

МУЛЬТИСЕНСОРНЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДАВЛЕНИЯ

© 2011 Г. И. Леонович¹, С. А. Матюнин¹, Н. А. Ливочкина²

¹Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

²ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ «Прогресс»

Совершенствование бортовых систем управления направлено на расширение функциональных возможностей при уменьшении массогабаритных показателей, увеличении надежности и снижении энергопотребления. Применение датчиков давления на основе планарного световода с кондукционным покрытием позволяет создать компактную многоточечную сенсорную сеть для сбора и последующей обработки данных о контролируемых параметрах с использованием ограниченного числа волоконно-оптических каналов передачи данных.

Оптический волновод, кондукционное покрытие, преобразователь давления, сбор и обработка данных.

Наряду с требованиями к точности, стабильности и массогабаритным параметрам преобразователей давления на первый план выходит возможность создания сетевых структур и поддержания заданной надежности путём резервирования чувствительных элементов и каналов передачи данных к устройству сбора и обработки информации (УСОИ). Кроме того, УСОИ в различных вариантах соединения с группой первичных преобразователей (ПП) может выполнять функции вторичного преобразователя (ВП): оцифровки аналогового сигнала, оценки достоверности данных и исправности ПП, реконфигурации конкретного измерительного канала и др. [1 -3].

Одним из перспективных направлений в создании мультисенсорных преобразователей физических величин является использование волоконно-оптических технологий. В качестве примера можно привести измерительные комплексы FISO Technologies (Канада), Blue Road Research (США), Oregon Department of Transportation (США), SOFO (Japan), «Дозор» и «Электроника-2000А» (РФ) и др.

На рис. 1 представлен вариант классификации волоконно-оптических преобразователей давления (ВОПД). Информативным параметром может быть амплитуда, фаза, частота и поляризация оптического излучения. В соответствии с ролью оптического во-

локна (ОВ) можно выделить две категории ВОПД, в которых ОВ служит чувствительным элементом и в которых используется в качестве оптического тракта для соединения элементов датчика. Возможность применения источников некогерентного излучения и устройств обработки оптических сигналов существенно снижает конструктивную сложность ПП и, соответственно, стоимость ВОПД в целом. Немаловажный фактор, определяющий надежность ВОПД, заключается в возможности применения ПП с закрытым оптическим каналом.

Существенную нишу начинают занимать некогерентные многоточечные преобразователи с закрытым оптическим каналом, основанные на оценке задержки импульсов в ПП, встроенных в волоконно-оптическую сеть. Основной причиной изменения оптического пути, т. е. задержки сигнала и связанного с ней изменения частоты рециркуляции импульсов, являются изменение коэффициента преломления и изменение геометрических параметров сенсорного участка ОВ вследствие воздействия измеряемого параметра на волокно или нанесенное на него кондуктирующее покрытие [4].

В качестве задач, решение которых позволит повысить конкурентоспособность таких преобразователей, необходимо выделить миниатюризацию ПП и обеспечение эффективной сетевой инфраструктуры.



