

07;12

Рециркуляционный волоконный кольцевой интерферометр с фарадеевским отражателем

© Э.И. Алексеев, Е.Н. Базаров, В.П. Губин, В.Г. Коваленко,
А.И. Сазонов, Н.И. Старостин

Институт радиотехники и электроники РАН, Фрязинское отделение
E-mail: <http://fire.relarn.ru>

Поступило в Редакцию 22 апреля 2002 г.

Предложена новая оптическая схема рециркуляционного волоконного кольцевого интерферометра с фарадеевским отражателем и широкополосным источником света. Экспериментально показана возможность снижения более чем на порядок сдвига нуля, обусловленного паразитной поляризационной модуляцией в фазовом модуляторе интерферометра. Выявлены факторы, которые могут приводить к дополнительным сдвигам нуля интерферометра.

Рециркуляционные волоконные кольцевые интерферометры (РВКИ) [1] относятся к новому типу низкокогерентных оптических устройств, в которых сочетаются достоинства традиционного интерферометра Саньяка с широкополосным источником света и резонаторного кольцевого интерферометра с узкополосным источником. РВКИ могут найти применение в различных измерительных системах, в датчиках физических величин, в частности в датчиках угловой скорости. Среди предложенных схем РВКИ [1–4] наименее изучена схема с внешним отражателем [3,4]. Полезным свойством этой схемы является, в частности, простота согласования с отражательным модулятором фазы оптического излучения, в котором излучение проходит модулирующий элемент в прямом и обратном направлениях. Применяя в отражательном модуляторе фарадеевский конвертор поляризационных мод [5], можно обеспечить компенсацию до 100 и более раз [6] паразитной поляризационной модуляции (ППМ), которая практически всегда имеет место в фазовых модуляторах, в частности с модулирующими элементами на основе пьезоцилиндров с намотанным волокном. Такие модуляторы получили широкое применение в интерферометрах благодаря низкой стоимости, малым потерям и простоте согласования с другими волоконными

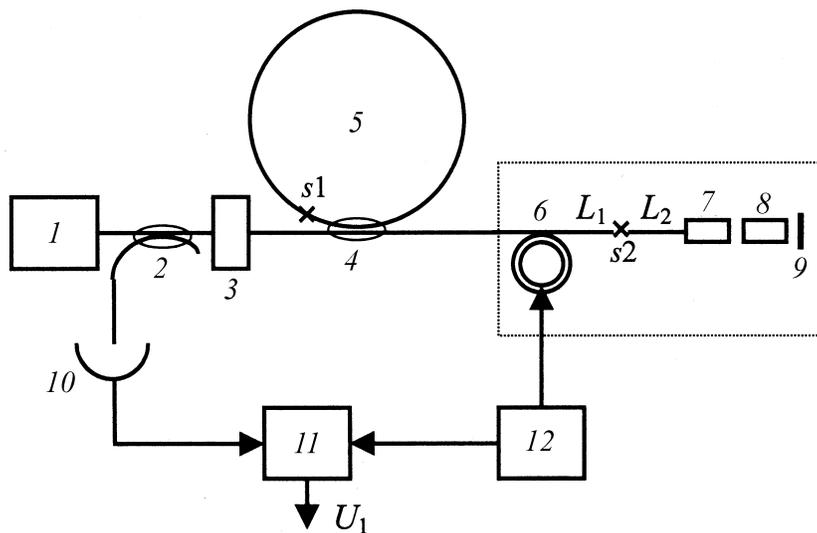


Рис. 1. Оптическая схема РВКИ с фарадеевским отражателем. 1 — источник света, 2, 4 — направленные ответвители, 3 — поляризатор, 5 — волоконное кольцо, 6 — пьезоволоконный элемент, 7 — коллиматор, 8 — фарадеевский ротатор (45°), 9 — глухое зеркало, 10 — фотоприемник, 11 — фазовый детектор, 12 — генератор.

