

Измеряем $C(t)$. Далее при $V=0$ охлаждаем до T_1 , а затем прикладываем обратное напряжение V . Начнем увеличивать температуру. Емкость возрастает с ростом T до значения C_C .

Пусть $V \gg V_k$ и температура при нагреве меняется линейно, $T = T_0 + \beta t$. Найдем время $t_{0,5}$ по экспериментальным значениям $C(t)$, C_H и C_C . Тогда

$$\frac{\Delta \varepsilon}{kT_{0,5}} = \ln \left(\frac{\gamma_n N_C T_{0,5}}{\beta \ln 2} \right) - \ln \left(\frac{\Delta \varepsilon}{kT_{0,5}} \right).$$

5. Фотоемкость.

Измерение параметров ГЦ с помощью фотоемкости основано на перезарядке ГУ в СОЗ светом с энергией фотона меньшей, чем ширина запрещенной зоны полупроводника.

Список использованных источников

1. Берман Л.С. Емкостные методы исследования полупроводников. -Л.: Наука 1972. - 104с.
2. Берман Л.С., Лебедев А.А. Емкостная спектроскопия глубоких центров полупроводниках. - Л.: Наука, 1981. - 176с.
3. D.V. Lang Deep-level transient spectroscopy: A new method to characterize traps in semiconductors. Journal of Applied Physics, Vol. 45, No. 7, 1974, p.3023-3032.
4. Зубков В.И., Соломонов А.В., Тодоров М.Т. Об определении параметров глубоких центров в полупроводниках по спектрам НЕСГУ // Физика и техника полупроводников, том 21, вып. 9, 1987.- С.1734-1736.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ С РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ ИМПУЛЬСОВ

Г.И. Леонович

Самарский государственный аэрокосмический университет,
г. Самара

Современные волоконно-оптические датчики (ВОД) представляют большой интерес для создания информационно-измерительных систем связи с высокой устойчивостью оптоволоконных элементов электромагнитным помехам, разрушающим факторам окружающей среды (химическим, радиационным, температурным), а также в связи

возможностью передачи результатов измерений на значительные расстояния посредством сверхскоростных волоконно-оптических линий связи. Такие датчики могут работать в условиях высокой взрыво- и пожароопасности, имеют высокие метрологические характеристики, обладают высокой надежностью, долговечностью, стабильностью, малой массой и энергопотреблением, совместимостью с микроэлектронными устройствами обработки информации при малой трудоемкости изготовления и небольшой стоимости [1-4].

На их основе в США, Японии и Китае созданы мультисенсорные волоконно-оптические контрольно-измерительные сети на принципах мультиплексирования сигналов волоконных чувствительных элементов. Однако, многообразие выходных сигналов датчиков различных физических величин существенно ограничивает область практического применения и не позволяет создавать универсальные сети. В качестве примера можно привести экспериментальные измерительные комплексы FISO Technologies (Канада), Blue Road Research (США), Oregon Department of Transportation (США), SOFO (Japan), «Дозор» и «Электроника-2000А» (РФ) [4]. Перечисленные разработки имеют узкую специализацию и ограниченные возможности по наращиванию и масштабированию. Сертифицированных для космической и авиационной промышленности волоконно-оптических отечественных преобразователей и мультисенсорных систем в производстве нет.

По принципу кодирования измеряемой информации ВОД условно разделяют на следующие большие группы [1-3]:

- фазовые -- датчики, в которых используется высококогерентный источник излучения и производится измерение фазы световой волны, изменяющейся под влиянием внешнего параметра;
- со спектральным кодированием – датчики, где, в отличие от чисто фазовых, используется источник излучения с широким спектром с возможностью анализа всего спектра;
- амплитудные – датчики, в которых измеряемый параметр модулирует интенсивность проходящей или отраженной световой волны;
- туннельные – датчики, где используется эффект туннелирования излучения через малый зазор;
- поляризационные – датчики, использующие информацию о поляризации световой волны. По принципу действия различают ВОД [1, 2];
- интерференционные (Майкельсона, Фабри-Перо, Маха-Цандера и т.д.);
- распределенные (обратное и прямое рассеяние);
- люминесцентные;
- на внутриволоконных решетках;

- комбинированные.

