширина спектра излучения оптического источника, выраженная в длинах волн.

Ширина спектра ИИ определяет минимальную дальность L_{\min} измерений. Это требование означает, что ширина спектра Δf зондирующего сигнала по уровню -3 дБ должна удовлетворять условию [10]

$$\Delta f > |f_1 - f_2| = \frac{c}{2L_{\min}}. \quad (4)$$

Максимальная дальность измерений L_{\max} определяется разрешающей способностью δf анализатора спектра

$$L_{\max} \leq \frac{c}{2\delta f}. \quad (5)$$

2. Выбор широкополосных источников оптического излучения для реализации метода спектральной интерферометрии. Минимальное расстояние, которое можно измерить с помощью систем на основе спектральной интерферометрии, определяется длиной когерентности источника оптического излучения L_c , используемого для реализации метода. Поэтому чем больше ширина спектра ИИ, тем меньше длина когерентности и, следовательно, меньше минимальное измеряемое расстояние. Этот параметр эквивалентен «мертвой зоне» в *OTDR*. Как было отмечено выше, максимально измеряемое расстояние и разрешающая способность систем на основе спектральной интерферометрии определяется разрешающей способностью используемого спектрометра.

Таким образом, характеристики ИИ и используемого для измерений спектроанализатора определяют диапазон измеряемых расстояний и разрешающую способность приборов, основанных на методе спектральной интерферометрии, таких как спектральные рефлектометры, спектральные оптические низкокогерентные томографы и т. п. Отметим, что в импульсных интерферометрах от длины когерентности ИИ зависит не только минимально возможное измеряемое расстояние, но и разрешающая способность этих устройств.

К источникам оптического излучения, применяемым в устройствах импульсной и спектральной интерферометрии, предъявляются определенные требования по рабочей длине волны излучения, ширине его спектра, мощности и стабильности излучения [12]: необходимы ИИ с шириной полосы десятки и сотни нанометров и мощностью излучения десятки милливатт и выше.

В выпускаемых промышленностью измерительных приборах (оптических когерентных томографах, микроскопах, профилометрах и т. д.) и в описанных в научной литературе устройствах в качестве источников оптического излучения обычно используются суперлюминесцентные диоды (*superluminescent diodes*) (СЛД) или различные виды ламп (вольфрам-галогеновые и кварцевые лампы) [13, 14]. Недостатками этих источников является их большая стоимость или малая спектральная плотность мощности излучения.

В качестве наиболее перспективных ИИ, обеспечивающих измерения расстояний от одного микрометра и меньше, предлагается применять обычные сверхяркие светодиоды, которые массово выпускаются для решения задач индикации и

локального освещения и имеют относительно небольшую стоимость [15, 16]. Ширина спектра сигналов, излучаемых этими диодами, намного превышает ширину спектра полупроводниковых лазеров, что позволяет расширить диапазон измеряемых расстояний в сторону уменьшения. Спектральные характеристики и мощность современных светодиодов сравнима с более дорогостоящими источниками, основанными на СЛД. В промышленных приложениях метода спектральной интерферометрии светодиоды практически не применяются. В научных исследованиях для реализации метода спектральной интерферометрии светодиоды также используются крайне редко.

Основными схемами метода спектральной интерферометрии, в которых используются широкополосные ИИ, являются схемы на базе интерферометров Майкельсона, Маха-Цандера и Фабри-Перо, в одно из плеч которых помещен исследуемый объект.

В нашей работе выбор широкополосного ИИ осуществлялся исходя из расчета минимального и максимального значения разности плеч интерферометра, которые позволяли бы реализовать метод спектральной интерферометрии, т. е. получить спектр с периодической структурой и возможностью дальнейшей его фурье-обработки. Расчеты показали, что наиболее оптимальными источниками оптического излучения, обладающими малой длиной когерентности и при этом достаточной мощностью излучения, являются светодиоды.

3. Применение метода спектральной интерферометрии для абсолютных измерений расстояния с использованием гетеродинного переноса частоты оптического сигнала в радиодиапазон спектра. Особенность применения метода спектральной интерферометрии для измерения больших расстояний заключается в том, что максимально возможное измеряемое расстояние определяется разрешающей способностью используемого спектроанализатора, а разрешение оптических спектроанализаторов не всегда достаточно для этой цели.