элементами. Волокно в пьезоволоконном элементе подвергается продольным и поперечным напряжениям, что наряду с фазовой модуляцией приводит к ППМ, которая является одной из главных причин погрешностей интерферометра. Для снижения влияния ППМ было предложено много способов [3,6–8], из которых наиболее эффективным представляется упомянутый выше принцип компенсации ППМ в отражательном модуляторе [3,6]. Целью настоящей работы является изучение ППМ в предлагаемой нами схеме РВКИ с внешним фарадеевским отражателем.

При практической реализации РВКИ возникают трудности, связанные с поворотом плоскости поляризации на 90° в модуляторе с фарадеевским отражателем. В настоящей работе эти трудности были частично преодолены в новой оптической схеме РВКИ (рис. 1), которая является одним из возможных вариантов кольцевого интерферометра

с фарадеевским отражателем. Чувствительным элементом РВКИ является волоконное кольцо 5, в котором распространяются встречные световые волны от широкополосного источника 1 (ширина спектра 20 nm при средней длине волны $1.55 \mu\text{m}$). На фотоприемнике 10 регистрируется сигнал интерференции встречных волн, разность фаз которых зависит от воздействий на кольцо (например, вращения). Для получения выходного сигнала применяются гармоническая фазовая модуляция световых волн и фазовое детектирование модуляционной компоненты выходного излучения.

В данной схеме 45° -ный фарадеевский ротатор 8 выполняет роль конвертора поляризационных мод. Собственно фазовая модуляция оптического излучения с частотой $f_m = 42 \text{ kHz}$ осуществляется в пьезоволоконном элементе 6. Элемент 6 представляет собой пьезокерамический диск диаметром 50 mm, на который напрессовано алюминиевое кольцо с намотанным при натяжении 50 g волокном типа „PANDA“ (12 витков). Оптическая схема РВКИ выполнена из такого же волокна.

В предлагаемой схеме поляризация выходного излучения на выходе модулятора повернута на 90° относительно входной. Для того чтобы встречные волны, несущие информацию о вращении, возвращались к поляризатору 3 с правильной ориентацией линейной поляризации, на одном из входов чувствительного кольца 5 стык $s1$ с ответвителем 4 выполняется с разворотом на 90° осей двулучепреломления волокна. В этой схеме также ослабляется нерабочая компонента света, попадающая на поляризатор без захода в кольцо. Другой особенностью данной схемы является наличие стыка $s2$ под углом около 45° к осям двулучепреломления волокон.

ППМ в данной схеме проявляется как дополнительная (к сигналу при вращении кольца) амплитудная модуляция напряжения на выходе фотодиода 10 с частотой f_m и амплитудой U_1 . Поэтому U_1 необходимо измерять в отсутствие вращения и при малых других паразитных сигналах в схеме РВКИ. Для измерения U_1 применяется фазовое детектирование с регистрацией синфазной U_{1s} и квадратурной U_{1q} компонент, так что $U_1^2 = U_{1s}^2 + U_{1q}^2$. Синфазная настройка фазового детектора при этом соответствует максимальной чувствительности интерферометра к вращению. Квадратурная компонента в основном связана с ППМ [7]. В качестве критерия эффективности подавления ППМ в настоящей работе принято отношение квадратурных компонент в схемах РВКИ