Рис. 1. Классификация ВОИД

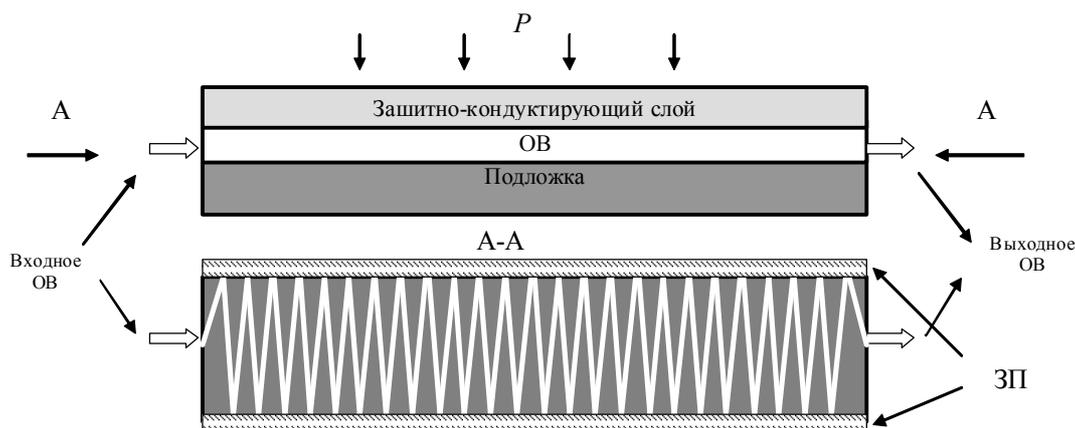


Рис. 2. Упрощенная структурная схема чувствительного элемента

В работах [5, 6] описан принцип построения ПП давления, основанный на кондуктирующем эффекте защитного слоя толщиной 10...1000 нм, дающего 5...40 – кратное увеличение динамического диапазона и чувствительности. В качестве материала слоя может, например, использоваться алифатический полиуретан со сферическими наночастицами двуокиси кремния [7]. Вариант реализации миниатюрного ПП (чувствительного элемента - сенсора), построенного по планарной технологии, показан на рис. 2.

Чувствительный элемент (ЧЭ) представляет собой набор отрезков плоских ОВ с

общей длиной L , сигнал по которым распространяется посредством отражения от боковых зеркальных покрытий (ЗП). Давление на ОВ передается через защитно-редуцирующий слой (ЗРС). Количество отрезков N_L фиксированной длины L_{fx} определяется коэффициентом редукции ЗРС и параметрами измеряемого давления.

В первом приближении можно считать, что связь покрытия и ОВ идеальна (отсутствует проскальзывание слоёв). Тогда модуль Юнга и коэффициент Пуассона для такого композитного материала определяются как [8]

$$E = \frac{E_g \cdot E_n \cdot (V_g \cdot E_g + V_n \cdot E_n)}{(V_g \cdot E_g + V_n \cdot E_n) \cdot (V_g \cdot E_g + V_n \cdot E_g) - V_g \cdot V_n \cdot (V_n \cdot E_g - V_g \cdot E_n)^2} ; \quad (1)$$

$$v' = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z} = v_g \cdot V_g + v_n \cdot V_n \quad , \quad (2)$$

где $V_n = S_n / (S_n + S_g) = 1 - V_g$, E_g и E_n - модули Юнга волокна и покрытия, V_g и V_n - коэффициенты Пуассона волокна и покрытия соответственно; ε_{ij} - осевые деформации.

Отсутствие деформаций сдвига, изменение коэффициента преломления при изменении давления на величину ΔP можно определить как

$$\Delta n = -\frac{n^3}{2 \cdot E} \cdot [p_{13} - v \cdot (p_{11} + p_{12})] \cdot \Delta P \quad , \quad (3)$$

где p_{ij} - упругооптические константы (коэффициенты Поггелеса).

Задержка сигнала при воздействии давления определяется по формуле

$$\Delta t = \frac{L \cdot \Delta n}{c} \quad , \quad (4)$$

где c - скорость распространения импульса.

С учетом перечисленных факторов связь между относительным изменением давления δP и соответствующим ему изменением параметров ОВ можно записать как

$$\delta P \approx \frac{[n(P) - n_0] \alpha L_0^p}{\left\{ 1 - \left[\left(1 - \frac{n^2(P)}{2} \cdot (p_{12} - v(p_{11} + p_{12})) \right) \cdot \alpha + \frac{P}{n(P)} \cdot \frac{dn}{dP} \right] \right\} n_0 L_0^p} = \frac{\delta n(P) \cdot \alpha}{1 - \left[\left(1 - \frac{n^2(P)}{2} \cdot (p_{12} - v(p_{11} + p_{12})) \right) \cdot \alpha + \frac{P}{n(P)} \cdot \frac{dn}{dP} \right]} \quad , \quad (5)$$

где L_0^p - длина части ОВ, подвергающейся и изменяющейся при воздействии давления; $n(P)$ - показатель преломления сердцевинки ОВ при изменении давления; n_0 - исходное значение коэффициента преломления, привязанное к реперной точке $P=P_0$; α - коэффициент линейного расширения материала ОВ под воздействием давления; $p_{11} = 0,121$ и $p_{12} = 0,27$ - коэффициенты Поггелеса для кварцевого ОВ.

В результате механического взаимодействия полимерного защитного слоя и волновода чувствительность сенсора, т. е. крутизна характеристик $L^p(P)$ и $n(P)$, может

увеличиться на порядок и более в зависимости от материала и толщины пленки [5, 8].

