

УДК 681.7.068

А.Е.Нефёдов (6 курс, каф. РФ), О.И.Котов, д.ф.-м.н., проф.

КОЭФФИЦИЕНТ ЭКСТИНКЦИИ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЯЮЩИХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ

ABSTRACT: The simple technique of measurement of coefficient extinction of birefringence optical fiber is submitted on the basis of an interference of polarizing modes on an output of the analyzer. In the theoretical analysis method Muller is used in view of final width of a line of an optical source. Fiber lengths are measured in experiments from 4 to 1000 m at which the coefficient extinction changed in a range from 100 to 20000. Results of measurements are well coordinated to results of calculations.

В настоящее время в схемах волоконно-оптических датчиках часто используют линейно двулучепреломляющие оптические волокна. При определённых условиях возбуждения такие волокна способны сохранять состояние линейной поляризации света в процессе его распространения по волокну. В волокнах данного типа могут распространяться лишь две линейно поляризованные, ортогональные собственные моды с разными фазовыми скоростями. При этом вследствие случайных неоднородностей формы и остаточных напряжений в материале часть энергии одной из собственных мод волокна перекачивается в ортогональную моду, то есть моды не являются независимыми. Это проявляется в том, что при возбуждении только одной моды на входе волокна, на выходе будут присутствовать две моды, вторая из которых будет паразитной. Количественно такую связь мод принято характеризовать коэффициентом экстинкции: $\eta = I_x/I_y$ где I_x, I_y — интенсивности ортогональных линейно поляризованных мод на выходе волокна, при условии, что на входе возбуждена только составляющая I_x .

В данной работе представлена оригинальная методика измерения коэффициента с использованием высококогерентного источника света и явления интерференции поляризационных мод на выходе анализатора. Также производился теоретический анализ работы представленного метода с учётом конечной когерентности источника света, накладывающей ограничения на длину испытуемого волокна ($L < 10000$ м). В данном методе отсутствует необходимость точного входного поляризационного согласования, появляется возможность измерения коэффициента экстинкции на коротких отрезках с использованием поляризаторов среднего качества ($\eta \sim 10^3 \div 10^4$).

В экспериментальной установке используются высококогерентный полупроводниковый лазер ($\lambda = 1,5$ мкм), линейно поляризованное излучение которого вводится в световод под произвольным углом α к одной из его осей, часть которого длиной $5 \div 10$ см вблизи входного торца подвергается нагреву для изменения разности фаз поляризационных мод более чем на π . Анализатор, закреплённый в поворотном устройстве, устанавливался под определённым углом с дискретностью 5 градусов в диапазоне $[0^\circ, 180^\circ]$.

По показаниям цифрового вольтметра регистрировались максимальное U_{MAX} и минимальное U_{MIN} значения напряжений на нагрузке фотоприёмника при изменении температуры части световода, соответствующие максимальной и минимальной интенсивности света проходящего через анализатор. Из полученных результатов рассчитывались зависимости коэффициентов модуляции и пропускания от угла поворота анализатора Φ (рис. 1):

$$m(\Phi) = \frac{U_{MAX} - U_{MIN}}{U_{MAX} + U_{MIN}}, \quad k(\Phi) = \frac{U_{MAX} + U_{MIN}}{2U_{av}}, \quad \text{где } U_{av} - \text{среднее значение суммы } (U_{MAX} + U_{MIN}) \text{ по}$$

всем углам Φ . Положение осей двулучепреломления волокна определялись по координатам

минимумов $m(\Phi)$. По максимальным и минимальным значениям коэффициента пропускания $k(\Phi)$ определяются условия возбуждения поляризационных мод волокна (угол α) по формуле: $\operatorname{tg} \alpha = \left(\frac{k_{MAX}}{k_{MIN}} \right)^{\frac{1}{2}}$. По измеренным минимальным значениям коэффициента модуляции

m_x, m_y можно приближенно вычислить коэффициент экстинкции данного волокна по формуле: $\eta = \frac{4}{m_x m_y}$.

Для построения теоретической модели метода применялся матричный метод Мюллера, в котором линейно поляризованное излучение лазера определялось вектором Стокса. Также в модели учитывалась конечная ширина линии излучения источника. Так для лоренцевой формы линии были рассчитаны зависимости коэффициентов модуляции и пропускания от угла поворота анализатора Φ :

$$m(\Phi) = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \frac{\sin 2\Phi \sin 2\alpha}{1 + \cos 2\Phi \cos 2\alpha} \cdot \exp\left(-\frac{2\pi}{k_0 L_B} \cdot L \cdot \frac{\delta}{2c}\right)$$

$$k(\Phi) = \frac{I_{\max} + I_{\min}}{2 \cdot I_{av}} = 1 + \cos 2\Phi \cos 2\alpha$$

где $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}$ соответствует центру линии излучения, L_B – длина биений мод, δ – ширина лоренцевой линии. Полученные зависимости были построены для двулучепреломляющего волоконного световода длиной 100 м, с длиной биений мод равной 4 мм (рис. 1).

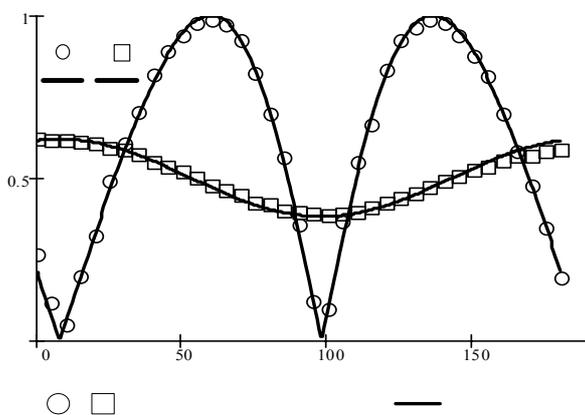


Рис. 1. Теоретические и экспериментальные зависимости $m(\Phi)$, $k(\Phi)$ для ДЛП волокна длиной 100 м.

На рис. 2 представлена зависимость коэффициента экстинкции двулучепреломляющего волокна от его длины, полученная после обработки экспериментальных результатов. Как видно из этой зависимости, данный метод довольно точно определяет экстинкцию волокна на отрезках длиной более 10 м, на отрезках менее 10 м измерения затруднены из-за увеличения влияния шумов на результаты измерений.

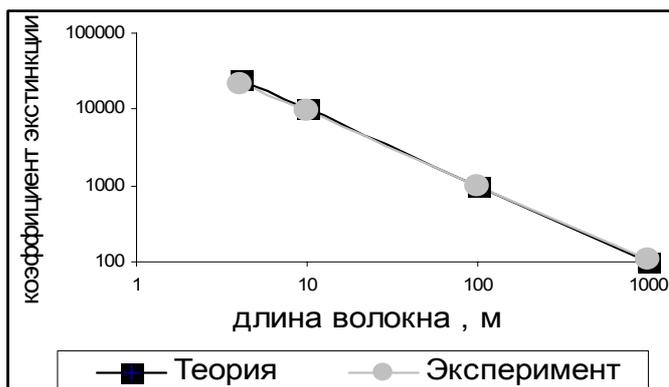


Рис. 2. Зависимость коэффициента экстинкции от длины световода.

Таким образом, по результатам проведённых экспериментов можно судить о высокой точности определения коэффициента экстинкции рассмотренным методом в достаточно широком диапазоне длин световодов, верхняя граница которого определяется длиной когерентности источника ($L < 10\text{км}$), а нижняя ограничена шумами измерительной установки ($L > 10\text{м}$).