

07;12

## **Модуляционный метод устранения вызванного поляризационной невзаимностью сдвига нуля волоконного кольцевого интерферометра**

© Г.Б. Малыкин

Институт прикладной физики РАН, Н. Новгород

*Поступило в Редакцию 25 января 1999 г.*

Предложен новый метод устранения вызванного поляризационной невзаимностью сдвига нуля волоконного кольцевого интерферометра. Этот метод основан на периодической модуляции состояния поляризации немонахроматического излучения на входе контура интерферометра. Проведены численные оценки.

Одним из основных факторов, ограничивающих точность измерения угловой скорости вращения с помощью волоконных кольцевых интерферометров (ВКИ), изготовленных на основе одномодовых волоконных световодов (ОВС), является сдвиг нуля интерференции встречных волн на выходе ВКИ, который вызван поляризационной невзаимностью контура ВКИ [1–3]. При изменении температуры ОВС контура ВКИ меняется его длина, двулучепреломление и, следовательно, его поляризационная невзаимность, что приводит к изменению величины сдвига нуля — дрейфу нуля [1,2,4,5]. Для уменьшения сдвига и дрейфа нуля в схемах ВКИ используются поляризаторы [1,2,4,5], деполяризаторы немонахроматического излучения [6–8] или поляризаторы и деполяризаторы одновременно [9–12].

Цель настоящей работы — предложить метод устранения вызванного поляризационной невзаимностью сдвига нуля ВКИ, который основан на периодической модуляции состояния поляризации немонахроматического излучения на входе ВКИ. В этом случае в схеме ВКИ не требуется применение поляризаторов и деполяризаторов.

Отметим здесь, что такие простые схемы ВКИ рассматривались и ранее [3,13,14], однако в этих работах либо проводилась оценка величины сдвига нуля [3,14], либо предлагалось использовать наличие

сдвига нуля для линейного преобразования изменения величины угловой скорости в изменение интенсивности интерференционного сигнала [13], но не рассматривалась возможность устранения сдвига нуля ВКИ с помощью поляризационной модуляции.

Запишем выражение для сдвига нуля  $\varphi$  в схеме ВКИ без поляризатора (см. рисунок), с контуром, изготовленным из ОВС с произвольным двулучепреломлением [3]:

$$\varphi = \arctan \frac{\sin(\alpha_1 + \alpha_2) \sin 4\chi \cos(\alpha_1 - \alpha_2 - 2\eta)S_{\perp} + \sin 2(\alpha_1 + \alpha_2) \cos 2\chi S_3}{2[\cos^2(\alpha_1 + \alpha_2) + 0.5 \sin 2(\alpha_1 + \alpha_2) \sin 2\chi]}, \quad (1)$$

где  $\chi$ ,  $\alpha_{1,2}$  характеризуют соответственно эллиптичность собственных поляризационных мод контура ВКИ и ориентацию больших осей эллипса на концах контура относительно некоторого, произвольно выбранного направления, например плоскости кольца контура,  $S_{\perp} = \sqrt{S_1^2 + S_2^2}$  — линейная составляющая поляризации немонахроматического излучения на входе ВКИ,  $\eta$  — азимут  $S_{\perp}$  относительно выбранного направления,  $S_3$  — круговая составляющая поляризации немонахроматического излучения на входе ВКИ ( $S_i$  — компоненты вектора Стокса излучения [15]). Выражение (1) справедливо при условии  $L \gg l_{\text{деп}}$ , где  $L$  — длина контура ВКИ,  $l_{\text{деп}} = \lambda^2 / \Delta\lambda\Delta n$  — длина деполяризации немонахроматического излучения в ОВС,  $\lambda$  — средняя длина волны источника излучения,  $\Delta\lambda$  — его спектральная ширина,  $\Delta n$  — разность показателей преломления в медленной и быстрой осях ОВС.

Рассмотрим выражение (1). Знаменатель (1) не зависит от состояния поляризации на входе ВКИ, а числитель зависит таким образом, что если вместо некоторого заданного состояния поляризации на входе ВКИ будет иметь место взаимно ортогональное состояние поляризации, то абсолютная величина числителя не изменится, а его знак изменится на противоположный. Действительно, два, в общем случае эллиптические, взаимно ортогональных состояния поляризации излучения отличаются друг от друга поворотом главной оси эллипса  $\eta$  на  $90^\circ$  и направлением обхода эллипса, т. е. знаком круговой составляющей поляризации. Таким образом, при изменении состояния поляризации излучения на взаимно ортогональное, первое слагаемое числителя выражения (1) сменит знак вследствие изменения величины  $2\eta$  на  $180^\circ$  (величина  $S_{\perp}$  не

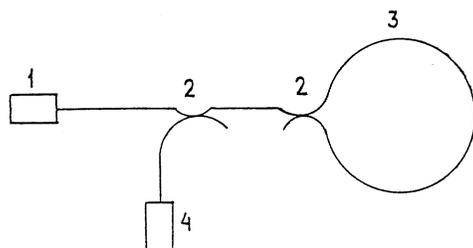


Схема волоконного кольцевого интерферометра (ВКИ): 1 — источник излучения, 2 — светоделители, 3 — контур, 4 — фотоприемник.

