

УДК 62.791.2

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ПНЕВМО-ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

© 2012 В.Г. Мадриченко¹, М.В. Макарьянц², В.С. Тингаев², Н.А. Ливочкина²,
Р.Р. Акбаров², А.М. Масленников¹

¹ Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С.П. Королева
(национальный исследовательский университет)
² ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс», г. Самара

Поступила в редакцию 25.03.2012

В работе описаны проблемы создания преобразователей перемещения для работы в криогенных условиях эксплуатации. Описаны преимущества волоконно-оптических преобразователей для решения поставленной задачи. Для построения преобразователя предложены несколько конструкций чувствительного элемента, для реализации вторичного преобразователя предложено использовать волоконную интерферометрическую схему с обратным отражением. Результатом работы являются позиционные характеристики преобразователей перемещения.

Ключевые слова: преобразователь перемещения, пневмо-гидравлическая система, поляризация, эффект Фарадея

Создание перспективных образцов ракетно-космической и авиационной техники требует решения целого комплекса научно-технических проблем, в том числе разработки высокопроизводительных, энергоэффективных, малогабаритных и надежных датчиков для решения задач контроля, измерения и управления. С точки зрения устойчивости к дестабилизирующим факторам, габаритов, энергопотребления и эксплуатационной надежности наиболее перспективными для создания систем контроля являются оптические и волоконно-оптические датчики. Созданию волоконно-оптических датчиков для задач космической промышленности препятствует ряд нерешенных задач в области оптической физики, связанных с проведением комплексных теоретических и экспериментальных исследований механизмов взаимосвязи оптических, физико-химических процессов в материалах и элементах оптики. Это обстоятельство определяет актуальность работ по созданию нового поколения отечественных оптических и оптоэлектронных преобразователей физических величин и формированию на их основе бортовых систем контроля.

В настоящее время в бортовых системах применяются измерительные преобразователи (датчики) с выходным электрическим сигналом в цифровой и аналоговой форме. Погрешность

различных типов датчиков составляет от 0,01 до 1-3%, масса датчика – от 0,1 до 1500 г, при этом масса электрических кабелей, соединяющих датчики и исполнительные органы с системой управления, составляет значительную долю от общей массы всего аппарата. Определение положения физических объектов и их перемещений является важной функцией многих автоматизированных систем. Под перемещением объектов подразумевается их передвижение из одного положения в другое. Для измерения перемещений используются различные методы, на основе которых реализуются следующие датчики перемещений: резистивные, емкостные, индуктивные, оптические, ультразвуковые. Каждому типу датчиков присущи свои достоинства и недостатки, которые необходимо учитывать в решении конкретной задачи.

В настоящее время существует задача измерения перемещения объектов находящихся в условиях низких температур, например клапанов, пневмо-гидравлической системы ракетного двигателя в системах подачи кислорода. Решение данной задачи осложняется рядом условий:

- диапазон изменения температуры от минус 253 С до плюс 150 С;
- высокий уровень вибраций;
- высокий уровень электромагнитного излучения;
- агрессивная среда.

После проведения сравнительного анализа и классификации методов измерения перемещения, выявлено, что для решения задачи измерения перемещения в условиях низких температур наиболее применимы волоконно-оптические датчики с волокном в качестве чувствительного элемента, как обеспечивающие наиболее высокую чувствительность измерения, высокое быстродействие, помехозащищенность от электромагнитных и

Мадриченко Вениамин Геннадьевич, аспирант.

E-mail: veniamines@gmail.com

Макарьянц Михаил Викторович, заместитель главного конструктора – начальника отделения