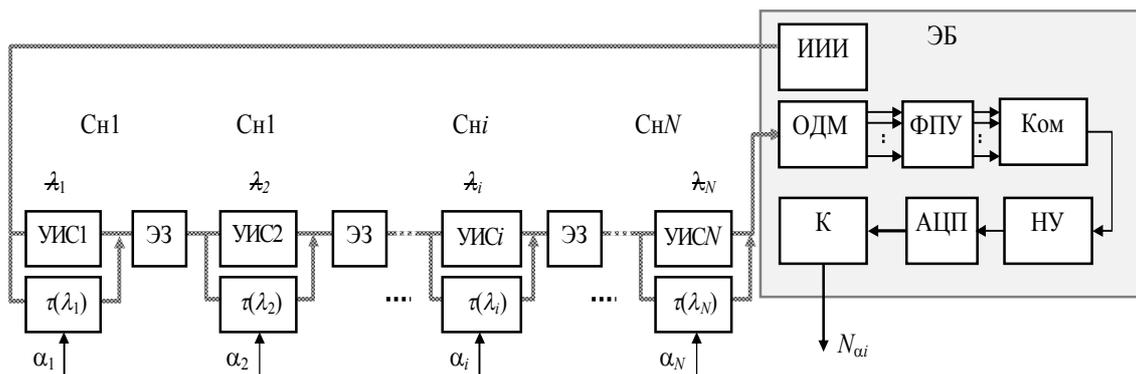
Применение оптического волокна для передачи сигналов изначально предполагает функциональное резервирование одиночного оптоволоконного канала для последовательного соединения сенсоров, функционирующих в различных участках спектра светового потока осветителя. Это означает, что в спектре имеется ряд поддиапазонов, формируемых узкополосными светофильтрами (УС), которые могут использоваться для снятия информации параллельно от группы сенсоров.

С целью повышения помехоустойчивости мультисенсорного ВОПД, связанной с обеспечением инвариантности к дрейфу спектральных характеристик УС при воздействии внешних дестабилизирующих факторов, можно применить спектрально-временное разделение каналов (рис. 3) [9].

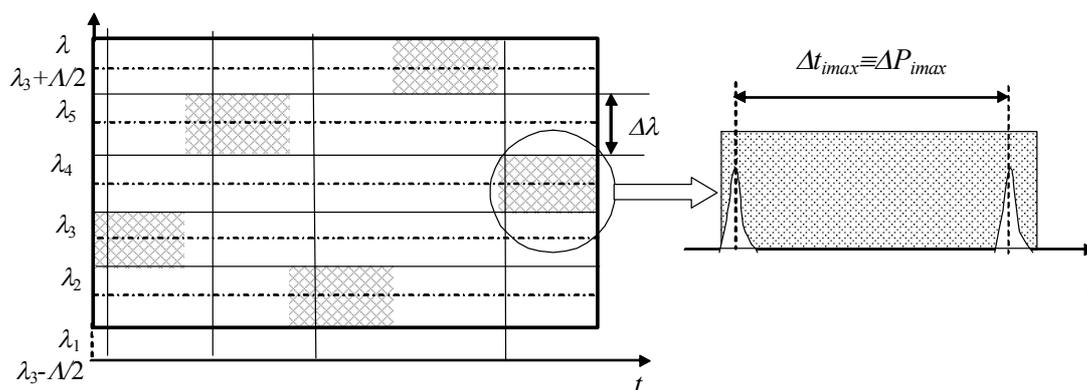
Световой поток от импульсного источника излучения ИИИ поступает в волоконно-оптическую линию, соединяющую группу сенсоров. Каждому сенсору посредством УС и элементов задержки (ЭЗ) выделяются спектральная полоса и временные ворота для измерения давления, позволяющие исключить ошибки идентификации сенсоров при возможном наложении спектров от смежных сигналов путём подбора алгоритма распределения спектрально-временных чипов (рис. 3,б). Посредством оптического демультиплексора ОДМ, фотоприёмного устройства ФПУ, коммутатора К, нормирующего усилителя НУ и АЦП принятые оптические сигналы разделяются по спектру, преобразуются в каналные электрические сигналы, из которых формируются цифровые коды, пропорциональные давлению в соответствующих точках. Дальнейшая обработка кодов и формирование пакета данных осуществляется контроллером К.

