

УДК 53.088

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ТРАКТА ВТОРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЛАЗЕРНОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА

В. Ф. ПОЗДНЯКОВ, Е. В. ПОЗДНЯКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

UDC 53.088

ESTIMATION OF THE ERROR OF THE OPTICAL PATH OF THE SECONDARY LASER INTERFEROMETER CONVERTER

V. F. POZDNIAKOV, E. V. POZDNIAKOVA

Аннотация. Использование волоконно-оптических вторичных преобразователей для восприятия интерференционной картины позволяет упростить конструкцию устройства, вывести сигнал оптической информации за пределы самой оптической схемы. При этом любой элемент будет вносить определенную составляющую суммарной погрешности всего устройства в целом. В работе рассмотрен волоконно-оптический дискретный преобразователь как приемник периодического оптического сигнала и дана оценка погрешности, вносимой им в процесс измерения.

Ключевые слова: волоконно-оптический преобразователь, погрешность, уровень сигнала, функция распределения, погрешность дискретов.

Abstract. The use of fiber-optic secondary converters for the perception of the interference pattern makes it possible to simplify the design of the device to output the optical information signal beyond the optical circuit itself. At the same time, naturally, any element will contribute a certain component of the total error of the entire device as a whole. The paper considers a fiber-optic discrete converter as a receiver of a periodic optical signal and estimates the error introduced by it into the measurement process.

Keywords: fiber-optic converter, error, signal level, distribution function, sampling error.

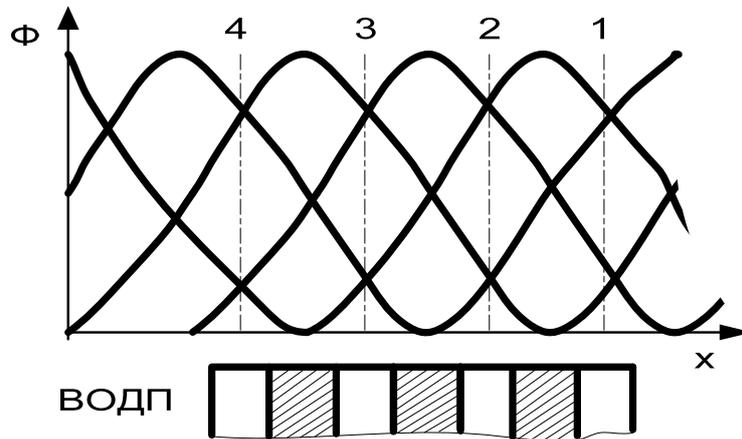
Для восприятия и преобразования периодического оптического сигнала в таких оптических приборах, как лазерный интерферометр или растровые преобразователи на основе муаровых полос с успехом могут использоваться волоконно-оптические дискретные преобразователи (ВОДП) [1, 3]. Они позволяют исключить из состава приборов такие элементы, как диафрагмы, поляризаторы, светоделительные элементы и тем самым упростить схему прибора и согласование с фотоэлектрическими преобразователями [4].

ВОДП набран из лент световодов, толщина которых меньше $1/4$ шага периодического оптического сигнала. Сдвиг фаз воспринимаемого оптического сигнала осуществляется установкой двух рядом расположенных световодов преобразователя на расстояние не равное периоду интерференционных или муаровых полос [2]. С энергетической точки зрения две полосы ВОДП должны быть сдвинуты на величину, равную половине шага полосы. Однако в этом случае теряется информация о направлении перемещения полос. Отсюда

следует, что линейки ВОДП должны иметь смещение в интервале $0 < t_{см} < \pi$. При этом должны выполняться следующие требования:

- количество дискретов ВОДП должно быть не менее двух;
- обязательное наличие двух уровней сигнала с целью согласования преобразователя с цифровыми устройствами обработки данных;
- равномерное расположение дискретов ВОДП относительно периода оптического сигнала;
- обеспечение наибольшей разности между максимальными и минимальными уровнями сигналов при фиксации энергетических состояний.

Приведенные требования могут быть выполнены с двумя, тремя или четырьмя дискретами ВОДП (большее количество не целесообразно из-за усложнения электронной схемы обработки измерительной информации). ВОДП с двумя и четырьмя дискретами практически равнозначны, поэтому рассмотрим два варианта: с тремя и четырьмя дискретами. На рис. 1 и 2 показаны схемы установки четырехдискретного и трехдискретного ВОДП.



Логическое состояние оптических сигналов					
1	0	0	1	1	Цена одного импульса для интерференционной картины $\lambda/8$
2	0	1	1	0	
3	1	1	0	0	
4	1	0	0	1	

Рис. 1. Схема расположения четырехдискретного ВОДП относительно периодического оптического сигнала

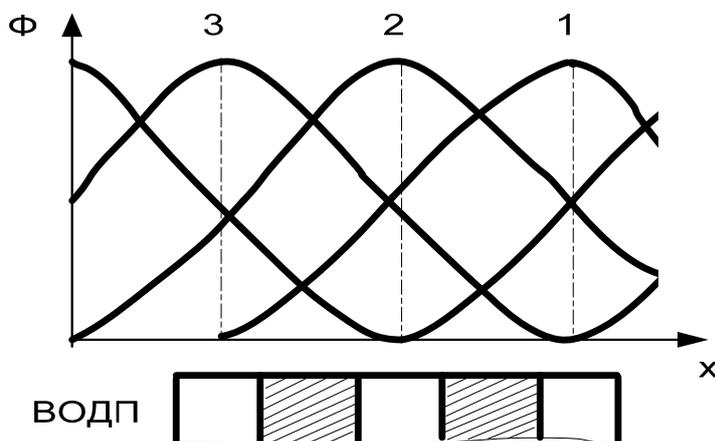
Рассмотрим разность уровней сигналов в ВОДП при разных вариациях. При четырех дискретах

$$U_4 = \cos \frac{\pi}{4} - \cos \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{4} \right) = \sqrt{2} . \quad (1)$$

При трех дискретах

$$U_3 = \cos 0 - \cos \frac{2\pi}{3} = 1,5. \quad (2)$$

Таким образом, при прочих равных условиях ВОДП с тремя дискретами позволяет получить большую разность уровней сигналов, тем самым повышает достоверность получаемой измерительной информации.



