

Закиров Р.Г., Абдукаюмов А., Абдураимов О.Ш. E-mail: zrg1980@mail.ru
Ташкентский государственный технический университет им. И.А.Каримова,
Ташкент, Узбекистан

ПРЕИМУЩЕСТВА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА САНЬЯКА

В статье приводится анализ применения различных типов гироскопов на воздушных судах гражданской авиации. Проведен анализ недостатков механических и кольцевых лазерных гироскопов. Показаны преимущества волоконно-оптического гироскопа, основанного на эффекте Саньяка. Этот гироскоп имеет более высокую надежность, меньшие, по сравнению с другими типами гироскопов, массу и габариты, более высокую точность измерения угловых скоростей.

Ключевые слова: механический гироскоп, кольцевой лазерный гироскоп, волоконно-оптический, эффект Саньяка

Введение

Одной из основных систем пилотажно-навигационного комплекса любого современного воздушного судна является инерциальная система, позволяющая измерять навигационные параметры воздушного судна – курс, крен, тангаж, истинную скорость и др. относительно связанной с Землей системы координат.

Основным элементом инерциальной системы является гироскоп. В настоящее время наряду с механическими большое распространение получили кольцевые лазерные гироскопы. Однако, и те и другие обладают достаточно большой массой и габаритами, что снижает экономическую целесообразность использования их в качестве датчиков углов ориентации в инерциальных системах воздушного судна.

Вместе с тем в настоящее время все большее распространение получают волоконно-оптические гироскопы на основе эффекта Саньяка.

В настоящей статье приводится обоснование целесообразности замены кольцевых лазерных гироскопов, применяемых в пилотажно-навигационных комплексах воздушных судов волоконно-оптическими.

Формулировка проблемы

Гироскоп – устройство, способное измерять изменение углов ориентации связанного с ним тела относительно инерциальной системы координат. До недавнего времени в системах навигации летательных аппаратов применялись механические гироскопы, работающие на основе эффекта удержания оси вращения тела в одном направлении инерциального пространства (Рис.1) [1].

Это, как правило, трехстепенные гироскопы, измеряющие крен, тангаж и курс воздушного судна.

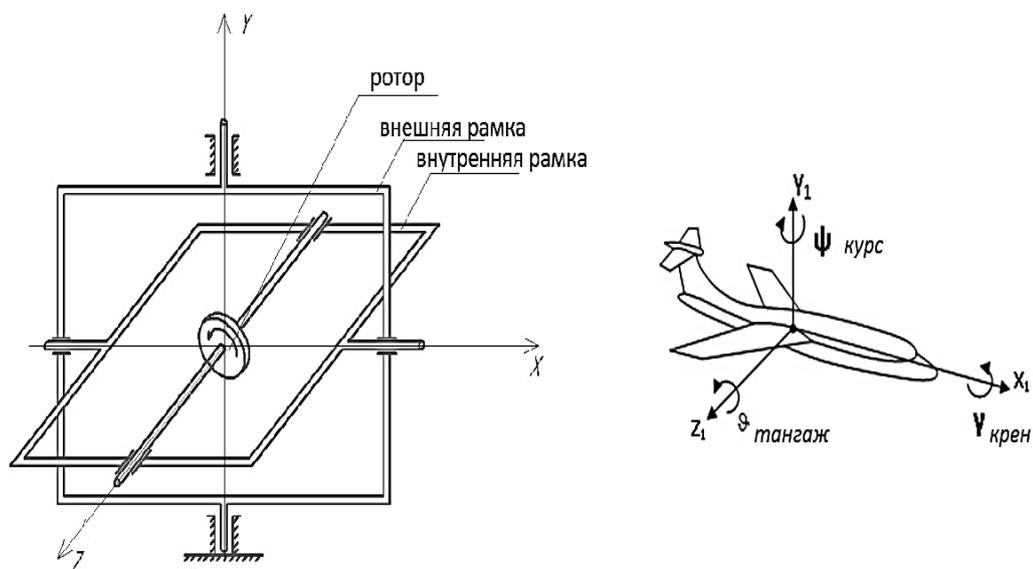


Рис.1 Устройство механического гироскопа

Цена механических гироскопов достаточно высока, так как для их корректной работы требуется высокая точность формы ротора и минимальное трение подшипников. Но, даже при выполнении этих требований, механические гироскопы достаточно недолговечны и ненадежны вследствие износа трущихся частей. Кроме того, со временем у таких гироскопов появляется значительная погрешность измерения углов, влияющая на безопасность полета. Для ее уменьшения требуется производить частую поверку приборов с механическими гироскопами на стенде, что требует значительного расхода средств.

Эти недостатки в значительной мере устраняются за счет применения оптических гироскопов, которые имеют следующие преимущества:

- отсутствие подвижных частей;
- простота и надежность конструкции;
- значительно более высокая чувствительность;
- высокая линейность характеристик;
- низкая потребляемая мощность.