По локализации измеряемого параметра выделяют точечные, квазираспределенные и распределенные ВОД.

Существующая классификация ВОД предполагает непосредственное использование типовых и специальных оптических волокон в качестве транзитной среды и сенсоров, а также в качестве конструктивных элементов комбинированных (составных) датчиков.

К типовым ОВ можно отнести одно- и многомодовые световоды для передачи данных по ВОЛС (ITU T Recommendation G.652 - G.656). В ВОД используют, например, для ввода в разрыв либо для нанесения на торец или плоский срез волокна сенсорного материала с определенными оптическими свойствами с целью измерения температуры, давления, газоанализа и т.д. В ряде вариантов используется чувствительность типового волокна к электрическому полю (эффект Керра), магнитному полю (эффект Фарадея), вибрации, температуре, давлению, деформациям (например, к изгибу) [1-3].

Более 20 типов специальных ОВ создаются для конкретного применения в системах связи (ввод оптического сигнала, модуляция, фильтрация, усиление, мультиплексирование и т.д.), а также в ВОД, реализующих с большей, чем у типовых ОВ, эффективностью функции преобразования и кодирования физических величин. К ним, например, можно отнести фотонно-кристаллические волокна (PCF) микроструктурированной оболочкой и полый сердцевинной квазираспределенного газоанализа в линии [3].

В последнее время появился ряд публикаций, который позволяет дополнить принятую классификацию. В частности, существенную нишу начинают занимать системы ВОД, основанные на рециркуляции импульсов измерительном канале (рис. 1) [4, 5]. Часть контура рециркуляции (с ВОС) оптическая, часть – электрическая. Формирователь импульса ФИ по команде от контроллера K генерирует начальный импульс и запускает процесс циркуляции. В качестве источника излучения (ИИ) выбирается инжекционный лазер, смещенный в предпороговую область для уменьшения задержки между импульсом тока накачки и излучением. Оптический импульс (ОИ) вводится в ОВ посредством соединительных муфт, а затем после некоторой задержки, определяемой оптической длиной ОВ, поступает на фотоприемник ФП. Сенсорная часть ОВ (чувствительный элемент (ЧЭ)) вводит дополнительную задержку ОИ, зависящую от параметров волоконно-оптического сенсора (ВОС) и физической величины (ФВ).

В качестве ФП используются лавинные фотодиоды или PIN-фотодиоды. На выходе ФП формируется электрический импульс (ЭИ), поступающий на пороговое устройство (ПУ), выделяющее измерительный

сигнал из шумового фона. Блок регенерации БРГ по сигналу порогового устройства формирует стандартный по амплитуде, длительности и форме импульс, поступающий на ФИ. Таким образом, цикл рециркуляции замыкается. На каждом цикле проводится восстановление формы, амплитуды и длительности информационного импульса, что позволяет поддерживать процесс рециркуляции со средним периодом T ограниченно долго. Сигналы с выхода ПУ параллельно направляются на датчик импульсов, выполняющий, по сути, функцию цифрового частотомера (ЦЧМ) $f=1/T$. Значения частоты рециркуляции вводятся в микропроцессор контроллера, где их отклонения Δf от начального и заданного значения по соответствующему алгоритму преобразуются в значение измеряемой величины с отображением динамики процесса.