Логическое состояние оптических сигналов				
1	0	0	1	Цена одного импульса для интерференционной картины $\lambda/6$
2	0	1	1	
3	1	1	0	

Рис. 2. Схема расположения трехдискретного ВОДП относительно периодического оптического сигнала

Введение ВОДП требует оценки погрешности, вносимой данным элементом в суммарную погрешность оптического преобразователя.

Главным фактором, влияющим на погрешность ВОДП, является погрешность его изготовления Δ_c , определяемая как результат погрешности изготовления отдельных дискретов и их расположения Δ_i :

$$\sum_i^n = \Delta_i = \Delta_c. \quad (3)$$

При этом погрешность Δ_i , с учетом технологического разброса ширины дискретов h , имеет нормальное распределение с нулевым математическим ожиданием и дисперсией. Тогда плотность вероятности

$$P(\Delta_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_0} \cdot \exp\left(-\frac{\Delta_i^2}{2\sigma_0^2}\right). \quad (4)$$

Поскольку все значения Δ_i независимы, то плотность вероятности также описывается выражением

$$P(\Delta_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_0 \sqrt{k}} \exp \left[-\frac{\Delta_c^2}{2(2\sqrt{k} \cdot \sigma_0)} \right], \quad (5)$$

где k – число дискретов.

Из (5) следует, что $\sigma_k = \sqrt{k} \cdot \sigma_0$ возрастает с увеличением k . Очевидно, что погрешность всего ВОДП, определяемая значением σ_k , будет зависеть от k . Эта погрешность с принятым значением $P = 0,997$ не выйдет за пределы

$$|\Delta_k| < \frac{3}{2} \sigma_k. \quad (6)$$

Таким образом, считая заданным количество дискретов и полагая, что погрешность Δ_k (из технологических соображений) не должна превышать величины $h/5$, можно определить минимально допустимое h при известных отклонениях h' от h .

$$h' = h \pm \Delta_{изг},$$

где $\Delta_{изг}$ – допуск на толщину дискрета.

В этом случае

$$3\sigma = 2 |\Delta_{изг}|.$$

Требуемое условие выразится

$$3\sigma < 2 \left| \frac{h}{2} \right|; \quad 3\sigma < 0,4 h \quad (7)$$

или

$$3\sqrt{k} \cdot \sigma_0 < 0,4 h; \quad 2 \Delta_{изг} \sqrt{k} < 0,4 h; \quad h > 5 \sqrt{k} \cdot \Delta_{изг}. \quad (8)$$

Таким образом, выражение (8) определяет минимальную толщину дискрета в зависимости от их количества и допуска на изготовление.

Оценим погрешность, вносимую ВОДП, при условии, что две крайние линейки (дискрета) установлены точно относительно интерференционных полос. Тогда основная погрешность определяется накопленной погрешностью Δ_n изготовления отдельных дискретов и промежутков между ними. Полагая, что все отклонения имеют один знак, составим соотношения

$$\frac{\Delta_n}{t} = \frac{\Delta_B \cdot 2}{\lambda}; \quad \Delta_{изг} = \frac{h}{5\sqrt{k}},$$

где t – шаг интерференционной полосы; Δ_B – погрешность, вносимая ВОДП.

Учитывая, что $\Delta_n = \Delta_{изг} (k - 2)$, а $\Delta_{изг} = \frac{h}{5\sqrt{k}}$, находим

$$\Delta_B = \frac{\lambda \cdot h \cdot (k - 2)}{10t \cdot \sqrt{k}}.$$

Несмотря на то, что данная погрешность для ВОДП является систематической, для интерферометрических полос она является случайной, т. к. неизвестно с какого дискрета ВОДП начнется счет измерительных импульсов. Вследствие этого учесть ее как систематическую невозможно.

Для конкретных размеров ВОДП при $h = 0,4$ мм и $k = 5$ погрешность Δ_v составляет величину $0,15 \cdot 10^{-8}$ м, что значительно меньше разрешающей способности интерферометрического преобразователя.

Таким образом, ВОДП не вносит значительной погрешности в общую погрешность лазерного интерферометра.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Коломийцев, Ю. В.** Интерферометры / Ю. В. Коломийцев. – Ленинград: Машиностроение, 1976. – 296 с.
2. Устройство для измерения линейных перемещений: а. с. 1237906 / В. Ф. Поздняков [и др.]. – Оpubл. 15.06.1986.
3. **Фукс-Рабинович, Л. И.** Оптико-электронные приборы / Л. И. Фукс-Рабинович, М. В. Епифанцев. – Ленинград : Машиностроение, 1979. – 362 с.
4. **Зак, Е. А.** Волоконно-оптические преобразователи с внешней модуляцией / Е. А. Зак. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 128 с.