Принцип действия большинства оптических гироскопов основан на эффекте Саньяка, заключающемся в том, что во вращающемся кольцевом интерферометре одна встречная волна приобретает фазовый сдвиг относительно другой встречной волны. Этот сдвиг в общем виде прямо пропорционален угловой скорости вращения, площади, охватываемой интерферометром, и частоте волны. Фазовый сдвиг пропорционален только угловой скорости, так как площадь и частота волны остаются неизменными во время работы гироскопа [2].

В зависимости от конструкции замкнутого оптического контура различают два типа оптических гироскопов

- кольцевой лазерный гироскоп;
- волоконно-оптический гироскоп.

Конструкция кольцевого лазерного гироскопа показана на рис.2 Принцип работы такого гироскопа основан на разности частот двух генерируемых световых волн, распространяющихся в противоположных направлениях по треугольному оптическому пути, возникающей из-за разности оптической длины путей, проходимых лучами при повороте гироскопа. В настоящее время кольцевые лазерные гироскопы

являются наиболее распространенным типом гироскопов, применяемых в авиационных инерциальных системах (Inertial Reference System-IRS), выпускаемых компаниями Honeywell, Allied Signal, Rockwell Collins и др.

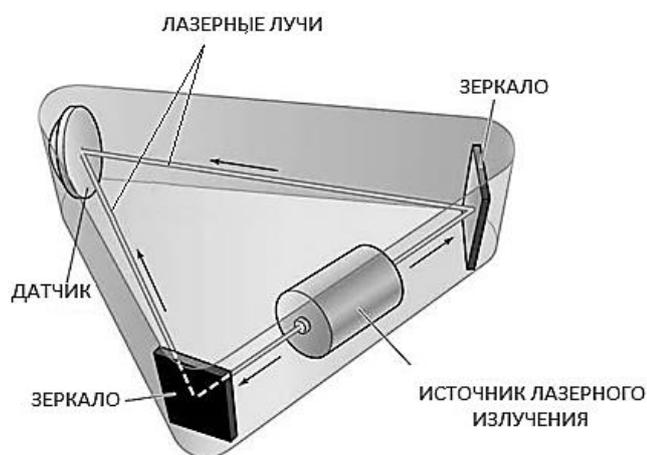


Рис.2 Конструкция кольцевого лазерного гироскопа

Однако, несмотря на большую распространенность, кольцевые лазерные гироскопы также имеют ряд недостатков, основными из которых являются:

- Нелинейность выходного сигнала при малой угловой скорости (влияние синхронизма);
- Колебания выходного сигнала из-за газовых потоков в лазере;
- Кольцевой лазерный гироскоп очень чувствителен к различного рода деформациям оптического волновода, вызванным тепловым расширением, изменением давления и другими факторами.

Предлагаемое решение

Для устранения этих недостатков в инерциальных системах летательных аппаратов предлагается использовать волоконно-оптический гироскоп.

Принцип действия волоконно-оптического гироскопа основан на эффекте Саньяка, который заключается в появлении фазового сдвига встречных электромагнитных волн во вращающемся кольцевом интерферометре.

Схема кольцевого интерферометра Саньяка приведена на рис.3. Луч от источника 1 проходит через полупрозрачное зеркало 2, где он расщепляется на два потока с противоположными направлениями. Оба потока поступают на систему зеркал 3. Если система неподвижна, то оба потока проходят одинаковый путь и создают соответствующую интерференционную картину на фотоприемнике 4.

Фазовый сдвиг создает на фотоприемнике 4 интерференционную картину, расстояние между кольцами которой пропорционально угловой скорости Ω [2].

Волоконно-оптический гироскоп представляет собой интерферометр Саньяка, в котором круговой оптический контур заменен катушкой из длинного одномодового оптического волокна. Главными элементами такого гироскопа, как и в кольцевом интерферометре, являются излучатель, расщепитель луча, многовитковый замкнутый контур из одномодового световода с малым затуханием и фотоприемник (Рис.4) .

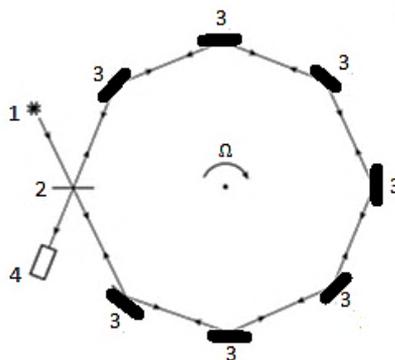


Рис. 3. Кольцевой интерферометр: 1 – источник излучения; 2 – светоделительная пластинка (полупрозрачное зеркало); 3 – зеркала; 4 – фотоприемник. Стрелка указывает направление вращения интерферометра

Изменение геометрических размеров интерферометра под влиянием центробежных сил, а также поперечный сдвиг встречных волн под действием центробежных сил, связанных с кривизной их траектории в интерферометре, можно не учитывать, так как вызванное данными факторами увеличение площади кольца очень незначительно, причем это увеличение одинаково для обеих встречных волн и, следовательно, не приводит к появлению разности фаз между ними.