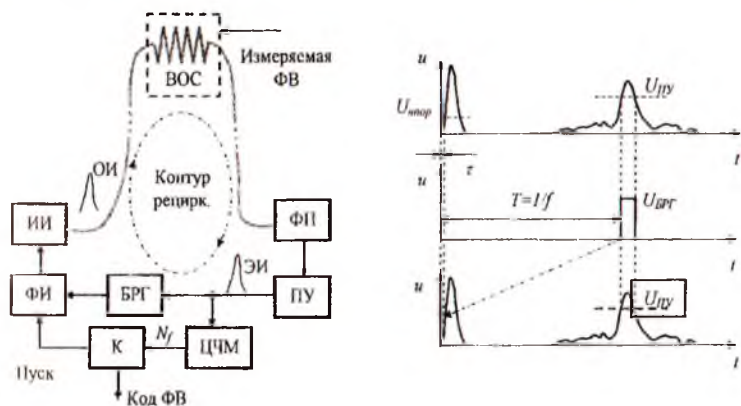


Рис. 1. Волоконно-оптическая измерительная система рециркуляционного типа

Электрическая часть контура рециркуляции дает некоторую постоянную задержку τ . Основной причиной изменения оптического пути, периода и частоты рециркуляции сигнала, является изменение коэффициента преломления и удлинение сенсорного участка ОВ вследствие воздействия измеряемого параметра.

Базовая схема рециркуляции может использоваться для измерения практически всех физических величин, воздействие которых основано на изменении геометрических параметров ОВ. На рис. 2 показана условная классификация ВОД рециркуляционного типа (РВОД). Метод измерения предполагает вводить опорный канал, реализовывать дифференциальные измерительные схемы, формировать сложные оптические контуры с оптическим мультиплексированием для измерений разных величин, использовать отрезки специальных ОВ в качестве сенсоров и др.

РВОД отличаются высокой стабильностью измерений, разрешающей способностью, зависящей от ширины импульса и длины ОВ, динамическим диапазоном, определяемым коэффициентом деформации ВОС. Последний фактор актуализирует поиск возможностей введения промежуточных преобразователей измеряемой величины в деформацию или в другой вариант изменения оптического пути. Основная задача таких преобразователей – получение заданных значений чувствительности динамического диапазона ВОС при измерении конкретных ФВ. Выбор ОВ промежуточного преобразователя сопровождается требованиями предупреждению или учету допустимых предельных механических, химических, тепловых и других нагрузок, чтобы исключить разрушение ВОС.

