

07;12  
©1995

## ВЛИЯНИЕ ДИХРОИЗМА ФОТОПРИЕМНИКА НА СДВИГ НУЛЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

*Э.И.Алексеев, Е.Н.Базаров, Г.А.Герасимов,  
В.П.Губин, А.И.Сазонов, Н.И.Старостин*

1. Постановка задачи. При анализе характеристик волоконно-оптического гироскопа (ВОГ) обычно считается, что его фотоприемник (ФП) является идеальным. На практике, однако, это предположение может не выполняться по ряду причин (например, вследствие поляризационной селективности светочувствительного слоя ФП, дихроизма стыкуемого с ним отрезка световода и т. п.), что будет приводить к сдвигу нуля ВОГ. Убедиться в этом можно с помощью следующих рассуждений.

Ток фотоприемника ВОГ определяется выражением [1]:

$$i = \langle Sp(T\rho\tilde{T}\sigma) \rangle, \quad (1)$$

где  $Sp$  означает след матрицы,  $\rho$  — матрица возбуждения ВОГ,  $\sigma$  и  $T$  — матрицы Джонса фотоприемника и оптического тракта ВОГ соответственно, волной обозначена операция эрмитова сопряжения, а угловыми скобками — интегрирование по оптическим частотам. Используя инвариантность следа произведения матриц относительно циклической перестановки сомножителей, представим (1) в виде:

$$i = Sp(\langle \tilde{T}\sigma T\rho \rangle). \quad (2)$$

Сравнение (1) и (2) показывает, что матрицу  $\sigma$  можно считать матрицей возбуждения в некотором ВОГ, эквивалентном рассматриваемому, с матрицами Джонса оптического тракта  $\tilde{T}$  и фотоприемника  $\rho$ . Отсюда следует, что неидеальность ФП должна сказываться на характеристиках ВОГ в той же мере, что и наличие полностью поляризованной компоненты в излучении источника. Заметим, однако, что, в то время как влияние остаточной степени поляризации излучения источника на характеристики ВОГ хорошо изучено [2-5], зависимость его параметров от неидеальностей ФП, насколько нам известно, до сих пор не рассматривалась. В настоящем сообщении приводятся теоретические и экспериментальные данные, подтверждающие сильную зависимость смещения нуля ВОГ (точнее, так называемой поляризационной подставки (ПП)) от дихроичности ФП ВОГ.

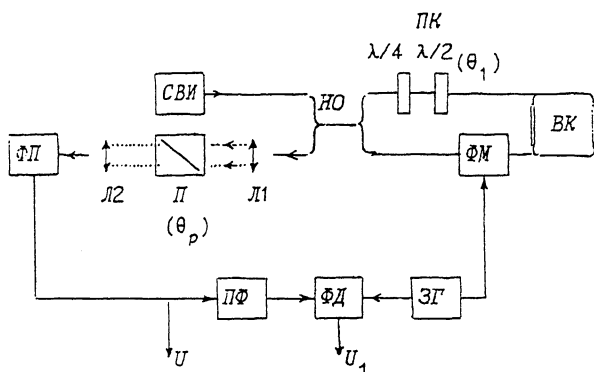


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: СВИ — суперфлуоресцентный волоконный источник, ФП — фотоприемник, НО — направленный ответвитель, ФМ — фазовый модулятор, ВК — волоконный контур, ПФ — полосовый фильтр, ФД — фазовый детектор, ЗГ — задающий генератор, ПК — поляризационный контроллер, Л — линза, П — поляризатор.

2. Экспериментальные результаты. Эксперименты проводились на установке (рис. 1), представляющей собой модифицированный макет ВОГ с эрбиевым суперфлуоресцентным волоконным источником излучения (ЭСВИ), разработанным в НТО «ИРЭ-ПОЛЮС», подробно описанный в работе [6]. Дихроизм фотоприемника имитировался включением вращаемого поляризатора П непосредственно перед ФП. Величина поляризационной подставки изменялась с помощью контроллера поляризации ПК, установленного на одном из концов чувствительного контура, а также путем фиксированных механических воздействий на различные участки волоконного тракта ВОГ. Измерялись размах интерференционной картины  $U$  (при фазовой модуляции с девиацией около 2 рад) и амплитуда первой гармоники  $U_1$  тока ФП в отсутствие вращения. В качестве оценки смещения нуля ВОГ использовалась величина  $\varphi_p = U_1/U$ .

В отсутствие поляризатора перед ФП максимальное (на множествах различных воздействий на волоконный тракт ВОГ и различных ориентаций ПК) значение ПП оказалось равным  $|\varphi_{p\max}| \simeq 2 \cdot 10^{-3}$  рад и определялось величиной остаточной степени поляризации ЭСВИ  $p \simeq 0.003$ .

