

## ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ГИРОСКОП

Баландин Е.А., Баландина Т.Н.

Научный руководитель: Гурин Л. Б. доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: balaniva@sibmail.com

Волоконно-оптические гироскопы (ВОГ) используются в многочисленных системах автоматического контроля, управления и диагностики. Область их применения постоянно расширяется, а предъявляемые технические и конструктивные требования становятся более разнообразными. В настоящее время различные модели ВОГ производятся в промышленных количествах во многих индустриально развитых странах [1]. ВОГ выделяется среди других волоконно-оптических датчиков наибольшей сложностью и многообразием происходящих в нем физических явлений. По сравнению с гироскопами других типов, прежде всего традиционными механическими, ВОГ обладает рядом важных достоинств, среди которых нужно выделить следующие:

- высокую точность при достаточно низкой стоимости;
- большой динамический диапазон измеряемых скоростей;
- нечувствительность к ускорениям и перегрузкам;
- малое время готовности;
- малую потребляемую мощность;
- отсутствие перекрестных связей при построении трехосного блока чувствительных элементов;
- отсутствие вращающихся механических элементов и подшипников.

Физической основой работы ВОГ является эффект Саньяка. В 1913 г. французский физик М. Саньяк, проводя эксперименты по обнаружению увлечения «эфира» вращающейся установкой, открыл «вихревой оптический эффект», позволяющий оптическими методами измерять скорость вращения. Схема опыта Саньяка имела вид, приведенный на рис. 1.

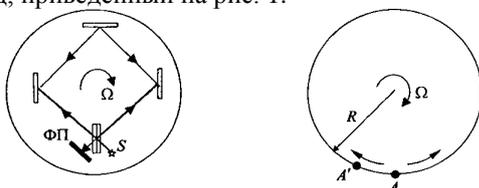


Рис. 1. Схема опыта Саньяка

Рассмотрим распространение двух световых пучков по окружности радиуса  $R$ . В неподвижном интерферометре время обхода контура для обоих пучков одинаково и равно  $t_0 = 2\pi R/c$ , где  $c$  - скорость света. При вращении за время обхода контура точка  $A$  переместится в точку  $A'$  из-за чего условия распространения для встречных пучков становятся разными. Путь, который необходимо

пройти пучку, распространяющемуся в направлении вращения:  $L_+ = 2\pi R + \Omega R t_0$ , где  $\Omega$  - скорость вращения, а путь для другого пучка в противоположном направлении:  $L_- = 2\pi R - \Omega R t_0$ . Подстановкой значения  $t_0$  и с учетом, что скорость распространения пучков в соответствии с постулатом Эйнштейна равна  $c$  для любой инерциальной системы независимо от скорости ее движения, находим времена  $t_{\pm} = t_0 \pm \Delta t/2$  обхода контура:

$$t_{\pm} = \frac{L_{\pm}}{c} = t_0 \pm \frac{2\pi R^2}{c^2} \Omega$$

т. е. разность времен обхода для встречных пучков

$$\Delta t = \frac{4\pi R^2}{c^2} \Omega$$

пропорциональна скорости вращения  $\Omega$  [2]. Из разности времен обхода получаем разность оптических длин путей распространения света в противоположных направлениях:

$$\Delta L = c\Delta t = \frac{4\pi R^2}{c} \Omega$$

ВОГ изготавливаются в так называемой минимальной конфигурации (Рис. 2) с одинаковыми оптическими путями для двух лучей, распространяющихся в волоконном контуре.

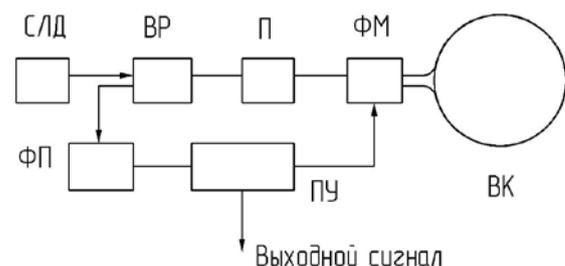


Рис. 2. Структурная схема волоконно-оптического гироскопа

Прибор состоит из источника света-суперлюминесцентного диода (СЛД), волоконного разветвителя (ВР), поляризатора (П), фазового модулятора (ФМ), волоконного контура (ВК), фотоприемника (ФП), платы управления (ПУ).

