

07;12  
©1995

## ДИСТАНЦИОННЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ ДАТЧИК

*С.П.Гиневский, О.И.Котов, Л.Б.Лихумович,  
А.В.Медведев, В.М.Николаев, В.Ю.Петрунькин*

Для практических применений часто необходима такая конструкция волоконно-оптического интерферометрического датчика, в которой чувствительный элемент является пассивным, удаленным от излучателя, приемника и системы регистрации и связан с ними чисто волоконным трактом. В работах [1,2] отмечается, что для реализации таких датчиков можно использовать схему с несбалансированным интерферометром и вспомогательной модуляцией частоты оптического источника. В данной работе рассматривается датчик на основе низкодобротного интерферометра Фабри-Перо и фазовой модуляции оптического излучения, создаваемой волоконным модулятором на подводящем световоде (рис. 1).

Комплексный сигнал поля на входе интерферометра с учетом воздействия фазового модулятора можно записать в виде

$$\dot{E}_0 = E_m \exp \left[ -j\Delta\varphi \sin(\Omega t) + j\varphi_0 \right], \quad (1)$$

где  $\Delta\varphi$  — девиация фазы, создаваемая фазовым модулятором на частоте  $\Omega$ . В (1) подразумевается, что используется монохроматический источник оптического излучения с частотой  $\omega$ . Будем также считать для простоты выражений, что все световоды являются изотропными и одномодовыми. Поле на выходе интерферометра после одного прохода имеет вид

$$\dot{E}_1 = T_1 T_2 E_m \exp \left[ -j\Delta\varphi \sin(\Omega(t - t_0)) + j\varphi_0 - j\beta L \right], \quad (2)$$

где  $T_1, T_2$  — коэффициенты пропускания зеркал по полю,  $\beta$  — постоянная распространения,  $L$  — длина интерферометра,  $t_0 \cong (\beta L)/\omega$  — задержка света при прохождении интерферометра.

После трех проходов в интерферометре (при отражении от зеркальных поверхностей на входе и выходе) поле пред-

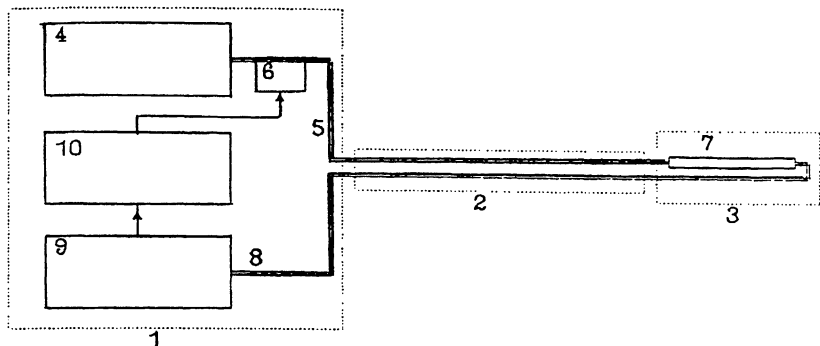


Рис. 1. Приборная часть датчика (1), волоконный тракт передачи (2), чувствительный элемент (3), лазерный источник (4), световод (подводящий) (5), модулятор (6), волоконный интерферометр (7), световод (отводящий) (8), фотоприемник (9), блок обработки (10).

ставляется в виде

$$\dot{E}_3 = R_1 R_2 T_1 T_2 E_m \exp \left[ -j \Delta \varphi \sin(\Omega(t - 3t_0)) + j \varphi_0 - j 3 \beta L \right], \quad (3)$$

где  $R_1, R_2$  — коэффициенты отражения зеркал по полю. Как и в предыдущих выражениях, пренебрегаем потерями в волокне.

