

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТОВОЛОКНА ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННОГО КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Беятко А.Л., Сергеев Н.Н.

Урядов В.Н. – к.т.н., доцент

В современном мире оптические волокна (ОВ) нашли широкое применение в устройствах контроля и измерения физических параметров окружающей среды, таких как температура, натяжение, давление и т.п. Достоинствами датчиков на основе ОВ являются устойчивость к агрессивным воздействиям среды, пожаробезопасность, иммунитет к электромагнитному излучению. Самым главным достоинством, с точки зрения измерений и получения информации, является возможность проведения распределенных измерений, когда значение исследуемого параметра считывается по всей длине ОВ.

Внутримолекулярные вибрации, возникающие в ОВ под влиянием температуры, давления или растягивающих усилий, могут локально изменять характеристики пропускания света.

Внешние факторы вызывают колебания в кристаллической решетке твердого тела. Когда свет действует на эти колебания молекул, то частицы света (фотоны) взаимодействуют с электронами молекул, вызывая в оптическом волокне рассеяние света, состоящее из нескольких спектральных компонент: релеевского рассеяния, рамановского рассеяния и бриллюэновского рассеяния.

Для определения температуры наиболее важным параметром является рамановское рассеяние, которое в свою очередь имеет стоксовую и антистоксовую компоненты, спектрально сдвинутые на величину, эквивалентную резонансной частоте колебаний молекулярной решетки (рисунок 1).

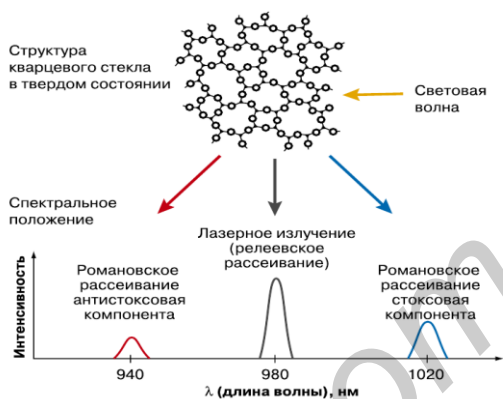


Рис. 1 – Спектр рамановского рассеяния

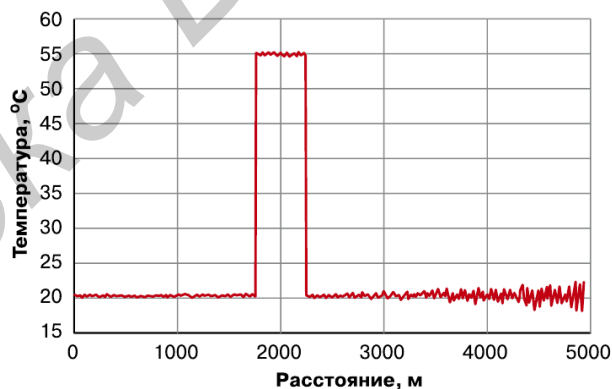


Рис. 2 – Расчет температуры линии

Зная скорость распространения света (основного сигнала с несущей частотой) в однородном кварцевом стекловолокне, а также математическую зависимость его затухания во времени (интенсивность отраженного пучка света уменьшается во времени по экспоненциальному закону) можно определить температуру в любой точке кабельной линии. Значение температуры и место рассчитывается из соотношений между интенсивностями основного сигнала, антистоксовых и стоксовых компонент света. Визуальное отображение окончательного расчета температуры линии показано на рисунке 2.

Рамановское излучение возникает при взаимодействии падающего (стимулирующего) излучения с температурной вибрацией молекул вещества среды распространения. Имеют место две линии рамановского сигнала – стоксова, расположенная правее по шкале длин волн от стимулирующего сигнала, и антистоксова – слева. Максимум интенсивности стоксовой (СЛ) и антистоксовой (АСЛ) линий для оптического волокна на основе кварца находится примерно на расстоянии ± 440 1/см. [1]

При этом уровень мощности рамановских линий на 20-30 дБ ниже уровня релеевского сигнала. Отношение интенсивностей АСЛ и СЛ определяется из выражения (1): [2]

$$\frac{I_a}{I_s} = \frac{\lambda_s^4}{\lambda_a^4} \cdot \exp\left(\frac{-h\nu}{kT}\right), \quad (1)$$

где I_a , I_s , λ_a , λ_s – интенсивность и длина волны СЛ и АСЛ; h – постоянная Планка; c – скорость света; k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура, V – расстояние от стимулирующего излучения до рамановских линий. Таким образом, для измерения температуры T достаточно знать отношение интенсивностей СЛ и АСЛ.

Распределение обратнорассеянного сигнала СЛ и АСЛ можно измерить с помощью оптического рефлектометра, а затем рассчитать температуру в каждой точке проложенного оптического волокна. На рисунке 3 представлена упрощенная структурная схема такого устройства. Устройство измерения температуры отличается от обычного OTDR (оптическая рефлектометрия во временной области) лишь наличием волоконно-оптического фильтра, выделяющего из общего обратнорассеянного сигнала сигналы СЛ и АСЛ, и оптического коммутатора, направляющего эти сигналы поочередно на фотодиод. На схеме обозначены: ОР — разветвитель; ОВ — оптическое волокно; ВОФ — волоконно-оптический фильтр; ОК — оптический коммутатор; ФД — фотодиод; У — усилитель; АЦП — аналого-цифровой преобразователь; ЦСП — цифровой сигнальный процессор; РС — компьютер.

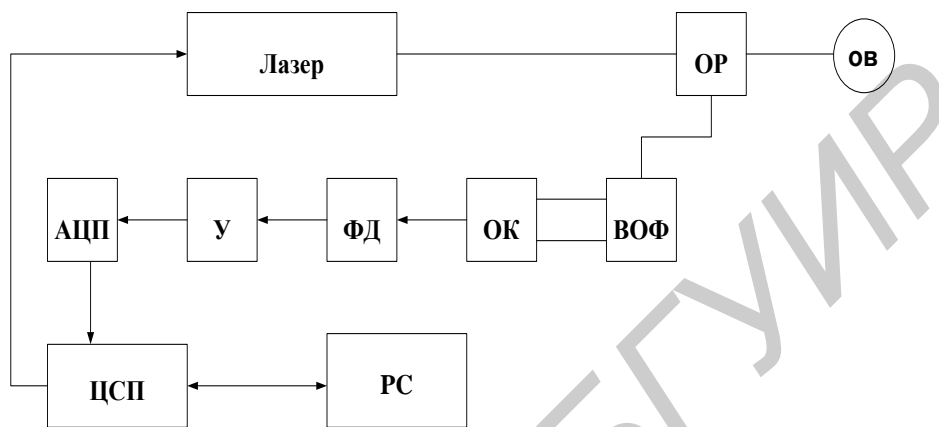


Рис. 3 - Схема системы контроля на основе рамановского излучения

Использование данного метода позволяет проводить непрерывный контроль температуры и целостности ОВ. Основные преимущества метода — это возможность использования обычных с примесью германия телекоммуникационных градиентных волокон, распределенный контроль в агрессивных средах и труднодоступных местах.

Список использованных источников:

1. ФОТОН-ЭКСПРЕСС, Научно-технический журнал №5(45) сентябрь 2005. -56 с.
2. Волоконно-оптические датчики. Вводный курс для инженеров и научных работников. Под ред. Э.Удда М.: «Техносфера», 2008. – 520 с
3. Новости электротехники №2(50) 2008.