Количество и порядок подключения к ВП сенсоров и выравнивающих ЭЗ определяется рядом факторов, среди которых выделяются:

- количество и топологическая схема размещения точек измерения давления;



а)



б)

Рис. 3. Мультисенсорный ВОПД со спектрально-временным разделением каналов и последовательным вводом и выводом излучения по одиночному ОВ:

а) структурная схема; б) спектрально-временная плоскость группового сигнала

- диапазон измерения давления различными сенсорами;
- коэффициент затухания в ОВ;
- удаленность ВП от сенсоров;
- требуемые информационная емкость и быстродействие МВОПД;
- применяемые алгоритмы коррекции погрешности ФПП каждого сенсора;
- кратность резервирования сенсоров;
- требования к надежности, массогабаритным показателям и стоимости преобразователя в целом.

Библиографический список

1. Прогноз развития датчиков. Отчет исследования ожидаемого развития датчиков до 2015 г. / Дания. Центр сенсорной технологии // Датчики и системы.- 2003.- №11. – С. 59-62.

2. www.transense.co.uk/downloads/articles

3. Majeed, Y., Al-Bassiyouni, M., Dasgupta, A., “Design Optimization of Fiber Optic Sensors”, Optical Society of America, 2009.

4. Леонович Г. И. Спектральное и спектрально-модовое кодирование сигналов в оптоэлектронных преобразователях перемещения с волоконно-оптическими каналами передачи информации [Текст] / Г. И. Леонович, С. А. Матюнин, П. Л. Токман, Э. С. Луганский // Известия Самарского научного центра РАН.- 2007.- т.9. №3. – С. 739 – 748.

5. Vohra S. T., Dandridge A., Chang C. C., Johnson G. A., Tveten A. B, Nau G. M. High Sensitivity Pressure Sensors Utilizing Advanced Polymer Coatings / U. S. Naval Research Laboratory, Code 5670 Washington, DC 20375, 1999.

6. Vohra, S. T. Coated fiber pressure sensors utilizing pressure release coating material / Patent № US 6.611.633 B1, 2003.

7. Гофман, И. В. и др. Наноконпозиции алифатического полиуретана с двуокисью кремния, полученные методом совместного синтеза: морфология и механические характеристики [Текст] / И. В. Гофман // Физика твердого тела.- 2010.- Т.52, вып. 3.- С. 79-9.

8. Най, Дж. Физические свойства кристаллов [Текст] / Дж. Най. – М.: Мир, 1967. – 385 с.

9. Леонович Г. И. Мультисенсорные волоконно-оптические преобразователи транспортных систем [Текст] / Г. И. Леонович, В. М. Гречишников, А. С. Лукин, Н. А. Ливочкина // Известия Самарского научного центра РАН. Специальный выпуск «Перспективы и направления развития транспортной системы». - 2007.- С. 125-130.

THE FIBER-OPTICAL MULTITOUCH PRESSURE TRANSDUCER

© 2011 G. I. Leonovich¹, S. A. Matjunin¹, N. A. Livochkina²

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

² SRPSRC “TsSKB-Progress”

Improving on-board control systems aimed at expanding the functional capabilities while reducing the weight and size parameters, increasing reliability and reducing power consumption. The use of pressure sensors based on planar waveguide coated with conduction allows you to create a compact multi-point sensor network to collect and post-processing on the monitored parameters using a limited number fiber-optical data links.

Optical waveguide, pressure transducer, conduction coverage, data acquisition and processing.

Информация об авторах

Леонович Георгий Иванович, профессор кафедры радиотехнических устройств, доктор технических наук, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: leogil@mail.ru. Область научных интересов: оптоэлектроника, информационно-измерительные системы.

Матюнин Сергей Александрович, заведующий кафедрой электронных систем и устройств, доктор технических наук, профессор, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: системы управления, информационно-измерительные устройства и системы.

Ливочкина Наталья Александровна, инженер ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ «Прогресс». Область научных интересов: теплотехнические измерения.

Leonovich Georgiy Ivanovich, professor of radio devices department, Dr. sci. tech., Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolev (National Research University). E-mail: leogil@mail.ru. Area of scientific interests: optoelectronics, information-measuring device and systems.

Matjunin Sergey Aleksandrovich, the professor managing of electronic systems and devices department, Dr. sci. tech., Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolev (National Research University). Area of scientific interests: control systems, information-measuring device and systems.

Livochkina Natalia Aleksandrovna, engineer “CCA-Progress”. Area of scientific interests: firing measurement.