При установке поляризатора перед ФП поляризационная подставка увеличивалась в сотни раз, причем ее величина и знак зависели от угла поворота  $\theta_p$  поляризатора. В качестве иллюстрации на рис. 2 приведена зависимость максимального значения  $\varphi_{p\max}(\theta_p)$ , измеренная при фиксирован-

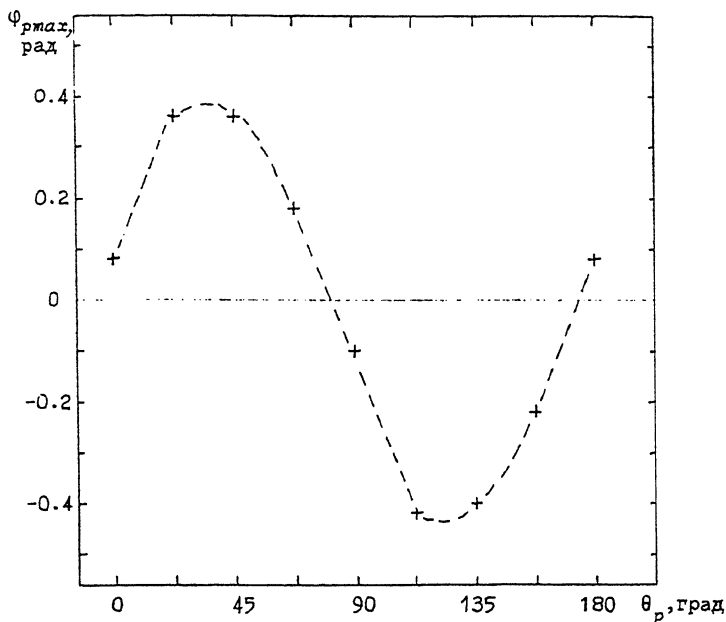


Рис. 2. Зависимость поляризационной подставки от ориентации поляризатора перед фотоприемником (ориентация полуволновой секции контроллера  $\theta_1 = 20^\circ$ ).

ном угле поворота  $\theta_1$  полуволновой секции ПК. Из рисунка видно, что эта зависимость осциллирует с частотой  $2\theta_p$ .

На рис. 3 приведены зависимости  $U_1$  от ориентации  $\theta_1$  полуволновой секции ПК (моделирующей поляризационную неидеальность контура ВОГ) при двух фиксированных взаимно ортогональных ориентациях поляризатора перед ФП. Из рисунка следует, что величины  $U_1$  для ортогональных поляризаций при всех  $\theta_1$  близки по модулю, но противоположны по знаку, так что зависимости  $U_1(\theta_1)$  для ортогональных ориентаций поляризатора практически зеркально симметричны относительно оси абсцисс.

3. Обсуждение результатов. Учитывая, что степень поляризации ЭСВИ мала, будем считать, что входное излучение полностью неполяризовано, т. е. что  $\rho = (I_0/2)E$ , где  $E$  — единичная матрица, а  $I_0$  — интенсивность излучения, которую всюду далее мы положим равной единице. Далее, ради простоты, пренебрежем зависимостью саньяковской разности фаз  $\varphi_s$  от оптической частоты, а также поляризационной дисперсией элементов ВОГ. Качественный характер получающихся при этом результатов не изменит-

ся и в том случае, если в ВОГ (как это имеет место в нашем эксперименте) используется анизотропное волокно. Предположим также, что в оптическом тракте ВОГ нет других дихроичных элементов, кроме фотоприемника, так что матрицы Джонса  $R^{(+)}$  и  $R^{(-)}$ , соответствующие обходу ВОГ по и против часовой стрелки, унитарны. Эрмитову матрицу  $\sigma$  запишем в виде  $\sigma = VD\tilde{V}$ , где  $V$  — унитарная матрица, а  $D = \text{diag}(\alpha, \beta)$  — диагональная матрица с вещественными элементами, характеризующими дихроичность ФП. С учетом сказанного запишем выражение для тока ФП в виде двух составляющих, соответствующих двум интерференционным картинам, формируемым компонентами выходного излучения:

$$i = \alpha [1 + m \cos(\varphi_s + \delta)] + \beta [1 + m \cos(\varphi_s - \delta)]. \quad (3)$$

Здесь  $m$  — видность каждой из упомянутых интерференционных картин, а  $\delta$  — паразитный сдвиг фаз, обусловленный поляризационной несимметрией оптического тракта ВОГ и являющийся причиной сдвига нуля (ПП). Формально  $m = |n_{11}|$ , а  $\delta = \text{arg}(n_{11})$ , где  $n_{11}$  — элемент матрицы  $N = \tilde{V}R^{(+)}\tilde{R}^{(-)}V$  (унитарной при сделанных выше предположениях). Таким образом, в отсутствие дихроизма в оптическом тракте ВОГ (за исключением ФП) поляризационные подставки в интерференционных картинках, образуемых ортогонально-поляризованными компонентами выходного излучения, равны по величине, но противоположны по знаку, что и объясняет зеркальную симметрию кривых на рис. 3.