Из формулы (2) следует, что, например, расстоянию 150 см соответствует частотный интервал между экстремумами периодической структуры спектра 1 ГГц, расстоянию 1 м – 150 МГц, 30 м – 5 МГц, 3 км – 50 кГц, 30 км – 5 кГц. Такие частоты можно наблюдать и регистрировать спектроанализаторами, работающими в радиодиапазоне спектра. Поэтому необходимо применять гетеродинный перенос спектра из оптического диапазона в радиочастотный.

Для получения суммарного (разностного) информационного сигнала в радиочастотном диапазоне на вход измерительного фотодетектора необходимо подавать суммарный оптический

сигнал (результат спектральной интерференции) и излучение узкополосного лазера, частота которого находится в диапазоне частот излучения зондирующего шумового широкополосного оптического сигнала.

В общем случае ширина линии излучения лазера гетеродина и стабильность частоты его излучения определяют точность выполняемых частотно-временных измерений. Лазер-гетеродин должен обладать следующими характеристиками, необходимыми для работы установки. Во-первых, чтобы избежать неоднозначности в измерениях, спектр излучения лазера должен быть одночастотным и одномодовым (рабочая мода TEM_{00}). Во-вторых, относительная нестабильность оптической частоты не должна быть меньше 10^{-9} в зависимости от требуемой точности измерений [11]. В этом случае все частотные характеристики интерферометра с гетеродинным переносом частоты можно считать стационарными за время проведения измерений.

Как известно, после гетеродинного переноса информационного сигнала с оптической частоты в радиочастотный диапазон спектр f_R суммарного сигнала можно представить в виде

$$f_R = f_{F_z}(\tau_0) - f_G, \quad (6)$$

где f_G – частота излучения гетеродинного лазера; $f_{F_z}(\tau_0)$ – частота спектра суммарного сигнала на выходе интерферометра.

Таким образом, измерение особенностей спектра суммы «некогерентных» оптических сигналов сводится к измерениям особенностей спектра суммарного сигнала в диапазоне радиочастот.

4. Принцип работы разработанного спектрального рефлектометра. В основу работы разработанного спектрального рефлектометра (*OSDR – optical spectral domain reflectometer*) положено явление спектральной интерферометрии в оптическом диапазоне спектра электромагнитного излучения, где используется ИИ с постоянным широкополосным шумовым оптическим сигналом. Схема реализована с помощью оптоволоконного интерферометра Маха-Цандера и представлена на рис. 1.

В опорное плечо интерферометра (участок между ИИ и фотодетектором ФД) помещен аттенуатор А для выравнивания уровней опорного и слабого сигнала из измерительного плеча. Измерительное плечо состоит из оптоволоконного разветвителя на основе циркулятора и оптического волокна, длина которого измеряется. Общий конец циркулятора подключен к измеряемому оптическому волокну, а входящий и выходящий концы подключены к источнику широкополосного излучения и приемнику излучения соответственно.

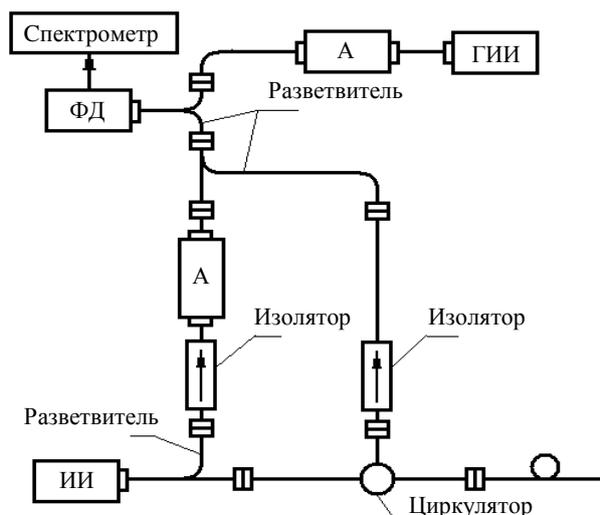


Рис. 1. Схема оптоволоконного рефлектометра OSDR, основанная на принципе спектральной интерферометрии с гетеродинным переносом сигнала в область низких частот

OSDR работает следующим образом. После прохождения излучения от ИИ (рис. 1) через схему интерферометра на входе ФД появляется сигнал, спектр которого, благодаря спектральной интерференции опорного и отраженного излучения, приобретает периодическую структуру. Период экстремумов такого полученного спектра обратно пропорционален расстоянию до неоднородности в оптическом волокне, от которой отражается сигнал. При наличии множества неоднородностей в волокне спектр излучения на входе фотоприемника будет иметь сложную структуру, возникшую в результате наложения периодических структур, характеризующих каждую неоднородность волокон. Фурье-анализ такой структуры отобразит положение и степень неоднородностей на шкале расстояний, т. е. будет получена рефлектограмма измеряемого оптического волокна.