Тингаев Владимир Сергеевич, аспирант. E-mail: tingaev@inbox.ru

Ливочкина Наталья Александровна, аспирант. E-mail: livochkina1312@yandex.ru

Акабаров Руслан Рустамович, аспирант

Масленников Андрей Михайлович, инженер. E-mail: rtcveel@ya.ru

радиационных помех, устойчивость к агрессивным и горючим средам, а также взрыво-пожаробезопасность. Проведенные анализ и обзор существующих оптических преобразователей перемещения указывают на невозможность применения готовых решений в области оптических датчиков для решения поставленной задачи, поэтому предложен совершенно новый способ измерения перемещения подвижных объектов на основе эффекта Фарадея. Датчики, реализованные на данном эффекте, можно отнести к поляризационным. Построение данного преобразователя сводится к созданию в замкнутом объеме магнитного поля, которое изменяется при перемещении ферромагнитного плунжера, связанного с клапаном. Изменение перемещения регистрируется в специальной катушке с намотанным оптическим волокном. Угол поляризации излучения на выходе из данного устройства будет нести информацию о магнитном поле и, следовательно, о перемещении плунжера. Эффект Фарадея или эффект кругового магнитного двулучепреломления – один из эффектов магнитооптики, заключающийся в повороте плоскости поляризации линейно поляризованной электромагнитной волны при ее прохождении через продольно намагниченную среду. Вследствие этого волны, поляризованные по правому и левому кругу, распространяются в веществе с разными фазовыми скоростями и при прохождении ими в веществе некоторого расстояния l между ними появляется разность фаз. Кроме того, плоскость поляризации результирующей поляризованной волны поворачивается на угол:

$$\theta = V_v \int H dl \quad (1)$$

где V_v – постоянная Верде; L – длина оптического волокна, на которое воздействует поле; H – напряженность магнитного поля.

Изменение угла поворота плоскости поляризации зависит от изменения магнитного поля, под действием движения плунжера (рис. 1). Для его регистрации использована волоконная интерферометрическая схема с обратным отражением [1].

Устройство работает следующим образом, магнитный элемент, связанный с объектом измерения, вызывает изменение магнитного поля. Магнитное поле пронизывает волоконно-оптическую катушку из магнитооптического материала, причем один конец волоконно-оптической катушки из магнитооптического материала подключен через оптическое волокно к широкополосному источнику света вторичного оптоэлектронного блока, а на второй конец (торец) волоконно-оптической катушки из магнитооптического материала нанесено зеркало, выполненное, например, в виде слоя металлизации или отражающей решетки Брега, а вторичный оптоэлектронный блок основан на интерферометрическом методе измерения по схеме с обратным отражением и регистрирует величину угла поворота плоскости поляризации света в волоконно-оптической катушке.

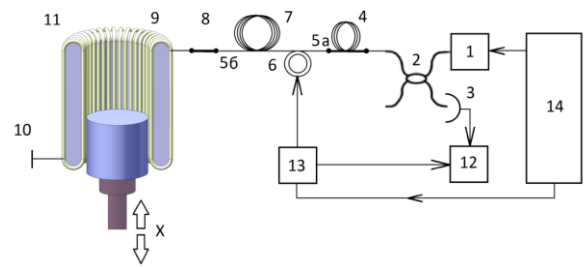


Рис. 1. Структурная схема оптического преобразователя:

1 – источник света, 2 – ответвитель, 3 – фотодетектор, 4 – поляризатор, 5а и 5б – точки сварки волокна, 6 – модулятор, 7 – волоконная линия, 8 – четверть волновая пластинка, 9 – катушка с оптическим волокном 11, 10 – зеркало

Оптическое излучение последовательно проходит через направленный ответвитель, волоконный поляризатор, где свет преобразуется в линейно поляризованный. Далее свет на стыке с двулучепреломляющим волокном разделяется на две, равные по интенсивности волны, направляемые по быстрой и медленной оптическим осям этого волокна и поступает в волоконный модулятор двулучепреломления. Далее излучение проходит через соединительную линию, фазовую четверть волновую пластинку, здесь одна из волн преобразуется в правоциркулярную, другая в левоциркулярную. Сформированные фазовой пластинкой ортогональные циркулярно поляризованные моды распространяются в чувствительном элементе датчика по чувствительному волокну, сохраняющему циркулярную поляризацию, и под действием магнитного поля между ними накапливается фазовый сдвиг, пропорциональный напряженности магнитного поля.

После отражения от зеркала моды, сменив направление циркулярной поляризации на противоположное, распространяются в обратном направлении. При повторном проходе фазовой пластинки циркулярно поляризованные моды вновь преобразуются в линейные. В результате на входе в поляризатор все фазовые сдвиги, обусловленные взаимными эффектами (влияние показателя преломления среды, ДЛП в световоде), компенсируются и сохраняется только связанный с измеряемым полем фазовый сдвиг. Составляющие обеих линейно поляризованных мод проходят через поляризатор и интерферируют, затем интерференционный сигнал через ответвитель поступает на фотоприемник. На выходе фазового детектора напряжение пропорционально фазовому сдвигу, обусловленному эффектом Фарадея. Далее сигнал оцифровывается в микроконтроллере.