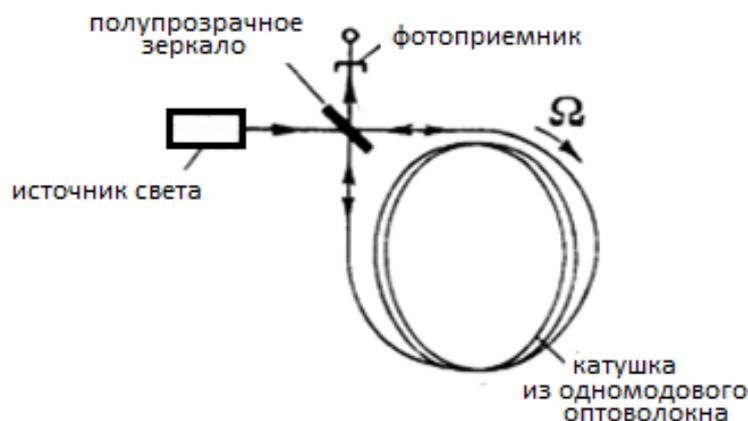


Рис.4 Схема волоконно-оптического гироскопа

В отличие от кольцевых лазерных гироскопов волоконно-оптические гироскопы измеряют угловую скорость, а не её приращение. Соответственно, волоконно-оптические гироскопы имеют преимущества перед кольцевыми лазерными гироскопами:

- из-за использования в качестве среды распространения света оптического волокна, и уменьшения потерь, эффект Саньяка, на котором основан принцип работы прибора, проявляется на порядки сильнее, так как затухание в оптическом волокне на порядки ниже, чем в открытой линии связи. Кроме того, оптоволокно подводится непосредственно к фотоприемнику, что обеспечивает попадание света на датчик практически на 100 %, в то время, как в кольцевом лазерном гироскопе на датчик попадает не более 50 % световой энергии;
- конструктивно волоконно-оптический гироскоп выполнен в форме твердотельного прибора, что делает его более надежным и простым в эксплуатации;

- этот гироскоп непосредственно измеряет скорость вращения, а не вычисляет ее на основе измерения приращения скорости, как кольцевой лазерный гироскоп.
- Чувствителен к обратному (реверсному) направлению вращения;
- с высокой точностью измеряет малые угловые скорости.

При конструировании волоконных оптических гироскопов, как правило, в качестве излучателей используют полупроводниковые лазеры (лазерные диоды), светодиоды и суперлюминесцентные диоды.

Газовые лазеры в волоконно-оптических гироскопах применяют крайне редко, однако этот факт позволяет значительно удешевить производство волоконно-оптических гироскопов.

Специфика конструкции волоконно-оптических гироскопов предъявляет дополнительные требования к источникам излучения: точное соответствие длины волны излучения номинальной длине волны световода, где потери минимальны; обеспечение высокой эффективности ввода излучения в световод; возможность работы источника излучения в непрерывном режиме без охлаждения; высокий уровень выходной мощности излучателя; долговечность, прочность конструкции, а также минимальные габариты, масса, потребляемая мощность и стоимость [2].

Длина периметра контура определяется исходя из двух предпосылок:

- увеличение длины контура повышает точность системы в целом, так как величина невзаимного фазового сдвига пропорциональна длине волокна;
- для более длинного контура в большей степени на работу системы оказывают влияние параметры затухания и нерегулярности волокна.

При выборе фотодетектора для волоконно-оптического гироскопа необходимо обеспечивать максимальную интегральную чувствительность в требуемом спектральном диапазоне, минимальную эквивалентную мощность шумов и минимальный темновой ток.

Заключение

В работе проанализированы преимущества применения в пилотажно-навигационных комплексах летательных аппаратов волоконно-оптических гироскопов. Главным преимуществом волоконно-оптического гироскопа является значительное по сравнению с другими типами гироскопов уменьшение массы и габаритов, что имеет значительный экономический эффект при проектировании БНК для воздушных судов малой авиации.

Для применения в летательных аппаратах необходимо использовать трехступенной волоконно-оптический гироскоп, оси катушек которого ориентированы по вертикальной, продольной и поперечной осям воздушного судна.

Таким образом развитие разработок в области применения волоконно-оптических гироскопов является перспективным направлением.

Литература

1. Пельпор Д.С. Гироскопические системы. Гироскопические приборы и системы. – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 2008. – 424 с.
2. Бутиков Е.И. Динамика вращения твердого тела: Учебное пособие / Санкт-Петербургский технический университет. – Санкт-Петербург. 2007. – 96с.