Так как максимально возможное измеряемое расстояние определяется разрешающей способностью используемого спектроанализатора, а в оптическом диапазоне его недостаточно для измерения больших расстояний, в схему рефлектометра вводится гетеродинный источник излучения (ГИИ). В таком случае можно использовать низкочастотный спектроанализатор с диапазоном измеряемых частот до 1 ГГц. Атенуатором можно регулировать уровень затухания сигнала гетеродина, но можно выбрать вариант фиксированного согласования уровней и использовать в этом случае разветвитель с разными уровнями пропускания мощности по его ветвям, например в соотношении 90/10.

5. Экспериментальная установка и результаты измерений. Для проверки метода спектральной интерферометрии в волоконном рефлектометре был собран экспериментальный

макет волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо. Его схема представлена на рис. 2, а внешний вид – на рис. 3.

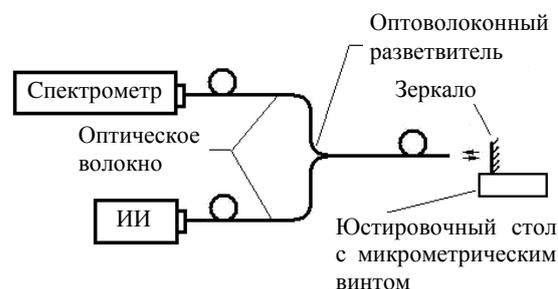


Рис. 2. Схема волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо

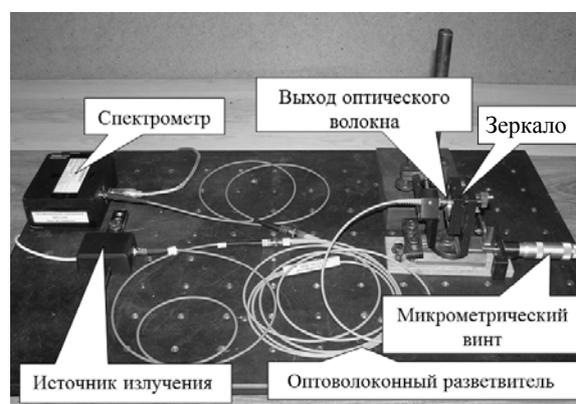


Рис. 3. Внешний вид экспериментального макета волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо

В результате спектральной интерференции на выходе данного интерферометра формируется периодическая структура спектра излучения. Фурье-обработка получаемого спектра позволяет оценивать расстояние между торцом оптического волокна интерферометра и сканируемым объектом (зеркалом).

В предлагаемой на рис. 2 установке интерферометра для реализации измерения расстояния в волоконно-оптических телекоммуникациях использовался недорогой широкополосный источник инфракрасного излучения фирмы *Avago Technologies HFBR-1414Z* с оптоволоконным выводом. Компоненты серии *HFBR-14.xxZ* разработаны для использования в оптических телекоммуникациях для передачи информации на расстояния до 2,7 км, работают на длине волны 820 нм со скоростью передачи информации до 160 МБод, т. е. с частотой до 160 МГц.

Спектр излучения исследуемого источника инфракрасного излучения *HFBR-1414Z* фирмы *Avago Technologies* показан на рис. 4.

В научной литературе представлены исследования подобного оптоволоконного интерферометра Фабри-Перо для измерения малых

расстояний [17], однако в качестве источника оптического излучения использовался СЛД.

