

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЖМОДОВОЙ ДИСПЕРСИИ МНОГОМОДОВЫХ КВАРЦЕВЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫМ СПОСОБОМ

А. А. Каваленя

rct.kavaleny@bsu.by;

*Научный руководитель — А. В. Поляков, кандидат физико-математических наук,
доцент*

Получено значение межмодовой дисперсии многомодового кварцевого градиентного волоконного световода рециркуляционным способом, при этом относительная погрешность измерений не превышала 2 %. Рассчитаны такие характеристики волокна как параметр профиля показателя преломления, форма распределения показателя преломления вдоль сердцевины волокна, число распространяющихся мод.

Ключевые слова: многомодовое оптическое волокно; межмодовая дисперсия; рециркуляционный способ; характеристики градиентного волокна.

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на широкое распространение в настоящее время одномодовых волоконных световодов, применение многомодовых оптических волокон (ОВ) не утратило свою актуальность в локальных сетях передачи данных конечному потребителю в том случае, когда длина волоконного световода не превышает нескольких километров. Одним из основных параметров, ограничивающих информационную пропускную способность таких систем, является дисперсия. При эксплуатации многомодовых ОВ часто стоит задача определения их дисперсионных параметров в том случае, когда отсутствуют паспортные данные. Традиционно для определения межмодовой дисперсии используют метод регистрации уширения оптического импульса. Однако данный метод неприменим при исследовании коротких волоконных световодов с длинами от десятков до несколько сот метров.

РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ

В данной работе для определения среднеквадратического значения межмодовой дисперсии σ_m (являющейся доминирующей в многомодовых волокнах) в ОВ длиной (10–500) м был использован рециркуляционный способ [1], основанный на изменении частоты рециркуляции одиночного импульса при относительном смещении торцов исследуемого и короткого (длиной 1–2 м) зондирующего ОВ. Для экспериментов использовался волоконно-оптический датчик (ВОД) на основе оптоэлектронной рециркуляционной системы (ОЭРС) с периодической регенерацией

амплитуды, длительности и формы импульсов на каждом цикле рециркуляции. В данной схеме частота рециркуляции однозначно определяется суммой задержек во всех элементах контура. Принцип измерения заключается в следующем. Измеряемый отрезок многомодового волокна жестко закреплен. Один конец короткого (~ 1 м) зондирующего ОВ смещается в радиальном направлении относительно оптической оси с помощью микрометрического устройства, а другой конец соединен с фотоприемником. Воздушный промежуток между торцами ОВ являлся селектором пространственных мод. При совпадении оптических осей ОВ частота рециркуляции максимальна, поскольку на приемный блок попадают "быстрые" лучи, распространяющиеся вдоль оптической оси. В результате относительного смещения торцов волокон происходит пространственная селекция мод многомодового ОВ и наблюдается уменьшение частоты рециркуляции, поскольку период циркуляции определяется уже более "медленными" модами, распространяющимися под углом к оптической оси. Поскольку диаметр сердцевины зондирующего ОВ является достаточно небольшим (для одномодового ОВ 9 мкм), это обеспечивает повышенную селективность мод. Таким образом, регистрируя изменение частоты рециркуляции и зная длину ОВ, можно оценить величину σ_m .

Для исследуемого волокна выражение для расчета величины смещения имеет вид:

$$\Delta l = \frac{S}{\sqrt{\left(\frac{1}{NA}\right)^2 - 1}}, \quad (1)$$

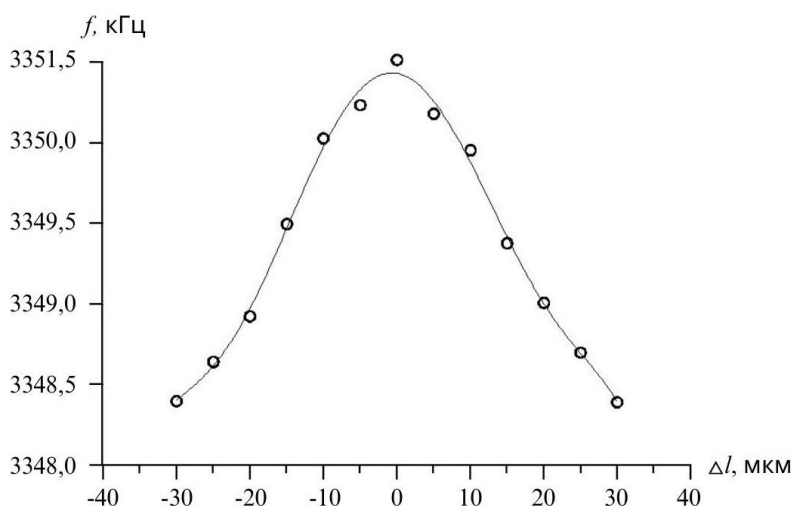
где NA – числовая апертура ОВ.