Размах интерференционной картины  $U$  и амплитуда первой гармоники вспомогательной модуляции  $U_1$  в отсутствие вращения (с точностью до несущественного для дальнейшего множителя) определяются выражениями:

$$U = 2m(1 - 4\alpha\beta \sin^2 \delta)^{1/2}, \quad U_1 = U \sin \left[ \arctg \left( \frac{\alpha - \beta}{\alpha + \beta} \text{tg} \delta \right) \right], \quad (4)$$

из которых видно, что если ФП не дихроичен ( $\alpha = \beta = 1/2$ ), поляризационная подставка  $\varphi_p$  обращается в нуль, а при сильном дихроизме ФП ( $\alpha = 1, \beta = 0$  или  $\alpha = 0, \beta = 1$ ) она может многократно возрасти. Из (4) следует также, что при ортогональных ориентациях поляризатора, т. е. при  $\alpha = 1, \beta = 0$  и  $\alpha = 0, \beta = 1$  соответственно величина  $U$  остается неизменной, а  $U_1$  меняет знак (это и объясняет зеркальную симметрию кривых на рис. 3).

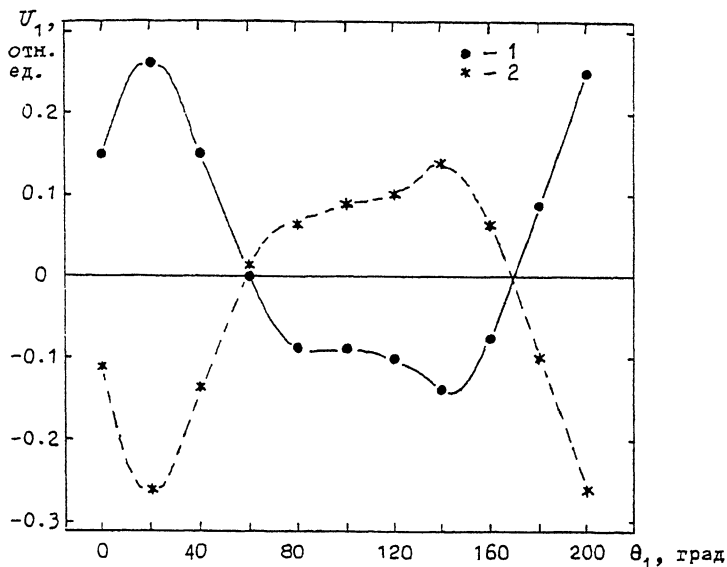


Рис. 3. Зависимость амплитуды первой гармоники тока фотоприемника ВОГ от ориентации полуволновой секции контроллера при двух взаимно ортогональных ориентациях  $\theta_p$  поляризатора перед фотоприемником: 1 —  $\theta_p = 38.5^\circ$ ; 2 —  $\theta_p = 128.5^\circ$ .

Зависимость ПП от ориентации оси пропускания поляризатора, расположенного перед ФП, может быть получена, если представить матрицу  $\sigma$  в виде  $\sigma = \tilde{R}D_1R$ , где  $R$  — матрица поворота на угол  $\theta_p$ , а  $D_1 = \text{diag}(1, 0)$ . При этом будем иметь:  $\delta = \text{arctg}[a \cos(2\theta_p + \nu)]$ , где  $a = [(\text{Im}r_{11})^2 + (\text{Im}r_{12})^2]^{1/2} / (\text{Re}r_{11})$ ,  $\nu = \text{arctg}[(\text{Im}r_{12}) / (\text{Im}r_{11})]$ , а  $r_{11}$  и  $r_{12}$  — элементы матрицы  $R = R^{(+)}\tilde{R}^{(-)}$ . При относительно малых значениях ПП  $\varphi_p \sim \cos(2\theta_p + \nu)$ , что качественно соответствует наблюдавшимся в эксперименте зависимостям (рис. 2).

4. Заключение. Таким образом, в настоящей работе показано, что дихроизм фотоприемника приводит к сдвигу нуля ВОГ (возникновению поляризационной подставки). Величина подставки может иметь значительную величину как в исследованной в данной работе схеме ВОГ без поляризационного модового фильтра, так и в других схемах ВОГ, в том числе и в широко распространенной минимальной схеме.

Авторы признательны В.П. Гапонцеву за интерес и поддержку работы, а также И.Э. Самарцеву, В.А. Карпенко и В.В. Фомину за помощь в работе и полезные дискуссии.

### Список литературы

- [1] Алексеев Э.И., Базаров Е.Н., Израелян В.Г., Кухта А.В. // Квант. электрон. 1984. Т. 11. С. 2151-2160.
- [2] Pavlath G.A., Shaw H.J. // Appl. Opt. 1982. V. 21. P. 1752-1760.
- [3] Fredricks R.J., Ulrich R. / Electr. Lett. 1984. V. 20. P. 330-332./
- [4] Burns W.K. // J. Lightwave Tech. 1986. V. 4. P. 8-14.
- [5] Burns W.K., Moeller R.P. // J. Lightwave Tech. 1984. V. 2. P. 430-435.
- [6] Алексеев Э.И., Базаров К.Н., Гапонцев В.П. и др. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 2. С. 62-67.

Поступило в Редакцию  
21 июля 1995 г.

---