При конструировании волоконных оптических гироскопов, как правило, в качестве излучателей используют полупроводниковые лазеры (лазерные диоды ЛД), светодиоды (СД) и суперлюминесцентные диоды (СЛД). Для данного прибора был выбран суперлюминесцентный диод ML920J6S. Высококачественные одномодовые суперлюминесцентные диоды являются оптимальными источниками излучения для

волоконно-оптических систем передачи информации, оптических тестеров и гибких оптических мультиплексоров.

Волоконный разветвитель предназначен для деления оптической мощности между каналами передачи. Это устройство должно быть согласовано с входным и выходным участками системы, т.е. заканчиваться либо отрезками волоконных световодов, либо разъёмными соединителями. К ним также предъявляются требования стабильности параметров, надёжности и технологичности.

Поляризатор предназначен для получения поляризованного оптического света с целью уменьшения нестабильности смещения нуля вследствие поляризационной невязимости.

Фазовый модулятор предназначен для внесения фазового сдвига между встречными волнами оптического света.

Волоконный контур представляет собою многovitковую катушку оптического волокна. Оптическое волокно, как показано на рис. 3, состоит из сердечника, по которому распространяется свет, и оболочки. Последняя, в свою очередь, заключена в оплетку, которая защищает поверхность волокна, повышает его прочность и тем самым упрощает эксплуатацию [3].

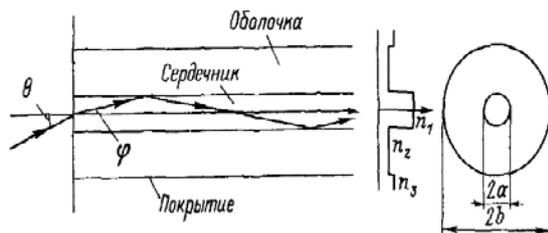


Рис. 3. Оптическое волокно

Последняя, в свою очередь, заключена в оплетку, которая защищает поверхность волокна, повышает его прочность и тем самым упрощает эксплуатацию. Коэффициент преломления сердечника лишь незначительно превышает коэффициент преломления оболочки, поэтому свет, введенный в сердечник с торца волокна, полностью отражается от границы сердечника и оболочки, как бы запирается в сердечнике и распространяется только в нем.

Для волоконно-оптического гироскопа было выбрано одномодовое оптическое волокно Corning SMF-28 ULL. Это волокно имеет самые низкие потери среди известных волокон и самую низкую поляризационно-модовую дисперсию.

Фотоприемник волоконного оптического гироскопа преобразует оптическую интерференционную картину на входе в выходной электрический сигнал. Поскольку интенсивность интерференционного оптического сигнала зависит от соотношения фаз двух интерферирующих лучей, амплитуда электрического сигнала, линейно связанная с интенсивностью оптического

сигнала. Фотоприемник должен обладать очень высокой чувствительностью или высоким разрешением с тем, чтобы «чувствовать» такие градиенты изменения интенсивности, которые соответствуют разности фаз оптических колебаний порядка  $10^{-7}$  рад, что эквивалентно угловой скорости вращения ВОГ примерно  $10^{-2} \dots 10^{-3}$  град/ч (требуемая точность для систем инерциальной навигации). Также фотоприемник должен обеспечивать требуемый динамический диапазон и быстродействие. Зависимость характеристик фотоприемника от изменений окружающих условий (температуры, вибраций и т. д.) должна быть минимальной. Спектральная характеристика должна быть согласована с длиной волны излучателя. Был выбран инфракрасный высокочастотный фотодиодный модуль ИФПМ 1-10 рис. 4. Фотоприемный модуль с одномодовым волоконно-оптическим входом ИФПМ 1-10 предназначен для применения в системах волоконно-оптической передачи, измерительном и другом оборудовании широкого применения в качестве преобразователя оптического излучения в электрический сигнал.



Рис. 4. Внешний вид ИФПМ 1-10

Фотодиодный модуль имеет чрезвычайно низкое обратное отражение шумов в волоконно-оптическую линию связи.

Плата управления предназначена для формирования постоянного фазового сдвига между встречными световыми волнами, равного  $\pi/2$  рад, обработку аналогового сигнала с ФП в цифровой и дальнейший его вывод на индикацию.

#### Список литературы

1. Филатов Ю. В. Волоконно-оптический гироскоп: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003. 52с.
2. Шереметьев Л. Г. Волоконный оптический гироскоп. — М.: Радио и связь, 1987.— 152 с: ил.
3. Волоконно-оптические датчики/Т. Окоси, К. Окамото, М. Оцу, Х. Нисихара, К; Под ред. Т. Окоси: Пер. с япон.— Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990.—256 с: ил.