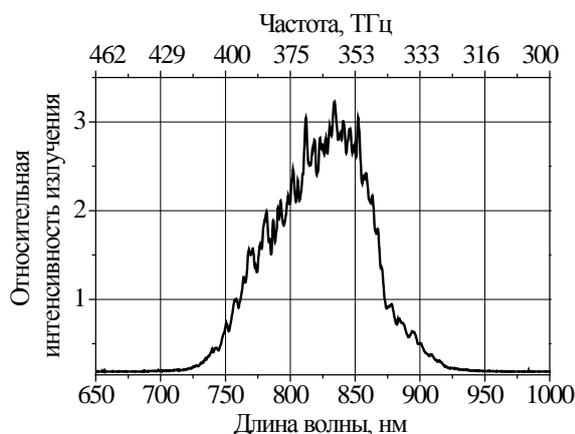


Рис. 4. Спектр широкополосного источника излучения HFBR-1414Z фирмы Avago Technologies

Схема исследуемого интерферометра (рис. 2) работает следующим образом. Инфракрасное излучение оптического источника HFBR-1414Z Avago Technologies подается по оптическому волокну на одно из плеч оптоволоконного разветвителя. Излучение попадает в общее волокно и выводится из него. При переходе через торец общего оптического волокна часть излучения выходит из него, а часть отражается обратно в волокно. Та часть излучения, которая вышла из волокна, отражается от зеркала и направляется им обратно в оптическое волокно. Две составляющие излучения, отразившаяся от торца волокна и от зеркала — складываются внутри волокна, интерферируют и направляются по второму плечу разветвителя в спектрометр. Зеркало при этом располагается на юстировочном столе, позволяющем перемещать его с помощью микрометрического винта вдоль оптической оси, моделируя, таким образом, разное расстояние до неоднородностей внутри оптоволоконного.

При условии, что расстояние от торца волокна до зеркала превышает длину когерентности ИИ, сложение сигналов на входе спектрометра приводит к появлению периодической структуры в спектре суммарного сигнала, т. е. наблюдается спектральная интерференция. При этом период структуры получаемого таким образом спектра обратно пропорционален расстоянию между торцом волокна и зеркалом. Фурье-преобразование такого спектра дает информацию о разности плеч интерферометра, т. е. о разности длин, что и позволяет измерять расстояния. Спектр с периодической структурой, экспериментально полученный в исследуемом интерферометре, изображен на рис. 5.

Оценочное значения контраста (степени различимости) полученных интерференционных

спектральных линий источника HFBR-1414Z Avago Technologies на выходе интерферометра составляет в среднем 0,4, а для суперлюминесцентного диода в [17] эта величина составляет 0,6, что является достаточно близкими значениями.

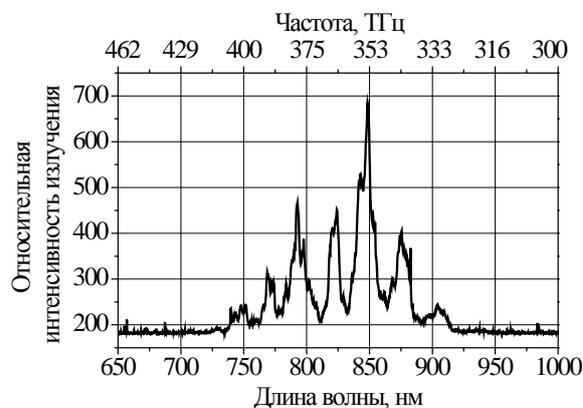


Рис. 5. Спектр, полученный в исследуемом оптоволоконном интерферометре Фабри-Перо с инфракрасным источником излучения HFBR-1414Z Avago Technologies при разности длин плеч интерферометра, превышающей длину когерентности источника

Результат фурье-преобразования спектра, представленного на рис. 5, показан на рис. 6.

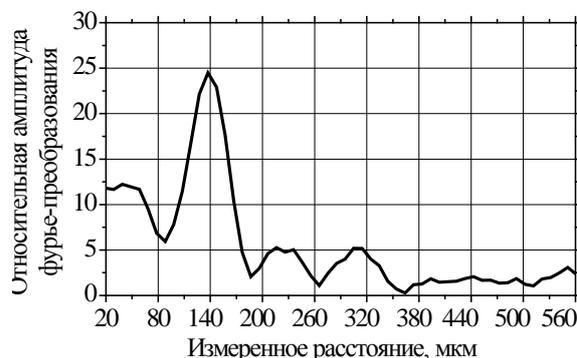


Рис. 6. Результат фурье-преобразования спектра, полученного в результате спектральной интерференции и представленного на рис. 5

Таким образом, спектр на выходе исследуемого интерферометра с используемым оптическим источником имеет периодическую структуру с хорошим контрастом интерференционных спектральных линий, сравнимую с СЛД и позволяющую путем фурье-преобразования определять расстояние.

