

07;12

## **Компенсация паразитной поляризационной модуляции в волоконно-оптическом гироскопе**

© Э.И. Алексеев, Е.Н. Базаров

Институт радиотехники и электроники РАН, Фрязино

Поступило в Редакцию 17 марта 1997 г.

Показано, что влияние паразитной поляризационной модуляции на точностные характеристики волоконно-оптического гироскопа может быть существенно ослаблено при использовании в нем фазовых модуляторов отражательного типа с конверсией поляризационных мод.

Паразитная поляризационная модуляция, сопровождающая работу волоконных и интегрально-оптических фазовых модуляторов, является серьезным фактором, ограничивающим точностные характеристики волоконно-оптического гироскопа [1–3]. Одним из путей уменьшения паразитной поляризационной модуляции является изготовление фазового модулятора в виде двух номинально идентичных половин, между которыми устанавливается модовый конвертор, преобразующий поляризационные моды друг в друга [3]. При этом дифференциальная фазовая модуляция поляризационных мод, возникшая в первой половине фазового модулятора, компенсируется дифференциальной фазовой модуляцией противоположного знака, имеющей место во второй половине модулятора. При изготовлении фазового модулятора из одномодового волоконного световода модовый конвертор может быть реализован с помощью соответствующим образом расположенных сжимателей волокна, в виде двойной симметричной скрутки участка волокна определенной длины, сварного или клеевого соединения волокон с разворотом их осей двулучепреломления на  $90^\circ$  и т.п. Поскольку, однако, трудно добиться полной идентичности упомянутых половин фазового модулятора и условий, в которых они находятся, такой метод компенсации паразитной поляризационной модуляции во многих случаях оказывается недостаточно эффективным. Ситуация существенно улучшается, если фазовый модулятор устроен таким образом, что после конверсии по-

ляризационных мод излучение без временной задержки снова проходит в прямом или обратном направлениях по тому же оптическому пути, что и до конверсии. Технически, по-видимому, проще обеспечить обратное прохождение излучения. Поэтому мы ограничимся рассмотрением только этой возможности, и будем называть соответствующий фазовый модулятор модулятором отражательного типа.

Матрицу Джонса модового конвертора в фазовом модуляторе отражательного типа, с точностью до множителя, можно представить в виде

$$K_1 = \begin{vmatrix} 0, & 1 \\ -1, & 0 \end{vmatrix} \text{ или } K_2 = \begin{vmatrix} 0, & 1 \\ 1, & 0 \end{vmatrix}. \quad (1)$$

В первом случае вся картина поля поворачивается на  $90^\circ$ , а во втором — поля поворачиваются навстречу друг другу.

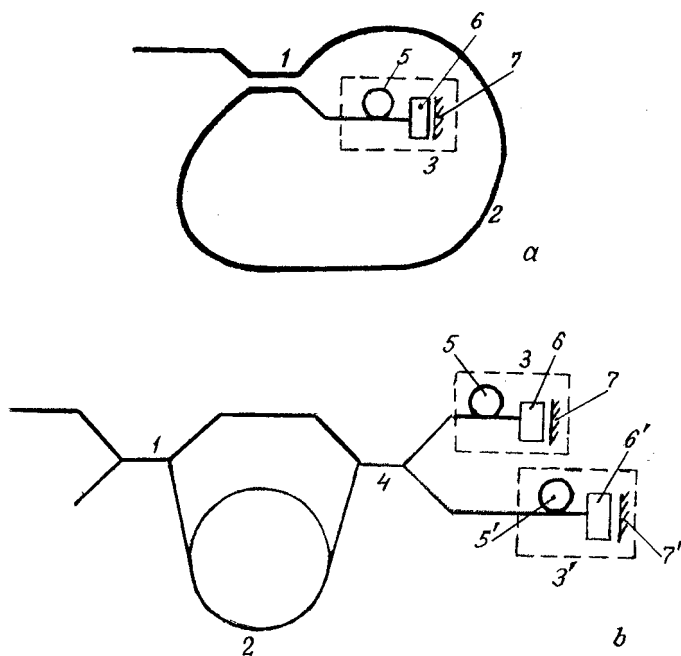
Предположим, что мы имеем дело с модовым конвертором первого типа. Обозначив матрицу Джонса отрезка волокна (или интегрально-оптического волновода), на котором осуществляется модуляция  $N(t)$ , будем иметь для матрицы Джонса всего фазового модулятора  $M_1(t)$  (штрихом обозначена операция транспонирования):

$$M_1(t) = N'(t) \cdot K_1 N(t) = [\det N(t)] K_1. \quad (2)$$

При записи (2) был использован тот факт, что матрицы Джонса взаимных элементов для встречных направлений распространения излучения связаны друг с другом операцией транспонирования.