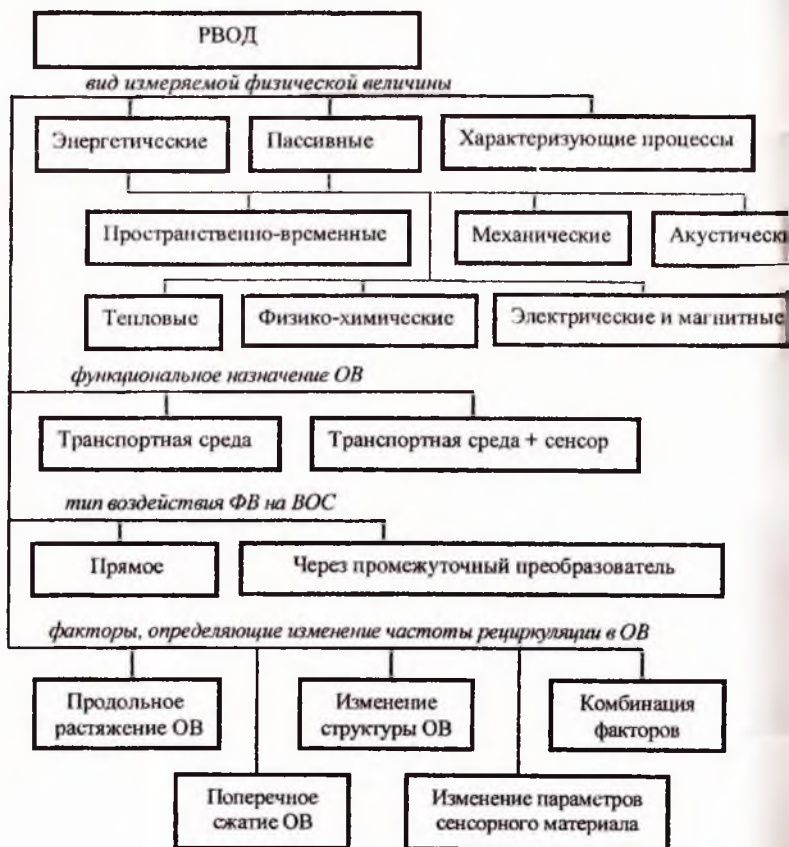


Рис. 2. Классификация РВОД

На рис.3 показан вариант ВОС для измерения давления и температуры прямым преобразованием [5].

ВОС рециркуляционного датчика давления с прямым воздействием на И представляет собой пластиковую катушку, на которую плотно намотано оптоволокно. Радиус катушки R_k выбирается с учетом минимального радиуса изгиба для данного типа оптоволокна и вносимого изгибами затухания (для моноמודовых волокон $R_{min} \approx 31$ мм). Допустим, $R_k = 35$ мм длина катушки $h = 10$ мм. Учитывая диаметр оптоволокна $d = 45$ мкм, число витков в одном слое $k = h/d \approx 40$. Длина витка $L_g = 2 \cdot \pi \cdot R = 220$ мм, одного слоя - $L_c = 8,8$ м. Если выбрать длину оптической части контура (без транспортной части) $L = 150$ м, то общее число слоев с учетом увеличения радиуса намотки составляет $n = 37$. Величина средней задержки сигнала в ОВ $\Delta t = L_0/v = 1,8$ мкс, что соответствует частоте рециркуляции $f_{cp} = 556,5$ кГц без учета длины оставшейся части контура. Частота относится к диапазону средних волн, т.е. требуются специальные высокочастотные или сложные оптические элементы.

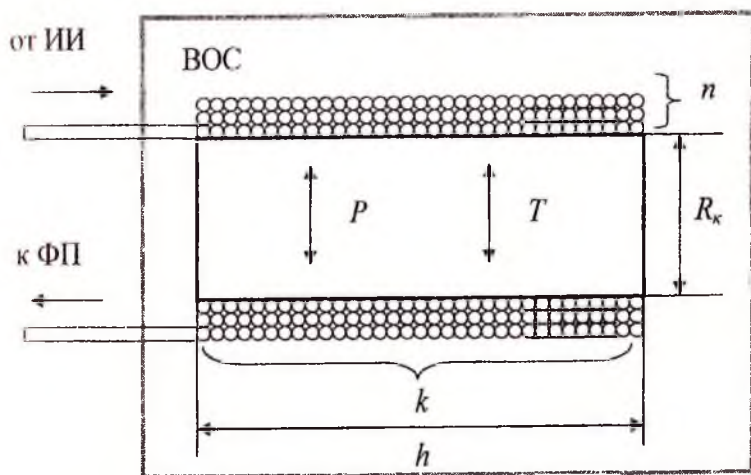


Рис. 3. Вариант исполнения ВОС для измерения давления и температуры

С учетом перечисленных факторов связь между регистрируемым минимальным изменением давления и соответствующим ему изменением частоты рециркуляции определяется выражением [5]

$$\Delta \nu_{\min} = \frac{\chi_{\max}}{\left(1 - \frac{n^2(p)}{2} \cdot (p_{12} - \nu(p_{11} + p_{12}))\right)} \cdot \alpha(p) + \frac{1}{n(p)} \cdot \frac{dn}{dp} \left(\frac{L - L_0^p}{L^p(p)} \cdot \frac{n_0}{n(p)} + 1 \right)$$

где L^p - длина части волоконного световода, подвергающейся воздействию давления; p - давление; $n(p)$ - показатель преломления сердцевины C ; χ_{\max} - максимальная величина отклонения частоты рециркуляци зафиксированная в процессе наблюдений при постоянном давлении; $\alpha(p)$ коэффициент линейного расширения под воздействием абсолютного давления; $p_{11} = 0,121$ и $p_{12} = 0,27$ - коэффициенты Поккельса; n_0 и L_0^p значения величин при начальном давлении p_0 .