На рис. 7 представлена зависимость результатов измерений расстояния основанных на спектральной интерференции и преобразовании Фурье от фактического расстояния между торцом волокна и зеркалом интерферометра, т. е. от разности длин плеч интерферометра. Данная зависимость линейна и получена в диапазоне разности длин плеч 20...140 нм.

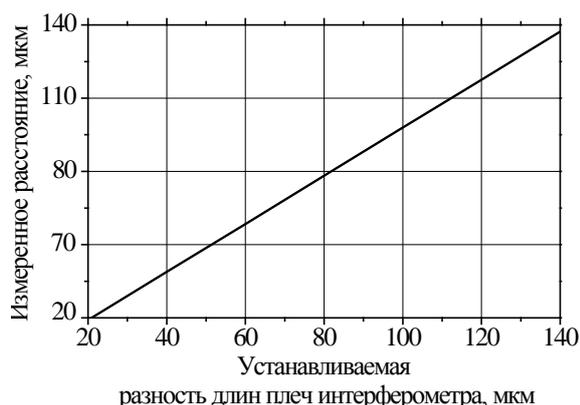


Рис. 7. Измеренное расстояние, как результат фурье-преобразования спектра, экспериментально полученного в результате спектральной интерференции, в зависимости от разности длин плеч интерферометра

Выводы. Таким образом, в работе представлена разработанная схема низкокогерентного оптоволоконного рефлектометра, принцип действия которого основан на спектральной интерферометрии с гетеродинным переносом оптической частоты в радиодиапазон. Показано, что такой рефлектометр позволяет производить измерения расстояния в десятки километров.

Для проверки возможности создания рефлектометра на основе спектральной интерферометрии разработан, изготовлен и экспериментально исследован макет рефлектометра микрометрического диапазона расстояний на базе волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо и широкополосного источника инфракрасного излучения *HFBR-1414Z* фирмы *Avago Technologies*. Методом спектральной интерферометрии проведены измерения расстояния в диапазоне 20...140 мкм. Показано, что зависимость результата измерения от измеряемого расстояния является линейной. Это позволяет с помощью данной установки производить однозначные измерения расстояния микрометрового диапазона и показывает возможности создания на основе спектральной интерферометрии рефлектометров больших расстояний.

Библиографический список

1. Листвин А. В. Рефлектометрия оптических волокон / А. В. Листвин, В. Н. Листвин. – М.: ЛЕСАРпт, 2005. – 208 с.
2. Оптические измерения в волоконно-оптических системах передачи информации. Принципы и задачи развития / Ю. П. Мачехин, Е. П. Тимофеев, А. И. Расчектаева, Д. Н. Татыанко // Светлотехника та електроенергетика. – 2008. – № 2. – С. 45–52.
3. Sorin W. Measurement of rayleigh backscatter at 1.55 μm with 32 μm spatial resolution / W. Sorin, D. Baney // Photon. Technol. Lett., IEEE. – 1992. – 4, N 4. – P. 374–376.
4. Лукин К. А. О трансформации спектра стохастических колебаний автогенератора под действием отражений / К. А. Лукин, В. А. Ракитянский, Б. П. Ефимов // Журн. техн. физики. – 1988. – 58, № 12. – С. 2398–2400.