Из (2) видно, что временная зависимость матрицы Джонса модулятора содержится только в численном фазовом множителе, откуда и следует, что паразитная поляризационная модуляция в рассматриваемом случае отсутствует. Заметим, что при этом устраняется любой из типов паразитной поляризационной модуляции, в том числе и за счет модуляции дихроизма, причем эффективность фазовой модуляции удваивается по сравнению со случаем однократного прохождения излучения по модулирующему отрезку волокна или интегрально-оптического волновода.

Возможная реализация отражательного фазового модулятора с модовым конвертором первого типа на основе Фарадеевского зеркала и способы его включения в схемы резонаторного волоконно-оптического гироскопа и интерферометрического волоконно-оптического гироскопа показаны на рисунке,  $a$  и  $b$  соответственно; отражательные фазовые модуляторы  $3, 3'$ , состоящие из модулирующих отрезков волокна или интегрально-оптического волновода  $5, 5'$ , ячеек Фарадея с



Варианты включения отражательного фазового модулятора в схему волоконно-оптического гироскопа.

углом вращения  $45^\circ$   $6$ ,  $6'$  и зеркал  $7$ ,  $7'$ , выделены на этих рисунках штриховой линией. В схеме интерферометрического волоконно-оптического гироскопа (см. рисунок, *b*) кроме контурного направленного ответвителя  $1$  используется еще один направленный ответвитель  $4$ , с помощью которого и осуществляется включение в чувствительный контур  $2$  волоконно-оптического одного или двух фазовых модуляторов отражательного типа. При использовании в интерферометрическом волоконно-оптическом гироскопе двух фазовых модуляторов частоты модуляции и законы изменения фазы в модуляторах могут быть как одинаковыми, так и различными. Оптические длины путей с заходами в модуляторы  $3$  и  $3'$  могут быть либо одинаковыми, либо отличаться на величину, существенно превышающую длину когерентности источника излучения. Это открывает дополнительные возможности в обработке

сигнала интерферометрического волоконно-оптического гироскопа и его конструктивных решений. Очевидно, что в интерферометрическом волоконно-оптическом гироскопе не обязательно устанавливать два фазовых модулятора. При установке только одного фазового модулятора свободный выход направленного ответвителя 4 может быть использован для других целей. Заметим также, что для исключения влияния отраженного сигнала источник излучения должен подключаться к оптическому тракту волоконно-оптического гироскопа через оптический изолятор (на рисунках не показан).

При использовании в фазовом модуляторе модового конвертора второго типа вместо (2) будем иметь:

$$M_2(t) = N'(t)K_2N(t) = \begin{vmatrix} 2n_{11}n_{21}, & n_{11}n_{22} + n_{12}n_{21} \\ n_{11}n_{22} + n_{12}n_{21}, & 2n_{12}n_{21} \end{vmatrix}. \quad (3)$$

Здесь  $n_{ij} = n_{ij}(t)$  ( $i, j = 1, 2$ ) — элементы матрицы  $N(t)$ , введенной выше. Из (3) следует, что, в отличие от предыдущего случая, паразитная поляризационная модуляция при произвольной матрице  $N(t)$  не устраняется. Предположим, однако, что элементы  $N(t)$  удовлетворяют соотношениям  $n_{11}n_{21} = n_{12}n_{22} = 0$ . Тогда вместо (2) имеем

$$M_2(t) = [\text{per}N(t)]K_2, \quad (4)$$

где  $\text{per}N(t) = n_{11}n_{22} + n_{12}n_{21}$  — перманент матрицы  $N(t)$ .

Таким образом, если равенства (4) имеют место, то и в модуляторе с модовым конвертором второго типа паразитная поляризационная модуляция будет устраняться.

Рассмотрим один частный случай. Предположим, что модулирующий отрезок волокна или интегрально-оптического волновода представляет собой линейную фазовую пластинку с азимутом быстрой оси, равным  $0^\circ$ . Тогда [4]  $n_{12} = n_{21} = 0$ , так что паразитная поляризационная модуляция будет скомпенсирована. Одна из возможных реализаций отражательного фазового модулятора с модовым конвертором второго типа представляет собой последовательное включение линейной фазовой пластинки с изменяющейся во времени фазовой задержкой и азимутом быстрой оси  $0^\circ$ , четвертьволновой фазовой пластинки с азимутом быстрой оси  $45^\circ$  и зеркала. Включение такого фазового модулятора в схему интерферометрического волоконно-оптического гироскопа может быть осуществлено так же, как и в предыдущем случае.

Авторы признательны В.П. Губину и Н.И. Старостину за интерес к работе и полезные дискуссии.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 96-02-18434.

### Список литературы

- [1] *Gangding P., Scangyuan H., Zongqi L.* / Electron. Lett. 1986. V. 22. N 25. P. 1337–1338.
- [2] *Kiesel E.* / Proc. SPIE. 1987. V. 838. P. 129–139.
- [3] *Szafraniec B., Blake J.* / J. Lightwave Technol. 1994. V. 12. N 9. P. 1679–1684.
- [4] *Аззам Р., Башара Н.* Эллипсометрия и поляризованный свет. М.: Мир, 1981.