Преимуществом этой схемы по сравнению с другими схемами построения устройства является то, что две интерферирующие волны все время находятся относительно близко в пространстве. Поэтому температурные изменения окружающей среды и связанные с ними фазовые сдвиги световых волн происходят с волнами практически одновременно, т.е. волны получают одинаковые паразитные фазовые сдвиги. По этим же причинам существенно уменьшается чувствительность

устройства к вибрациям. Все это сильно улучшает эксплуатационные характеристики устройства.

В ходе проведения исследований предложено несколько конструкций волоконно-оптических преобразователей перемещения. Первый вариант представляет собой магнитную систему из подвижного магнитного элемента, стационарного магнита и одной волоконной катушки. Второй вариант представляет собой систему из подвижного магнитного элемента, соленоида и двух оптических

катушек. Принцип работы второго варианта устройства идентичен с первым устройством, но использование двух волоконно-оптических катушек позволяет во вторичном оптоэлектронном блоке добиться высокой устойчивости к синфазным дестабилизирующим факторам, таким как вибрации и температура. Предложенные варианты конструкций были промоделированы с учетом реальных материалов и построены позиционные характеристики (рис. 2).

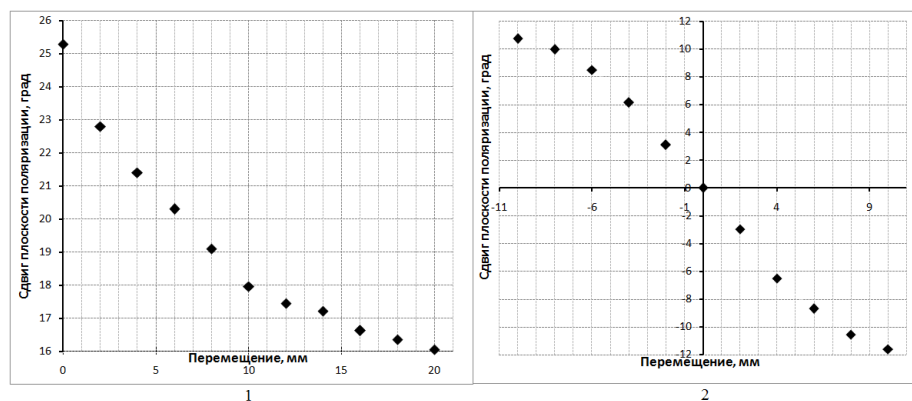


Рис. 2: 1 – позиционная характеристика для модели с магнитом в качестве магнитного поля, 2 – позиционная характеристика для модели с катушками подмагничивания

Вывод: данный вид преобразователя является перспективным вариантом решения поставленной задачи, однако для практической реализации необходимы проведение дополнительных исследований влияния криогенных температур на характеристики волоконно-оптического тракта и разработка уточненных математических моделей датчика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Shayne, X. Short Elimination of Birefringence Induced Scale Factor Errors in the In-Line Sagnac Interferometer Current Sensor // Journal of lightwave technology. 1998. №10. С. 1844.

DISPLACEMENT CONVERTER FOR CONTROL THE STATE OF PNEUMATIC-HYDRAULIC SYSTEM AT CARRIER ROCKETS

© 2012 V.G. Madrichenko¹, M.V. Makaryants², V.S. Tingayev², N.A. Livochkina², R.R. Akbarov², A.M. Maslennikov¹

¹ Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolev (National Research University)

² Federal State Unitary Enterprise State Scientific Production Rocket Space Center “TsSCB-Progress”, Samara

In work problems of creation the displacement converters for work in cryogenic external environment are described. Advantages of fiber-optical converters in the solution of a problem are described. For creation the converter some designs of sensitive element are offered, for realization the secondary converter it is offered to use the fiber interferometric scheme with retroreflection. Result of work are positional characteristics of displacement converters.

Key words: displacement converter, pneumatic-hydraulic system, polarization, Faraday effect

Veniamin Madrichenko, Post-graduate Student. E-mail: veniamines@gmail.com
 Mikhail Makaryants, Deputy Chief Designer – chief of the Department
 Vladimir Tingaev, Post-graduate Student. E-mail: tingaev@inbox.ru
 Nataliya Livochkina, Post-graduate Student. E-mail: livochkina1312@yandex.ru
 Ruslan Akbarov, Post-graduate Student
 Andrey Maslennikov, Engineer. E-mail: rtcveel@ya.ru