5. Лукин К. А. Шумовая радарная технология / К. А. Лукин // Радиофизика и электрон.: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – X., 1999. – 4, № 3. – С. 105–111.
6. Кулик В. В. Модификация метода двойной спектральной обработки шумовых сигналов / В. В. Кулик, К. А. Лукин, В. А. Ракитянский // Укр. метролог. журн. – 1997. – № 4. – С. 28–32.
7. Lukin K. A. Millimeter Wave Noise Radar Applications, Theory and Experiment / K. A. Lukin // The Fourth Int. Kharkov Symp. "Physics and Engineering of Millimeter and Submillimeter Waves" (MSMW'2001): proc. – Kharkov, 2001. – Vol. 1. – P. 68–73.
8. Lukin K. A. Spectral Interferometry method and autodyne (self-mixing) effect for Noise Radar Application / K. A. Lukin, V. V. Kulyk, A. A. Mogyla // Int. Workshop on the Noise Radar Technology: proc. – Yalta, 2002. – P. 179–186.
9. Mogila A. A. Statistical Errors of Ranging in the Spectral Interferometry Technique / A. A. Mogila, K. A. Lukin, V. V. Kulik // Telecommunications and Radio Engineering. – 2001. – 55, N 10–11. – P. 67–77.
10. Могіла А. А. Статистическая погрешность измерения расстояния методом спектральной интерферометрии / А. А. Могіла, К. А. Лукин, В. В. Кулик // Радиофизика и электрон.: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – X., 2000. – 5, № 1. – С. 163–170.
11. Лазерный измеритель расстояний на основе метода спектральной интерферометрии / К. А. Лукин, Ю. П. Мачехин, А. А. Могіла и др. // Прикладная радиоэлектрон. – 2010. – 9, № 2. – С. 240–245.
12. Bouma B. E. Handbook of Optical Coherence Tomography / B. E. Bouma, G. J. Tearney. – N. Y.: Marcel Dekker Inc, 2001. – 768 p.
13. Brundavanam M. M. Nanodisplacement measurement using spectral shifts in a white-light interferometer / M. M. Brundavanam, N. K. Viswanathan, D. Narayana Rao // Appl. Opt. – 2008. – 47, N 34. – P. 6334–6339.
14. Hlubina P. Dispersive white-light spectral interferometry to measure distances and displacements / P. Hlubina // Optics Communications. – 2002. – 212, Iss. 1–3. – P. 65–70.
15. Применение метода спектральной интерферометрии для измерения микро- и нанорасстояний. / К. А. Лукин, Ю. П. Мачехин, М. Б. Данаилов, Д. Н. Татыанко // Радиофизика и электрон. – 2011. – 2(16), № 1. – С. 39–45.
16. Nano-distance measurements using spectral interferometry based on light-emitting diodes / K. A. Lukin, M. B. Danaillow, Yu. P. Machehkin, D. N. Tatyanko // Appl. Radio Electronics. – 2013. – 12, N 1. – P. 166–171.
17. Manojlović L. M. A simple white-light fiber-optic interferometric sensing system for absolute position measurement / L. M. Manojlović // Optics and Lasers in Engineering. – 2010. – 48, N 4. – P. 486–490.

Рукопись поступила 10.02.2015.

К. А. Лукин, Д. Н. Татыанко, Ю. А. Шиян,
Л. В. Yurchenko, А. В. Bazakutsa

OPTICAL REFLECTOMETER BASED ON THE METHOD OF SPECTRAL INTERFEROMETRY

The paper presents the creation results of the optical low-coherent reflectometer based on spectral interferometry with a heterodyne frequency transfer into the radiorange that allows to measure distances of tens of kilometers. The reflectometer layout for micro-distances based on fiber-optic Fabry-Perot interferometer and broadband infrared source was designed, fabricated and tested. Based on these investigations the feasibility and advisability of using the low-coherence spectral interferometry method for reflectometry measurements of distances for fiber-optic communication lines was demonstrated.

Key words: optical low-coherence reflectometry, spectral interferometry, broadband sources of optical radiation, high-brightness light emission diodes, the heterodyne frequency transfer.

К. О. Лукін, Д. М. Татянюк, Ю. А. Шиян,
Л. В. Юрченко, А. В. Базакуца

ОПТИЧНИЙ РЕФЛЕКТОМЕТР
НА ОСНОВІ МЕТОДУ
СПЕКТРАЛЬНОЇ ІНТЕРФЕРОМЕТРІЇ

Надано результат розробки оптичного низькокогерентного рефлектометра на основі спектральної інтерферо-

метрії з гетеродинним перенесенням частоти в радіодіапазон, що дозволяє вимірювати відстані в десятки кілометрів. Розроблено, виготовлено й досліджено макет рефлектометра мікрометричного діапазону відстаней на базі волоконно-оптичного інтерферометра Фабрі–Перо і ширококутового джерела інфрачервоного випромінювання. На основі досліджень, що були проведені, показано можливість і доцільність використання методу низькокогерентної спектральної інтерферометрії для застосування в рефлектометричних вимірюваннях відстаней на волоконно-оптичних лініях зв'язку.

Ключові слова: оптична низькокогерентна рефлектометрія, спектральна інтерферометрія, ширококутові джерела оптичного випромінювання, надяскраві світлодіоди, гетеродинне перенесення частот.