

07;12

Дистанционный интерферометрический датчик с поляризационным разделением каналов

© О.И. Котов, Л.Б. Лиюкумович, С.И. Марков,
А.В. Медведев, В.М. Николаев

С.-Петербургский государственный технический университет

Поступило в Редакцию 30 декабря 1999 г.

Рассмотрен и экспериментально изучен дистанционный оптический датчик на основе интерферометрической схемы Маха–Цендера. Для создания псевдогеродиодного режима приема сигнала использованы поляризационное разделение каналов и пилообразная фазовая модуляция. Показана нечувствительность датчика к внешним воздействиям в области подводящего и отводящего оптических трактов.

Оптические интерферометры широко применяются для измерения физических величин, контроля параметров движения объектов [1]. Современным требованиям наиболее полно соответствуют дистанционные измерительные схемы, в которых высокая точность, большой динамический диапазон и широкополосность сочетаются с возможностью удаленных измерений, нейтральных к воздействиям на участках, подводящих свет к чувствительному элементу датчика. В данной работе рассмотрен один из вариантов построения дистанционного двухплечевого интерферометрического измерителя с поляризационным разделением каналов в плечах и вспомогательной пилообразной фазовой модуляцией. Близкие по принципу действия измерительные схемы с поляризационным разделением лучей в интерферометре подробно анализировались в [2–8]. Однако удаленные измерения в этих устройствах обеспечивались за счет увеличения длины одного из плеч интерферометра. Это приводит к помехам от флуктуаций оптической длины подводящей трассы, что в большинстве практических задач нежелательно.

В данной работе предлагается интерферометрическая схема для дистанционных измерений, в которой чувствительный участок интерферометра удален от оптического источника и аппаратуры, причем

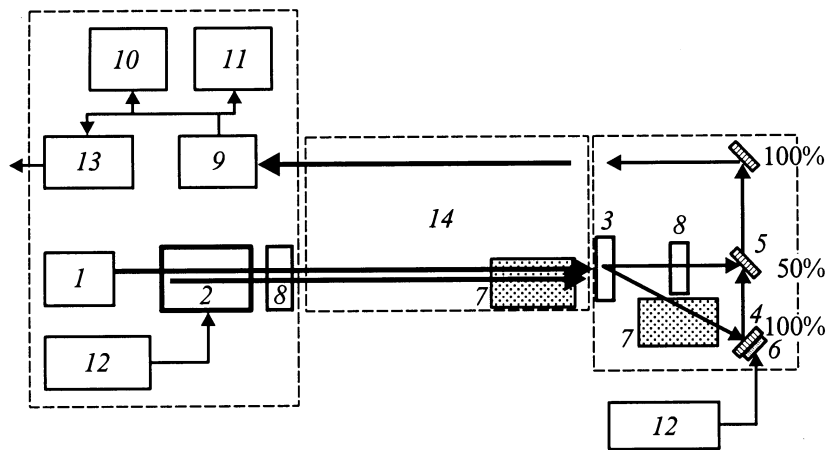


Рис. 1. Структурная схема датчика: 1 — газовый лазер ЛГН-207, 2 — электрооптический модулятор МЛ-102 (без поляризаторов), 3 — поляризационный делитель пучка, 4 — зеркало, 5 — полупрозрачное зеркало, 6 — пьезокерамика, 7 — кюветы с водой, 8 — фазовая пластинка $\lambda/2$, 9 — фотоприемное устройство, 10 — осциллограф, 11 — анализатор спектра, 12 — генераторы, 13 — фазометр, 14 — подводящая трасса.

подразумевается, что влияния на измерения воздействий в области подводящей оптической трассы подавлены. Предлагаемый измеритель представляет собой двухплечевую интерференционную схему Маха–Цендера (рис. 1), в которой на выходе подводящего участка трассы происходит поляризационное разделение луча. После прохождения пространственноразнесенных плечей интерференционный световой сигнал через отводящий участок трассы поступает к фотоприемнику и системе обработки. За счет выбранной конфигурации интерференционной схемы с поляризационным разделением каналов обеспечивается возможность необходимой вспомогательной фазовой модуляции интерферометра с помощью электрооптического кристалла в аппаратной части датчика. Разветвленная часть интерференционной схемы чувствительна к изменению разности длин плеч и может быть выполнена по принципу опорного и сигнального плеча, или по дифференциальному принципу, когда

внешнее воздействие вызывает изменение длин плеч с разным знаком. Воздействия на участке трассы в предположении ее изотропности не вызывают изменений разности фаз интерферирующих лучей и не влияют на измерения.

Подробный анализ работы данной интерферометрической схемы, теоретическое и экспериментальное исследование модуляции разности фаз интерферирующих каналов с помощью электрооптического модулятора, искажения при угловых расстройках в оптической схеме представлены в [6]. Здесь же рассмотрены другие особенности работы устройства.

1. Псевдогетеродинный режим приема сигнала с пилообразной вспомогательной модуляцией разности фаз.

2. Подавление влияния воздействий на участке подводящей трассы.