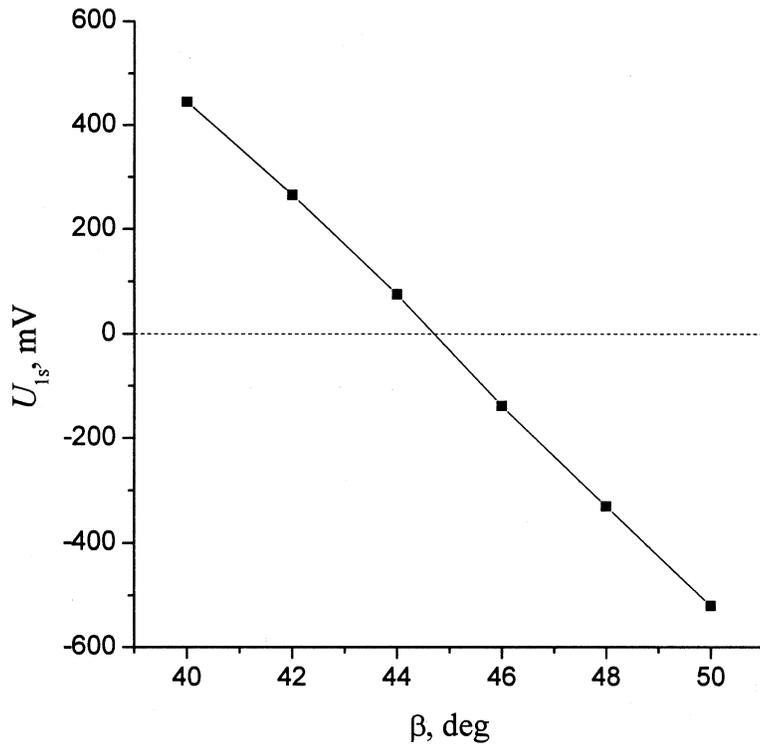


Рис. 2. Зависимость сдвига нуля РВКИ от угла β .

с обычным и фарадеевским зеркалом. В связи с этим в экспериментальной установке предусмотрена возможность перехода от одной схемы к другой.

В схеме с фарадеевским зеркалом экспериментально обнаружена зависимость сдвига нуля U_{1s} от угла β разворота волокон на стыке s_2 (рис. 2) (здесь масштабный коэффициент равен $0.7 \text{ mV}/(\text{deg/h})$). Отметим, что нулевое значение сдвига имеет место при величине β , которая примерно соответствует разориентации осей волокна на 45° . Наклон кривой $U_1(\beta)$ зависит от длин L_1 и L_2 , которые подбирались экспериментально. Проведенные эксперименты показывают, что имеются не вполне понятные проблемы с взаимностью встречных волн,