Интенсивность света на выходе низкодобротного интерферометра, регистрируемая фотоприемником, определяется обычным способом:

$$I = (\dot{E}_1 + \dot{E}_3)(\dot{E}_1 + \dot{E}_3)^*. \quad (4)$$

При этом переменная составляющая света, определяемая интерференционным слагаемым, имеет вид:

$$I_{\sim} = R_1 R_2 T_1^2 T_2^2 E_m^2 \cos \left[ 2 \beta L + 2 \Delta \varphi \sin(\Omega t_0) \cos(\Omega(t - 2t_0)) \right]. \quad (5)$$

Из (5) видно, что  $I_{\sim}$  описывается традиционным по форме выражением для сигналов интерферометров со вспомогательной модуляцией, за исключением множителя  $\sin(\Omega t_0)$ , определяемого задержкой в интерферометре. В тех случаях, когда  $\Omega \ll 1/t_0$ , множитель перед косинусом принимает вид

$$\Delta \psi = 2 \Delta \varphi \Omega t_0 \cong 2 \Delta \varphi \Omega \beta L / \omega \quad (6)$$

и определяет девиацию фазы оптического излучения. Для волоконных интерферометров с длинами  $L > 10$  м и фазовых волоконно-оптических модуляторов на частотах  $10^4 - 10^5$  Гц,

как следует из (5), (6), легко достигаются значительные индексы фазовой модуляции ( $\Delta\psi \gg 1$ ).

Таким образом, осуществляя модуляцию света до интерферометра, например в подводящем волокне с помощью фазового модулятора, можно получить модулированный сигнал интерферометра и реализовать дистанционный волоконно-оптический датчик с пассивным чувствительным элементом.

Внешние воздействия окружающей подводящий световод среды также модулируют фазу оптического излучения и могут привести к появлению соответствующих составляющих в сигнале интерферометра, являющихся помехами. Однако поскольку характерные частоты внешних воздействий  $\Omega_1$ , как правило, малы (от температуры, давления), то их вклад в соответствии с (5) и (6) также пренебрежимо мал. При этом частоту вспомогательной фазовой модуляции согласно (5) следует выбирать в диапазоне

$$\Omega_1 \ll \Omega < \pi/(2t_0). \quad (7)$$

В экспериментальной установке для исследования рассмотренной схемы датчика в качестве источника света использовался He-Ne лазер ЛГН-208. Подводящий тракт — маломодовое волокно (диаметр сердцевины 10 мкм) длиной 100 м с просветленными торцами. Чувствительный элемент — интерферометр Фабри-Перо на многомодовом волокне (диаметр сердцевины 50 мкм) длиной 10 м с диэлектрическими зеркалами  $R^2 = 60\%$ , напыленными на торцы. Вспомогательная модуляция фазы оптического излучения в подводящем волокне осуществлялась с частотой 30 КГц при помощи пьезокерамического цилиндрического модулятора (диаметром 30 мм). Блок обработки сигнала интерферометра обеспечивал реверсивный счет интерференционных сигналов с точностью до  $1/4$  полосы. Для этого использовался метод квадратурных составляющих, получаемых по первой и второй гармоникам сигнала интерферометра [3].

Для имитации внешних механических воздействий использовались пьезокерамические цилиндрические модуляторы на подводящем волокне (диаметр 30 мм, намотано 60 витков) и на интерферометре (диаметр 30 мм, намотано 10 витков). Для исследования температурных воздействий подводящий и чувствительный световоды были помещены в термоизолированные объемы, содержащие электрические нагреватели (мощностью 2 Вт).