Согласно выражению (1), при воздушном зазоре между торцами волокон $S=150$ мкм, для того чтобы пространственные моды, выходящие из исследуемого ОВ под критическим углом, попадали на оптическую ось зондирующего ОВ, необходимо сместить его на 30 мкм относительно оптической оси.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. представлена экспериментальная зависимость изменения частоты рециркуляции от величины смещения для многомодового кварцевого градиентного ОВ длиной 52 м на длине волны 0,825 мкм.

Можно видеть, что при совпадении оптических осей волокон средняя частота рециркуляции для времени измерения частотомера 1 с и снятии семи экспериментальных значений для каждой точки, равнялась $f_0=3350516$ Гц. При относительном смещении оптических осей ОВ на $\Delta l=30$ мкм частота рециркуляции уже составляла $f_1=3348416$ Гц, а изменение частоты рециркуляции равнялось $\Delta f \approx 2100$ Гц.



Зависимость частоты рециркуляции ВОД от величины смещения торца зондирующего ОВ относительно оптической оси

Межмодовая дисперсия вычислялась по формуле:

$$\sigma_M = \frac{0,425}{L} \left(h_M \left[\frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_0} \right] \right), \quad (2)$$

где длина ОВ измерялась в километрах, а h_M определяла ту часть изменения частоты рециркуляции, которая обусловлена межмодовой дисперсией.

Рассчитанная по формуле (2) с использованием данных на рис. межмодовая дисперсия в нашем эксперименте составляла величину $\sigma_M = 1,190 \pm 0,012$ нс/км. Это соответствует ширине полосы многомодового ОВ $357,1 \pm 3,4$ МГц·км. Экспериментально полученная величина полосы пропускания ОВ хорошо совпадала с паспортным значением исследуемого волокна 350 МГц·км для данной длины волны. Относительная погрешность измерений межмодовой дисперсии не превышала 2 %. Данная методика позволяет определять межмодовую

временную дисперсию многомодовых ОВ как с градиентным, так и со ступенчатым профилем показателя преломления.

Дисперсионные свойства многомодовых градиентных ОВ сильно зависят от параметра профиля показателя преломления α и могут различаться на несколько порядков [2]. Для минимизации межмодовой дисперсии при изготовлении волокон обычно стремятся сделать величину α близкой к 2, что соответствует минимальной межмодовой дисперсии, однако в процессе производства ОВ для различных образцов значения α , как правило, отклоняются от оптимальной величины. Известно [2], что среднеквадратическая межмодовая дисперсия σ_m для данной длины волны связана с параметром α следующими соотношениями:

$$\sigma_m = \frac{LN_0\Delta}{c} \left[\frac{C_1^2\alpha^2}{(\alpha+2)(3\alpha+2)} + \frac{C_1C_2\alpha^2\Delta}{(\alpha+2)(2\alpha+1)} + \frac{C_2^2\alpha^2\Delta^2}{(\alpha+2)(5\alpha+2)} \right]^{1/2},$$

$$C_1 = (\alpha - 2 - 4\delta)/2(\alpha + 1); C_2 = (3\alpha - 2 - 8\delta)/(3\alpha + 2), \quad (3)$$

$$\Delta = (n_0^2 - n_1^2)/2n_0^2; N_0 = n_0 - \lambda \frac{dn_0}{d\lambda}; \delta = -\frac{n_0}{2N_0} \frac{\lambda}{\Delta} \frac{d\Delta}{d\lambda},$$

где зависимость показателя преломления от длины волны описывается трехчленной формулой Селмейера.

Подставляя в формулы (3) полученное значение σ_m и решая обратную задачу нашли, что для исследуемого волокна с $n_0=1,475$ и $n_1=1,465$ (числовая апертура $NA=0,17$) величина α равнялась 2,12. Для полученного значения α -профиля показателя преломления рассчитаны зависимость распределения показателя преломления вдоль сердцевины градиентного многомодового волоконного световода и количество распространяющихся мод, равное 274.

Библиографические ссылки

1. Поляков А. В., Чубаров С. И. Определение дисперсионных характеристик многомодовых оптических волокон рециркуляционным способом // Датчики и системы. 2002. № 3. С. 12–15.
2. Гауэр Дж. Оптические системы связи. М.: Радио и связь, 1989. 501 с.