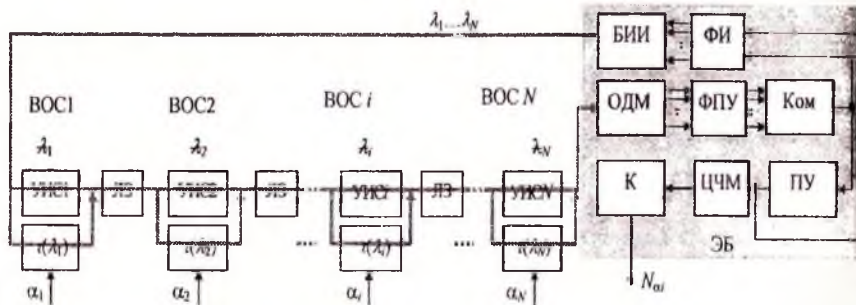


Рис. 4. Мультисенсорная рециркуляционная ИИС на основе ВОС

Учитывая, что температура производит на оптоволоконно схожее воздействие, конструкция РВОД для ее измерения будет аналогичной. Если ОВ в катушке, находящейся в электромагнитном поле, покрыта токопроводящим материалом, то при подаче на оболочку ЭДС возникают деформирующие ОВ силы, которые также ведут к изменению частоты рециркуляции импульсов.

Для формирования мультисенсорных систем наиболее эффективно представляется спектрально-временное разделение ВОС в общем контуре рециркуляции (рис. 4) [6].

Каждый измерительный контур функционирует на индивидуальной длине волны, для чего сформирован блок источников излучения БИИ. Для надежного разделения импульсов во времени между ВОС введен оптические линии задержки ЛЗ. Задержанные на разное время импульсы через оптический демультиплексор ОДМ направляются на ФПУ, электрические импульсы с выхода которого через коммутатор Ком пороговое устройство ПУ поступают на цифровой частотомер ЦЧМ, формирователь импульсов ФИ для соответствующих ИИ. Такая ИИС, в отличие от известных, может комплексовать РВОД, измеряющие разнообразные физические величины.

Список использованных источников

1. <http://www.kipinfo.ru>

2. <http://www.metronik.ru>

3. Портнов Э.Л. Оптические кабели связи и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи. - Москва: Горячая линия – телеком, 2007.

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

5. Поляков А.В. Частотная волоконно-оптическая измерительная система // Измерительная техника, 2008.

6. Леонович Г.Ш.И., Матюнин С.А., Токмак П. Л., Луганский Э.С. Спектральное и спектрально-модовое кодирование сигналов в оптоэлектронных преобразователях перемещения с волоконно-оптическими каналами передачи информации // Известия Самарского научного центра РАН, 2007, №3, т.9.

МАГНИТОАНИЗОТРОПНОЕ ПОРОГОВОЕ УСТРОЙСТВО

А. Е. Дубинин, Р. Е. Капитуров

Самарский государственный университет путей и сообщений,
г. Самара

В системах контроля тяговых электродвигателей (ТЭД) широко используются магнитоанизотропные пороговые устройства (МАПУ) на базе напряженных магнитоанизотропных структур (НМАС) для коммутации электрических цепей [1, 2].

На рис. 1 представлена конструкция МАПУ на стандартных кольцевых элементах из мягкого феррита.

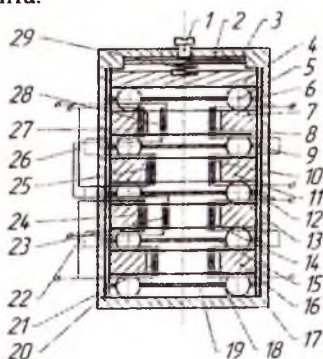


Рис. 1. Магнитоанизотропное пороговое устройство