Показания счетчика при включении нагревателя интерферометра соответствовали изменению его температуры

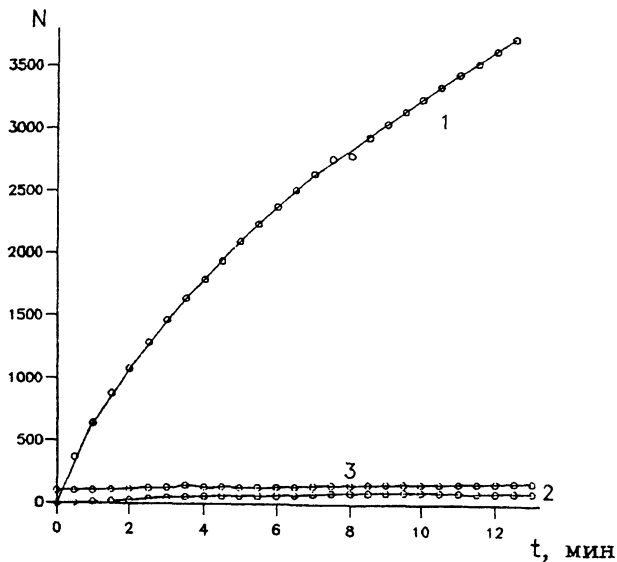


Рис. 2. Нагрев интерферометра (1), нагрев подводящего волокна (2), нагрев подводящего волокна отключен (3).

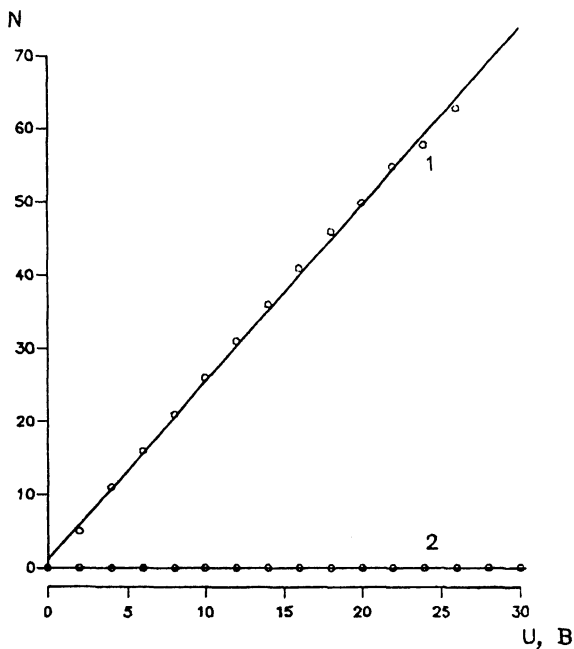


Рис. 3. Воздействие на интерферометр (1), на подводящее волокно (2).

(рис. 2, кривая 1). После выключения нагревателя показания медленно возвращались к исходному значению. Включение и выключение нагревателя на подводящем световоде не влияло на регистрацию полезного сигнала (рис. 2, кривые 2, 3). Небольшой дрейф показаний, который не коррелирует с воздействием, очевидно, связан со слабыми неконтролируемыми флуктуациями температуры в камере с чувствительным интерферометром.

На рис. 3 представлена зависимость показаний счетчика при подаче статического напряжения на пьезокерамику чувствительного интерферометра и подводящего волокна, причем, как отмечено выше, модулятор на подводящем световоде содержит в 6 раз больше витков волокна. Как видно из рисунка, сигнал линейно возрастал с напряжением на пьезокерамике в интерферометре (зависимость 1) и не менялся от напряжения на пьезокерамике подводящего световода (зависимость 2).

Таким образом, рассмотренная схема с фазовой модуляцией оптического излучения в подводящем волокне позволяет реализовать дистанционный волоконно-оптический интерферометрический датчик с пассивным чувствительным элементом. Описанный метод дает возможность конструировать датчики, удобные для практических целей и позволяет расширить область их применений.

#### Список литературы

- [1] Kersey A.D., // Electron. Lett. 1990. V. 26. N 10. P. 640-641.
- [2] Jackson D.A., Kersey A.D., Corke M. // Electron. Lett. 1982. V. 18. P. 1081.
- [3] Котов О.И., В.М. Николаев, А.В. Медведев. А.с. 1528518. // Бюлл. изобр. 1989. № 46.

Санкт-Петербургский  
государственный  
технический университет

Поступило в Редакцию  
21 февраля 1995 г.