меняется), а второе слагаемое — вследствие изменения знака круговой составляющей поляризации излучения  $S_3$ .

Отметим, что изменение знака  $\varphi$  и сохранение его модуля при изменении состояния поляризации света на взаимно ортогональное будет иметь место только в ВКИ без поляризатора.

Если на входе ВКИ осуществлять периодическую модуляцию состояния поляризации (по гармоническому закону или по меандру), а при обработке выходного сигнала осуществлять усреднение за время, значительно превышающее период модуляции, то величина  $\varphi$  будет обусловлена только эффектом Саньяка, т. е. связана только с вращением ВКИ, вклад от поляризационной невязимости усреднится. В случае, если в схеме ВКИ используется модулятор длины контура того или иного типа [16,17], то частота модуляции состояния поляризации должна быть много меньше, чем частота модуляции длины контура.

В настоящее время существуют устройства для модуляции состояния поляризации света в ОВС, принцип действия которых основан на фотоупругом эффекте [18] или эффекте Керра [19,20]. В случае использования интегрально-оптического фазового модулятора [20] целесообразно применение схемы ВКИ с интегрально-оптическим светоделителем [21]. Модулятор следует располагать между первым и вторым светоделителями в схеме ВКИ (см. рисунок). Эллиптичность поляризации света на входе модулятора может быть произвольной, но при этом должно выполняться одно условие: оси эллипса поляризации должны быть ориентированы под углом  $45^\circ$  к осям двулучепреломления модулятора.

Оценим величину сдвига и дрейфа нуля в предложенной схеме ВКИ при условии, что модуляция состояния поляризации на входе осуществляется не идеально — состояния поляризации в разных полупериодах не полностью ортогональны друг другу. Предположим, что на выходе модулятора в одном полупериоде имеет место почти линейная поляризация ( $S_1 \approx 1$ ,  $S_3 \approx 0.01$ ) с азимутом  $\eta \approx 0^\circ \pm \pi N/2$ , где  $N$  — целое число. Во втором полупериоде азимут меняется не на  $90^\circ$ , а на  $85^\circ$ , а круговая составляющая поляризации меняет свой знак и при этом меняется на 5% по абсолютной величине (незначительное изменение абсолютной величины линейной составляющей поляризации в данном случае несущественно). Пусть длина контура ВКИ составляет 500 м, диаметр контура  $D = 10$  см, параметры источника излучения —  $\lambda = 0.8 \mu\text{m}$ ,  $\Delta\lambda = 20$  nm. Здесь мы рассмотрим два типа ОВС в контуре ВКИ: ОВС с сильным двулучепреломлением —  $\Delta n = 3 \cdot 10^{-4}$ ,  $h = 10^{-5} \text{m}^{-1}$  и ОВС со слабым двулучепреломлением —  $\Delta n = 10^{-6}$ ,  $h = 5 \cdot 10^{-2} \text{m}^{-1}$ . Для оценок предположим также, что ориентация собственных осей двулучепреломления ОВС на входе ВКИ составляет соответственно  $\alpha_1 = -1^\circ$ ,  $\alpha_2 = 2^\circ$  для ОВС с сильным двулучепреломлением,  $\alpha_1 = -5^\circ$ ,  $\alpha_2 = 10^\circ$  для ОВС со слабым двулучепреломлением (для последних световодов точная ориентация осей двулучепреломления затруднительна). Отметим здесь, что наиболее оптимальным с точки зрения снижения сдвига нуля является случай  $\alpha_1 = \alpha_2$  [1,2]. Сдвиг нуля ВКИ  $\Delta\Omega$ , записанный в размерности grad/h, связан со сдвигом фазы интерференции встречных волн следующим соотношением [2]:  $\Delta\Omega = (10^5 \Delta\varphi \lambda c) / (\pi LD)$ .

