

ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЙ БