

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ ФОРМЫ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

д.т.н. Е.А.Морцаков¹, д.т.н. В.Е.Овчаренко¹, О.В.Сычева²

¹Научно-исследовательский технологический институт приборостроения

²Харьковский национальный университет радиозлектроники

Контроль геометрических параметров места сварки оптических волокон выполняется методом фокусировки поперечного зондирующего пучка. Рассмотрены параметры формы, определяющие потери оптической мощности в месте сварки оптических волокон. Предложен алгоритм обработки измеренного изображения сварного соединения световодов и выделения контуров оболочки и оси сердцевины волокон.

1. Общая характеристика проблемы

При монтаже волоконно-оптических линий связи с расстоянием между ретрансляторами порядка десятков километров необходимо отдельные волоконные световоды соединять между собой. Это связано с тем, что строительная длина волокна обычно не превышает нескольких километров [1]. В этих и во многих других случаях при монтаже различных световодных систем часто возникает необходимость в осуществлении неразъемных соединений световодов. Одним из способов получения неразъемного соединения является сварка [2]. После выполнения операции сварки встает задача контроля оптико-геометрических параметров шва, которые определяют потери оптической мощности и полосу пропускания. При этом из-за большой длины световодов затруднительно использовать традиционные методы контроля оптических потерь, основанные на вводе сигнала с одного конца и его анализе на выходном конце. Актуальной задачей является разработка методов, свободных от данного недостатка, т.е. позволяющих по оптико-геометрическим параметрам сростка определить ожидаемый уровень потерь.

2. Анализ исследований и публикаций, посвященных решению проблемы

Качество сварки характеризуется вносимыми потерями оптической мощности. Потери оптического сигнала в основном зависят от позиционирования оптических волокон. Превышение допустимых значений смещений приводит к значительному росту вносимых оптических потерь [3]. Поэтому перед сваркой волокон выполняется юстировка ОВ. Методы юстировки можно классифицировать следующим образом: методы юстировки ОВ по внешнему диаметру оболочки, иммерсионно-оптический метод, метод юстировки по максимуму пропускаемой мощности (LID система), юстировка по методу флуоресценции сердцевины и метод фокусировки (PAS система).

Наиболее распространенный метод автоматической юстировки основан на системе PAS. При таком методе юстировке волокна освещаются пучком коллимированного некогерентного света так, что кварцевые оболочка и жила волокна фокусируют свет, действуя как цилиндрические линзы. Часть лучей претерпевают преломление на границах сердцевины-оболочка, вследствие чего в небольшой области за сердцевиной возникают провалы в распределении плотности световой энергии, которые в плоскости изображения наблюдаются в виде темных линий на

светлом фоне. Юстировка ОВ заключается в совмещении темных линий, соответствующих границам сердцевины первого и второго ОВ. При этом формируется изображение, на котором видны границы оболочки и световедущей жилы волокна, что позволяет определить эксцентриситет в каждом из соединяемых волокон.

Существует большое разнообразие высокоточных сварочных аппаратов, которые позволяют быстро и качественно сваривать волокна в полевых условиях. Различаются аппараты в основном своими эксплуатационными характеристиками, обусловленными методом юстировки волокон и оценкой потерь в сварных соединениях волокон. Для обеспечения удобства и быстродействия процесса сварки необходимо, чтобы юстировка, сварка и контроль волокон производились одним устройством, что делает актуальной задачу интеграции в сварочном устройстве всех этих функций.

В качестве параметров, учитываемых при оценке потерь в месте сварки ОВ, необходимо использовать смещение сердцевины, их наклон, изменение диаметра в месте стыка, эксцентриситет сердцевины относительно оболочки. Технология контроля параметров сварных соединений ОВ аналогична задаче контроля оптико-геометрических параметров самих оптических волокон и должна быть основана на специальных автоматизированных методах. Погрешность измерений в этом случае не должна превышать единиц процентов контролируемых величин, что составляет десятые доли микрометра. Использование контактных методов не обеспечивает требуемых точности и быстродействия контроля, поэтому широкое применение получили бесконтактные оптические методы. Бесконтактные методы измерения оптико-геометрических параметров ОВ характеризуются значительным разнообразием и достаточно простой физической реализацией. За последние годы было разработано большое число бесконтактных оптических методов, базирующихся на различных оптических явлениях: с применением микроскопов, теневые, ближнего поля, поляризационные, дальнего поля, дифракционный, интерференционный и голографический и др.[4].

На основе выполненного анализа можно сделать вывод, что наиболее приемлемым для применения в полевых условиях непосредственно после процесса сварки является использование метода фокусировки, что позволяет использовать имеющуюся в сварочном аппарате оптическую систему, а в отдельных случаях и блок восприятия изображения с микроконтролле-

ром. В данном случае требуется разработка специальных цифровых процедур, позволяющих по полученному изображению сварного соединения определить вносимые потери оптической мощности.

3. Постановка задачи

Целью исследований является создание математической методики определения параметров формы сварного соединения оптических волокон. Данная цель достигается решением следующих задач: разработкой структуры блока восприятия изображения соединения, методики предварительной обработки изображения для исключения шумов измерений, методики выделения границ областей оптических волокон и определения на этой основе параметров рассогласования волокон.

4. Теоретические основы технологии контроля

Определение оптико-геометрических параметров сварного соединения ОВ методом фокусировки основано на измерении распределения интенсивности излучения волокон матрицей элементов приемника с зарядовой связью (ПЗС), цифровом преобразовании и дальнейшей обработке полученного изображения. На рис. 1 представлена структурная схема устройства, предназначенного для получения и обработки изображения сварного соединения оптических волокон.

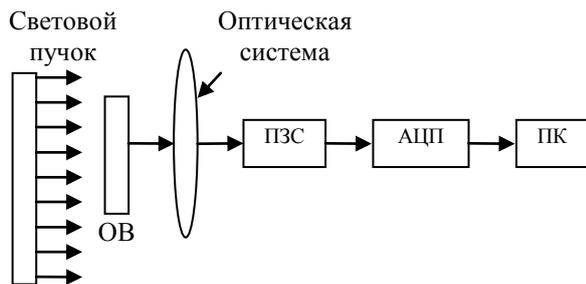


Рис. 1. Структурная схема устройства контроля сварных соединений оптических волокон

Полученное в такой системе изображение представлено на рис. 2. Процесс обработки измеренного изображения состоит из следующих основных этапов:

- ввод изображения;
- фильтрация;
- удаление фоновой составляющей;
- определение центра и границ сердцевины ОВ;
- определение геометрических параметров сварного соединения ОВ;
- вычисление потерь в сварном соединении ОВ.



Рис. 2. Изображение дефектного сварного соединения ОВ

удалить фоновую составляющую, которая не несет положительной информации и является источником дополнительной погрешности. После предваритель-

Для надежного определения оптико-геометрических параметров сварного соединения ОВ необходимо осуществить предварительную обработку изображения с целью исключения шумовых компонентов, а также

ной обработки измеренного изображения можно вычислять необходимые геометрические параметры сварного соединения, а затем и вносимые потери.

Смесь сигнала и шумовых составляющих можно представить в виде

$$\xi(x, y) = I(x, y) + n(x, y) + I_0(x, y), \quad (1)$$

где $I(x, y)$ – полезный сигнал; $n(x, y)$ – шумовая составляющая; $I_0(x, y)$ – фоновая составляющая.

В измеренном распределении интенсивности излучения (рис. 3), присутствуют высокочастотные и импульсные шумы, обусловленные различными загрязнениями оптических поверхностей устройств, неравномерностью чувствительности фотоприемника, дефектами объекта контроля, колебаниями питающего напряжения. Устранение шума может быть выполнено применением цифрового фильтра нижних частот.

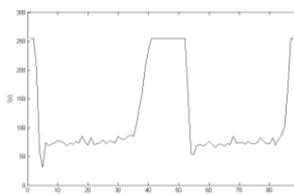


Рис. 3. Распределение интенсивности излучения до фильтрации

Наиболее приемлемым для решения поставленной задачи является фильтр Баттерворта. Фильтры Баттерворта нижних частот характеризуются тем, что имеют максимально гладкую амплитудную характеристику в полосе пропускания и в полосе подавления, а также хорошие параметры по изменению ослабления.

Необходимо выбрать такой фильтр Баттерворта, который обеспечивал бы прохождение информационной составляющей сигнала $I(x)$ при максимальном подавлении искажений. Для этого проведено моделирование с помощью пакета Matlab. На рис. 4 представлены сглаженные с помощью фильтров Баттерворта различных порядков и частотных характеристик распределения интенсивности излучения.

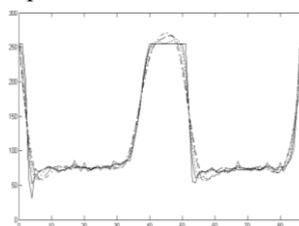


Рис. 4. Распределения интенсивности после фильтрации

Наиболее приемлемым является распределение, полученное при использовании фильтра Баттерворта первого порядка. При этом обеспечиваются наименьшие потери полезного сигнала и необходимое подавление помех.

$$I_t = (I_{max} - I_{min}) \cdot 0.3, \quad (2)$$

Для более точного определения центра и границ сердцевины оптоволокна необходимо удалить фоновую составляющую, которая не несет положительной информации и является источником погрешности. При этом пороговое значение интенсивности распределения определяется условием

где I_{max} и I_{min} – максимальное и минимальное значения интенсивности распределения соответственно. Полученный результат моделирования для одного поперечного сечения представлен на рис. 5.

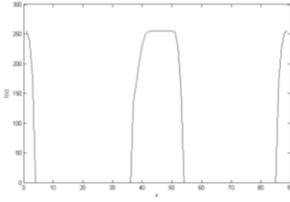


Рис. 5. Распределение интенсивности без фазовой составляющей

Координата центра сердцевины оптоволоконна X_c может быть определена как центр тяжести распределения, а границы сердцевины определяются рассеянием значений интенсивности от центра распределения. Так как в качестве устройства, осуществляющего дискретизацию изображения, используется матрица элементов ПЗС, то указанные характеристики представляются в дискретном виде

$$X_c = \frac{\sum I(x) \cdot x}{\sum I(x)}, \quad D = \frac{\sum I(x) \cdot x^2}{\sum I(x)} - X_c^2 \quad (3)$$

где $I(x)$ – интенсивность распределения в точке с координатой x .

С помощью разработанной программы осуществлено выделение указанных параметров (рис. 6).

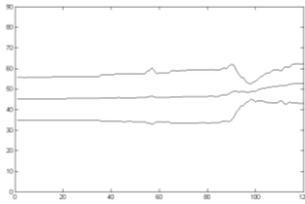


Рис. 6. Результат нахождения центра и границ сердцевины ОВ

Для определения углового смещения сердцевин волокон разработана методика, основанная на аппроксимации осей первого и второго ОВ по методу наименьших квадратов (рис. 7).

Система уравнений для нахождения коэффициентов прямых имеет вид

$$\begin{cases} a_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n i \cdot x(i) - \sum_{i=1}^n i \cdot \sum_{i=1}^n x(i)}{n \sum_{i=1}^n i^2 - \left[\sum_{i=1}^n i \right]^2} \\ a_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x(i) - a_1 \sum_{i=1}^n i}{n} \end{cases} \quad (4)$$

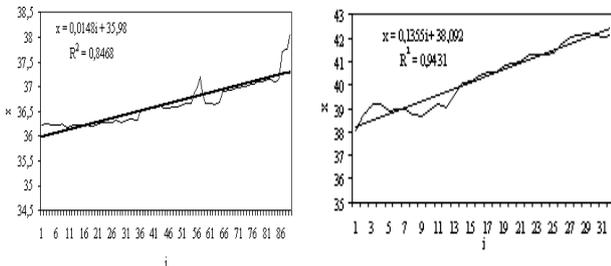


Рис. 7. Ось сердцевин первого и второго волокон

Достоверность построенных прямых проверяется расчетом коэффициента детерминации

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (\hat{x}(i) - \bar{x}(i))^2}{\sum_{i=1}^m (x(i) - \bar{x}(i))^2}, \quad (5)$$

где $\hat{x}(i)$ – регрессионные координаты точек, принадлежащих базовой линии;

$x(i)$ – среднее эмпирическое значение координат.

Чем ближе R^2 приближается к единице, тем больше координаты фазовой функции приближены к базовой линии регрессии. Значимость коэффициента детерминации проверяется с помощью F-статистики

$$F_R = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{m-t-1}{t-1}, \quad (6)$$

где m – количество измерений;

t – количество параметров уравнения регрессии (для прямой линии $t=2$).

Для заданной надежности p , степеней свободы $k_1 = t-1$, $k_2 = m-t-1$ находят по таблицам или рассчитывают F_{p,k_1,k_2} -статистику. Если

$F_R \geq F_{p,k_1,k_2}$, то коэффициент детерминации статистически значимый и полученным уравнением можно описать базовую линию. Для первого волокна $F_R = 225$, $F_{p,k_1,k_2} = 2,1$; для второго - $F_R = 249$, $F_{p,k_1,k_2} = 3,9$, что удовлетворяет данному условию, поэтому полученные уравнения статистически значимы. Уравнения, которыми описываются центры первого и второго волокон, имеют вид

$$x_1 = a_1 \cdot i + a_0, \quad x_2 = b_1 \cdot i + b_0. \quad (7)$$

Углы наклона волокон определяется коэффициентами a_1 и b_1

$$a = \arctg(a_1), \quad \beta = \arctg(b_1). \quad (8)$$

Разность между углами наклона волокон определяет угловую несогласованность:

$$\begin{aligned} \theta &= \arctg a_1 - \arctg b_1 = \\ &= \begin{cases} \arctg \frac{a_1 - b_1}{1 + a_1 b_1}, a_1 b_1 > -1 \\ \pi + \arctg \frac{a_1 - b_1}{1 + a_1 b_1}, a_1 > 0, a_1 b_1 < -1 \\ -\pi + \arctg \frac{a_1 - b_1}{1 + a_1 b_1}, a_1 < 0, a_1 b_1 < -1 \end{cases} \end{aligned} \quad (9)$$

6. Выводы

Проведен сравнительный анализ существующих бесконтактных методов контроля оптических волокон, рассмотрены различные методы юстировки ОВ. В качестве наиболее оптимального для исследования сварных соединений ОВ в полевых условиях, выбран метод фокусировки. Построена структурная схема устройства формирования изображения сварного соединения ОВ. Разработан алгоритм обработки измеренного изображения, основными блоками которого являются: фильтрация, удаление фона, вычисление параметров сварного соединения ОВ. Для устранения воздействия шумов и обеспечения точных измерений выполняется обработка изображения фильтром Бат-

терворта нижних частот первого порядка. Разработана методика и программное обеспечение для выделения координат центра и границ сердцевины оптического волокна. Предложена методика определения величин смещений сердцевины и отклонений диаметров оптических волокон по изображению выделенных границ и осей сердцевины волокон.

Литература:

1. Введение в технику измерений оптико-физических параметров световодных систем / *А. Ф. Котюк, Ю. А. Курчатова, Ю. П. Майборода и др.*; Под ред. *А. Ф. Котюка*. – М.: Радио и связь, 1987.–224с.

2. *Красюк Б. А., Корнеев Г. И.* Оптические системы связи и световодные датчики. Вопросы технологии. – М.: Радио и связь, 1985.–192с.

3. Справочник по волоконно-оптическим линиям связи / *Л.М. Андрушко, В.А. Вознесенский, В.Б. Каток и др.*; Под ред. *С.В. Свечникова и Л.М. Андрушко*.–К.: Техника, 1988.–239с.

4. *Лазарев Л. П., Мировицкая С. Д.* Контроль геометрических и оптических параметров волокон. – М.: Радио и связь, 1988.– 280с.

5. *Рабинер Л., Гоулд Б.* Теория и применение цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1978.–848с.

6. *Новицкий П. В., Зограф И. А.* Оценка погрешностей результатов измерений. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1991.–304с.

7. *Филипенко А.И.* Метод анализа интенсивности излучения и его использование в производстве волоконно-оптических компонентов // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб.–Вып.110.–1999.–С.130-133.