Оценим величину  $\chi$  в выражении (1). Используя результаты [2] и [15], можно показать, что в случае  $hl_{\text{деп}} \ll 1$  (ОВС с сильным двулучепреломлением)  $|\chi| \leq \sqrt{hl_{\text{деп}}}$ , в случаях же  $hl_{\text{деп}} \approx 1$  и  $hl_{\text{деп}} \gg 1$  (ОВС со слабым двулучепреломлением)  $|\chi| \leq \pi/4$ .

Оценки, сделанные в соответствии с выражением (1) дают следующие результаты: 1) для ОВС с сильным двулучепреломлением — сдвиг нуля  $5 \cdot 10^{-1}$  grad/h, дрейф нуля  $10^{-1}$  grad/h; 2) для ОВС со слабым двулучепреломлением — в этом случае уже невозможно выделить постоянный сдвиг нуля ВКИ — дрейф нуля составит  $\approx 40$  grad/h. Данные оценки сделаны для случая, когда светоделитель на входе контура ВКИ изотропен. В случае, если линейный дихроизм этого светоделителя составляет  $1 \div 2\%$ , то сдвиг и дрейф нуля в обоих рассматриваемых случаях может возрасти примерно на порядок. Двулучепреломление светоделителя также может существенно увеличить сдвиг и дрейф нуля

ВКИ; однако, в принципе, всегда можно так подобрать параметры модуляции состояния поляризации, чтобы на входе контура ВКИ в различных полупериодах имели место взаимноортогональные состояния поляризации излучения.

Работа частично поддержана грантом № 96–15–96742 РФФИ.

## Список литературы

- [1] Козел С.М., Листвин В.Н., Шаталин С.В., Юшкайтис Р.В. // Оптика и спектроскопия. 1986. Т. 60. № 6.
- [2] Малыкин Г.Б. // Изв. вузов. Радиофизика. 1991. Т. 34. № 7. С. 817–824.
- [3] Малыкин Г.Б. // Оптика и спектроскопия. 1997. Т. 83. № 6. С. 1013–1015.
- [4] Малыкин Г.Б., Нефедов И.М., Шерешевский И.А. // Изв. вузов. Радиофизика. 1994. Т. 37. № 11. С. 1473–1480.
- [5] Малыкин Г.Б., Позднякова В.И. // Оптика и спектроскопия. 1998. Т. 84. № 1. С. 145–151.
- [6] Tai S. et al. // Electronics Lett. 1986. V. 22. N 10. P. 546–547.
- [7] Алексеев Э.И., Базаров Е.Н. // Квантовая электроника. 1992. Т. 19. № 9. С. 897–902.
- [8] Малыкин Г.Б., Позднякова В.И., Поздняков Е.Л. // Изв. вузов. Радиофизика. 1995. Т. 38. № 12. С. 1293–1304.
- [9] Листвин В.Н., Лозинский В.Н. // Изв. вузов. Радиофизика. 1991. Т. 34. N 9. С. 1001–1010.
- [10] Малыкин Г.Б. // Изв. вузов. Радиофизика. 1992. Т. 35. № 2. С. 189–199.
- [11] Малыкин Г.Б. // Оптика и спектроскопия. 1993. Т. 75. № 6. С. 1314–1319.
- [12] Малыкин Г.Б., Нефедов И.М., Позднякова В.И., Шерешевский И.А. // Изв. вузов. Радиофизика. 1994. Т. 37. № 12. С. 1567–1575.
- [13] Малыкин Г.Б. // Оптика и спектроскопия. 1994. Т. 76. № 3. С. 540–543.
- [14] Андропова И.А., Геликонов Г.В., Геликонов В.М. // Изв. вузов. Радиофизика. 1998. Т. 41. № 11. С. 1461–1468.
- [15] Шерклифф У. // Поляризованный свет. М.: Мир, 1965. 264 с. (Shurcliff W.A. // Polarized light. Harvard Univ. Press, Cambridge Massach., 1962. 207 p.).
- [16] Bergh R.A., Lefevre H.C., Shaw H.J. // Optics. Lett. 1981. V. 6. N 10. P. 502–504.
- [17] Берштейн И.Л., Геликонов В.М., Степанов Д.П. // Изв. вузов. Радиофизика. 1998. Т. 41. № 11. С. 1461–1468.
- [18] Галкин С.Л. и др. // Оптический журнал. 1996. Т. 63. № 3. С. 34–37.
- [19] Welker D.J. et al. // Optics lett. 1998. V. 23. N 23. P. 1826–1828.
- [20] Jakson S.M. // Journ. of Lightwave Tech. 1998. V. 16. N 11. P. 2016–2019.
- [21] Liu R.U. et al. // Proc. SPIE. 1996. V. 2837. P. 82–91.