В экспериментах применялся He–Ne лазер ЛГН-207 ($\lambda = 0.63 \mu\text{m}$) мощностью 2 mW с линейнополяризованным излучением. Азимут поляризации ориентировали под углом α к оси двулучепреломления кристалла (OX) электрооптического модулятора. На выходе и входе модулятора поляризаторы были удалены. При $\alpha \neq 0^\circ$, $\alpha \neq 90^\circ$ на выходе кристалла модулятора возникают две ортогональные составляющие E_x и E_y , разность фаз между которыми Γ изменялась по закону управляющего напряжения, в нашем устройстве — пилообразному. После модулятора оптический луч, пройдя фазовую пластинку $\lambda/2$ и необходимую дистанцию, поступал на поляризационный делитель. В общем случае воздействия на трассу могут вызывать анизотропию. Тогда в результате подобных воздействий при прохождении трассы ортогональные компоненты E_x и E_y приобретают разность фаз γ . Кроме того, возможно рассогласование между осями электрооптического кристалла и призмы Рошона на угол β . На выходе призмы составляющие E_x и E_y пространственно разделяются и проходят два разветвленных плеча интерференционной схемы. В одном из плечей интерферометра находилась пластина $\lambda/2$, позволявшая согласовывать азимуты поляризаций двух лучей на делительном зеркале 5. На выходе схемы (после зеркала 5) распространялся один линейно поляризованный луч, имевший интерференционную модуляцию интенсивности, которая регистрировалась фотоприемником. При прохождении плечей интерферометра световые пучки приобретают разность фаз φ , которая изменяется от внешнего воздействия на интерферометр.

Предполагая, что в оптической схеме нет потерь, с учетом введенных обозначений нормированную интенсивность на выходе схемы можно записать в виде [6]:

$$I_{\text{вых}} = 1 - \cos(2\alpha) \sin(4\beta) \sin(\gamma) - \sin(2\alpha) \cos(2\beta) \times [\cos^2 \beta \sin(\varphi + \Gamma + \gamma) + \sin^2 \beta \sin(\varphi + \Gamma + \gamma)]. \quad (1)$$

Для оптимального режима измерений целесообразно обеспечить согласование по углам

$$\alpha = 45^\circ, \quad \beta = 0. \quad (2)$$

Отметим, что величина $\beta = 0$ устанавливается с помощью пластины $\lambda/2$, расположенной на выходе электрооптического кристалла. При выполнении условий (2) выражение (1) приобретает простой вид:

$$I_{\text{вых}} = 1 - \sin(\varphi + \Gamma + \gamma). \quad (3)$$

Это выражение имеет типичный вид сигнала интерферометра со вспомогательной модуляцией $\Gamma(u(t))$. Изменения $\varphi(t)$ содержат информацию о внешнем воздействии на чувствительную часть схемы и должны быть выделены блоком обработки. Отметим, что если воздействия на участок подводящей трассы (в сигнальной полосе частот) вызывают анизотропию и сдвиг $\gamma(t)$, то они дадут паразитный выходной сигнал, поскольку слагаемое $\gamma(t)$ неотличимо от полезной информационной модуляции фазы $\varphi(t)$ в сигнале интерферометра.

Для случая пилообразного напряжения $u(t)$ с частотой Ω и при обеспечении индекса фазовой модуляции, равным $\Gamma_{\text{max}} = 2\pi$, выражение (3) сводится к виду [4]:

$$I_{\text{вых}} = 1 - \sin(\Omega t + \varphi_0), \quad \varphi_0 = \varphi(t) + \gamma(t), \quad (4)$$

что эквивалентно гетеродинному приему сигнала интерферометра, когда изменение разности фаз оптических лучей в интерферометре приводит к равному сдвигу фазы сигнала поднесущей частоты Ω на выходе фотоприемника.

В экспериментах после согласования оптической схемы по углам (условие (2)) на электрооптический модулятор подавали пилообразное

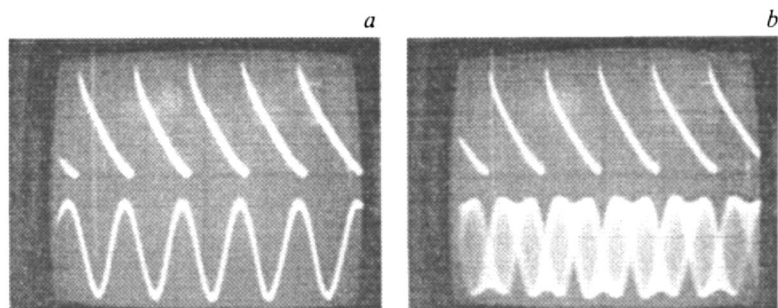


Рис. 2. Осциллограммы сигналов: *a* — осциллограммы пилообразного напряжения, подаваемого на кристалл ЭОМ, и сигнала на выходе фотоприемного устройства; *b* — то же; на зеркало интерферометра воздействует низкочастотная модуляция (индекс модуляции π).