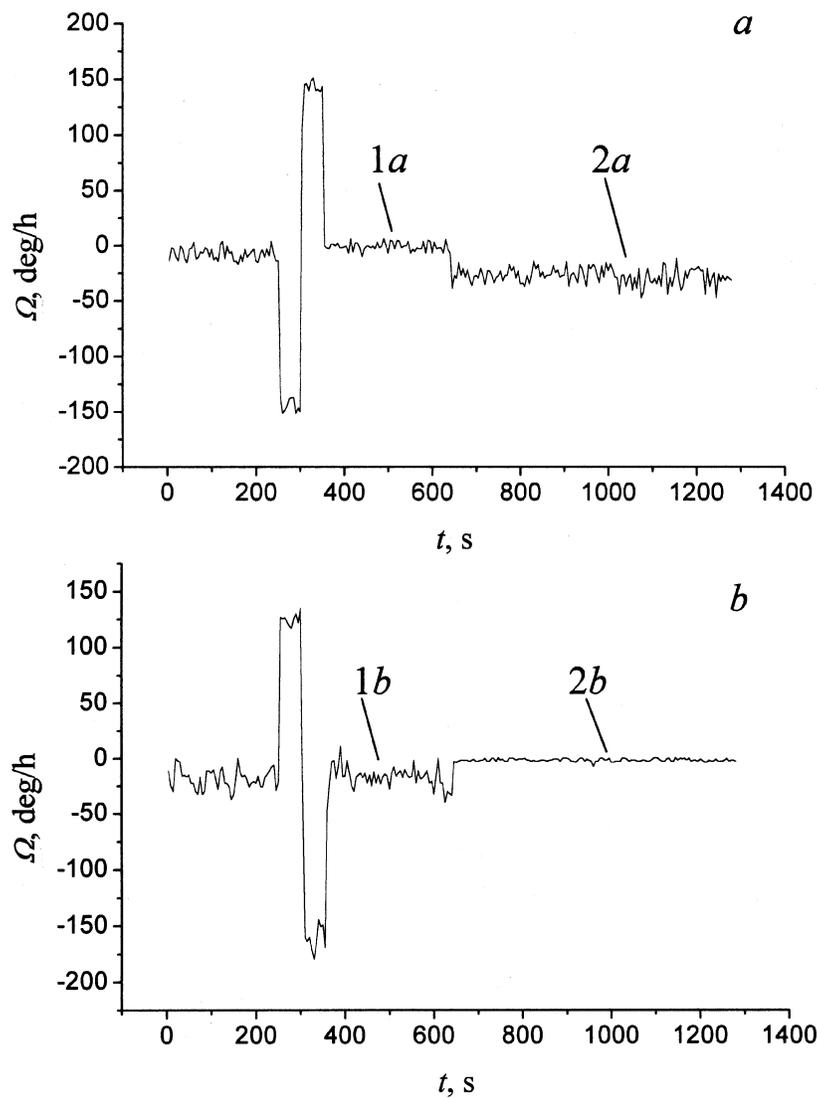


Рис. 3. Запись выходного сигнала РВКИ в схеме с обычным (а) и фарадеевским (b) зеркалом для синфазной (1а, b) и квадратурной (2а, b) компонент.

которые, по-видимому, обусловлены неидеальностью фарадеевского ротатора (угол поворота модовых полей не равен 45°).

Для оценки степени подавления ППМ были сделаны записи выходного сигнала РВКИ в отсутствие вращения при синфазной и квадратурной (выходной сигнал спустя примерно 600 s от начала записи) настройках фазового детектора в схемах с обычным и фарадеевским зеркалом (рис. 3, *a, b*). На синфазные компоненты выходных сигналов наложены калибровочные сигналы ($\pm 140 \text{ deg/h}$). Величины квадратурных компонент близки к максимальным значениям в данных схемах. В схеме с фарадеевским зеркалом квадратурная компонента практически совпадает с нулем электроники и имеет малый дрейф. Отмеченный факт свидетельствует об отсутствии заметных квадратурных сигналов в данной схеме, т.е. о существенном подавлении ППМ. Величина квадратурной компоненты составила $-27.5 \pm 7.4 \text{ deg/h}$ для обычного зеркала и $-1.85 \pm 1.3 \text{ deg/h}$ для фарадеевского зеркала, т.е. подавление квадратурной компоненты составляет приблизительно 15 раз. Другим фактом является малый шум квадратурной компоненты (в основном связанный с вариациями температуры среды) в схеме с фарадеевским зеркалом (меньше в 6 раз по сравнению с обычным зеркалом).

Следует отметить, что в настоящей работе не ставилась задача получения малого дрейфа нуля РВКИ (синфазной компоненты). Для решения этой задачи необходимо изучение дополнительных сдвигов нуля, выявленных в предлагаемой схеме РВКИ.

Достигнутая степень снижения уровня ППМ ограничена рядом факторов, среди которых в данной работе, на наш взгляд, преобладает неточность конверсии мод из-за погрешности разворота плоскости поляризации в ротаторе.

В заключение отметим, что в работе предложена новая оптическая схема РВКИ с фарадеевским отражателем, для которой экспериментально показана возможность снижения более чем на порядок сдвигов нуля, вызванных паразитной поляризационной модуляцией в фазовом модуляторе. Выявлены факторы, которые могут приводить к дополнительным сдвигам нуля такого интерферометра.

Авторы выражают благодарность Б.Л. Давыдову и Е.А. Константинову за большую помощь в подготовке эксперимента.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 00-02-17344).

Список литературы

- [1] *Yu A., Siddiqui A.S.* // Electron. Lett. 1992. V. 28. P. 1778–1781.
- [2] *Алексеев Э.И., Базаров Е.Н., Губин В.П.* и др. // Квантовая электроника. 2001. Т. 31. С. 1113–1114.
- [3] *Алексеев Э.И., Базаров Е.Н.* // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23. В. 15. С. 90–94.
- [4] *Hu Z., Ma X., Li F., Tang Q., Zhou S., Wu Y.* // Proc. SPIE. 1999. V. 3860. P. 348–355.
- [5] *Wanser K.H.* // Proc. SPIE. 1988. V. 891. P. 204–208.
- [6] *Алексеев Э.И., Базаров Е.Н., Губин В.П.* и др. // Радиотехника и электроника. 1999. Т. 44. № 1. С. 122–128.
- [7] *Szafraniec B., Blake J.* // J. Lightwave Technol. 1994. V. 12. N 9. P. 1679–1684.
- [8] *Luke D.G., McBride R., Burnett J.G.* et al. // Optics Commun. 1995. V. 121. P. 115–120.