

## Частотный метод измерения длины оптического волокна

*Балабан В.М., Мачехин Ю.П. д.т.н., проф.,*

*Расчектаева А.И., Тимофеев Е.П. к.т.н.*

*ННЦ “Институт метрологии”*

г. Харьков ул. Мироносицкая, 42, Харьков-2, Украина,

тел.: (+38 057) 704 9793, e-mail: [angelika@metrology.kharkov.ua](mailto:angelika@metrology.kharkov.ua)

*Рассмотрены вопросы метрологического обеспечения параметров оптического волокна, предложен новый метод измерения времени распространения лазерного излучения в оптическом волокне реализованный в национальном эталоне Украины.*

**Введение.** В настоящее время волоконно-оптические системы связи и передачи информации (ВОСП) стали доминирующими во всех индустриальных странах мира. Одним из центральных направлений дальнейшего развития ВОСП являются TDM, WDM и DWDM системы передачи информации [1,2].

В этой связи точное знание используемых оптических каналов связи становится актуальным для решения очень важных научных и прикладных задач. В процессе производства многомодового и одномодового волокна ОВ (или оптического кабеля (ВОК)) необходимо контролировать как длину оптического волокна, так и потери в нем. В процессе длительной эксплуатации ВОСП возникают эффекты постепенного изменения параметров волокна, в частности возрастания потерь, а также внезапные нарушения целостности волокна.

Все перечисленные задачи требуют высокоточного измерения длины оптического волокна, основанного на измерении временных интервалов распространения оптического импульса в волокне. Эти измерения обычно проводятся с помощью оптических рефлектометров (ОР).

В связи с практической значимостью ВОСП, актуальными являются вопросы метрологического обеспечения парка постоянно совершенствуемых измерительных приборов. Целью настоящей работы было разработка новых более высокоточных методов и средств метрологического обеспечения измерений времени распространения лазерного излучения в оптическом волокне.

**Основная часть.** Одним из первых был разработан комплексный эталон в Российской Федерации, обеспечивающий метрологическую аттестацию, калибровку и поверку всех основных приборов, используемых в работе волоконно-оптических линий связи.

Основное отличие эталона Украины от эталона России в применении новых методов и средств метрологического обеспечения измерений времени распространения лазерного излучения в оптическом волокне.

Основой эталона Украины является автогенератор с оптической линией задержки, в цепях которого происходит преобразование оптического сигнала в электрический и наоборот. Автогенератор формирует последовательность оптических импульсов (оптический меандр). В работах [3, 4] была подробно исследована ситуация формирования такого оптического меандра в условиях применения в качестве линии задержки оптического волокна.

Если измерить частоту генерации  $f_1$  автогенератора в случае, когда оптическое волокно внесено в оптический тракт, и частоту генерации  $f_0$  в случае, когда оно вынесено из оптического тракта, то по этим двум частотам можно вычислить время распространения оптического излучения в волокне по следующей формуле (1):

$$T = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_0} \right). \quad (1)$$

Частота следования генерируемых прямоугольных импульсов определяется постоянными времени всех элементов схемы, в которых распространяется электрический сигнал, и временем распространения оптического излучения в оптических элементах схемы. Рассмотренная в [4] периодическая последовательность прямоугольных импульсов, частота следования которой зависит от длины оптического волокна, внесенного в оптический тракт. И в отсутствие усилителя является неустойчивой, точнее затухающей последовательностью оптических импульсов.

В настоящей работе был использован модифицированный генератор оптического меандра, устройство генерирует периодическую последовательность прямоугольных импульсов, частота следования которых определяется суммарной постоянной времени электронного участка цепи (включающего фотоприемник оптического излучения, пороговое устройства, блок питания источника оптического излучения и сам источник оптического излучения), а также оптической длиной пути, проходимого излучением от источника до приемника, в том числе оптической длиной измеряемого оптического волокна. Частота следования генерируемых импульсов  $f_1$  и  $f_0$  измеряется частотомером.

Предложенный метод измерения времени распространения лазерного излучения в оптическом волокне реализован в Государственном первичном эталоне, который обеспечивает воспроизведение времени распространения излучения в световоде на фиксированных длинах волн со среднеквадратическим отклонением (СКО) результата измерения  $S_T$ , которое не превышает  $(1 \times 10^{-11} + 0,5 \times 10^{-6} \times T)$  с при 10 независимых наблюдениях и с неисключенной систематической погрешностью (НСП)  $\Theta_T$ , которая не превышает  $(2 \times 10^{-11} + 2 \times 10^{-6} \times T)$  с. Расширенная неопределенность не превышает  $U_{0,95} = (2,5 \times 10^{-11} + 2 \times 10^{-6} \times T)$  с для доверительной вероятности  $p=0,95$ ;  $U_{0,99} = (3,75 \times 10^{-11} + 3 \times 10^{-6} \times T)$  с для доверительной вероятности  $p=0,99$  [5].

**Заключение.** Воспроизведение единицы длины волокна осуществляется путем прямого измерения времени распространения электромагнитной волны в оптическом волокне, что связано с современным определением метра, принятым в 1983 году Международной комиссией по мерам и весам, и связывает единицу длины с единицей времени и частоты через фундаментальную константу скорость света, значение которой принято по международному соглашению.

#### Список литературы

1. Андре Жирар. Руководство по технологии и тестированию систем WDM. Москва: EXFO, 2001. 262 с.
2. International telecommunication union. G.694.1 Spectral grids for WDM application; DWDM frequency grid. 2002.
3. Machehin Yu.P., Raschektayeva A.I., «Metrology maintenance optic time-domain reflectometers» //Proc. LFNМ 2001 3<sup>nd</sup> International Workshop on Laser and Fiber-Optical Networks Modeling. 2001. PP. 202-205.
4. Данелян А.Г., Мачехин Ю.П., Расчектаева А.И., Исследование устойчивой работы генератора оптического меандра // Прикладная электроника. 2007. Том 6. № 4. С. 578–582.
5. Балабан В.М., Грищенко Л.В., Расчектаева А.И., Тимофеев Є.П. Державний первинний еталон одиниць середньої потужності в імпульсі випромінювання, потужності неперервного випромінювання у світловоді та часу розповсюдження випромінювання у світловоді // Український метрологічний журнал. 2009. № 1. С. 43–48.