напряжение (рис. 2, *a*) с частотой 1 kHz и амплитудой, вызывающей разность фаз ортогональных компонент E_x и E_y , равной 2π . С помощью фотоприемника наблюдался синусоидальный сигнал (рис. 2, *b*), свойства которого были идентичны гетеродинному сигналу (4). Это проверялось введением "сигнальной" фазовой модуляции в одном из плечей интерферометра посредством смещения зеркала 4 с помощью пьезокерамического цилиндра (ПК).

При синусоидальном низкочастотном напряжении ($f_2 = 100$ Hz), подаваемом на ПК, сигнал поднесущей с частотой 1 kHz приобретал свойство фазомодулированного: амплитуда его оставалась постоянной, а фаза менялась с частотой $f_2 = 100$ Hz (рис. 2, *b*).

Настройка электронной части схемы в режиме псевдогетеродирования сводилась к точному подбору амплитуды пилообразного напряжения, управляющего модулятором для установки разности фаз ортогональных компонент 2π .

Для окончательного выделения сигнала воздействия на чувствительную (разветвленную) часть интерферометра достаточно использовать фазометр (рис. 2, *b*).

Для экспериментального измерения влияния воздействий на подводящий тракт в оптическую схему вводилась стеклянная кювета с водой длиной 10 см, температура которой изменялась. При введении

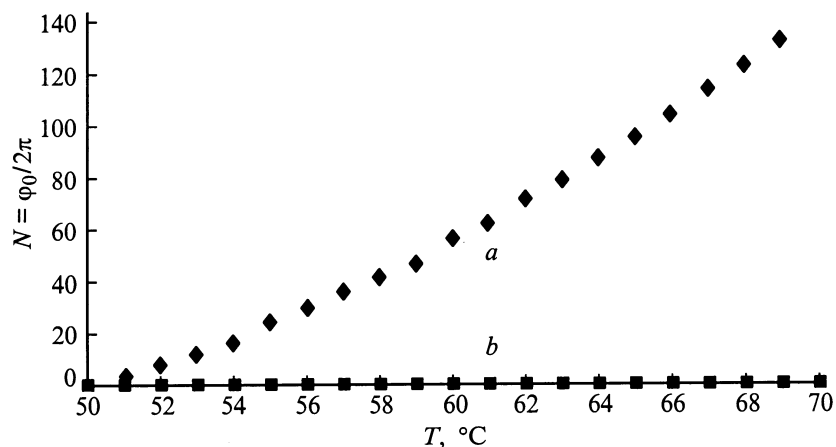


Рис. 3. Зависимости сдвига фазы сигнала на поднесущей частоте от температуры воды в кювете: *a* — кювета помещена в одно из плеч интерферометра, *b* — кювета расположена в подводящем тракте.

кюветы в одно из плеч чувствительной части интерферометра Маха–Цендера нагрев воды вызывал значительный сдвиг фазы поднесущей частоты (рис. 3, кривая *a*), что определяется температурным изменением коэффициента преломления и оптической длины водной среды. При расположении кюветы в любом месте на трассе и нагреве воды фаза поднесущей менялась незначительно ($\ll 2\pi$) и нерегулярно (рис. 3, кривая *b*), что, по-видимому, определялось температурными флуктуациями разности фаз световых пучков чувствительной части схемы. Нечувствительность фазы поднесущей частоты и, следовательно, показаний датчиковой схемы к температурным воздействиям в области подводящего тракта объясняется, очевидно, изотропностью свойств среды (в нашем случае — воды), подвергаемой воздействию. В общем случае для реальных помех, характерных для практических случаев, в данной схеме следует ожидать $\gamma(t) \ll \varphi(t)$ высокой степени подавления воздействий в области трассы.

Рассмотренный принцип построения дистанционного интерферометрического датчика может быть реализован на основе волоконно-оптической датчиковой схемы.

Список литературы

- [1] *Евтихеев Н.Н., Засовин Э.А., Мирвицкий Д.И.* // Итоги науки и техники. Сер. Связь. М.: ВИНТИ, 1991. Т. 8. С. 4–109.
- [2] *Федорин В.Л., Шур В.Л.* // Исследования в области измерения параметров движения. Труды метрологических институтов СССР. 1979. В. 240 (300). С. 54–57.
- [3] *Котков А.В., Лебедева Н.Е., Шур В.Л.* // Исследования в области измерения параметров движения. Труды метрологических институтов СССР. 1979. В. 240 (300). С. 70–75.
- [4] *Khavinson V.M.* // Proc. Of the IX Conf. IPEF/UMNE-4. 1997. P. 119–122.
- [5] *Федорин В.Л., Шур В.Л.* // Измерительная техника. 1993. № 9. С. 34–37.
- [6] *Котов О.И., Лиокумович Л.Б., Марков С.И., Медведев А.В., Николаев В.М.* // Материалы V Международной НТК "Радиолокация, навигация, связь". Воронеж, 20–23 апреля 1999 г. Т. 3. С. 1377–1388.
- [7] *Kersey A.D.* // Proc. SPIE. 1992. V. 1797. P. 161–185.
- [8] *Ганевский С.П., Котов О.Т., Лиокумович Л.Б., Медведев А.В., Николаев В.М., Гитрунькин В.Ю.* // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 10. С. 62–66.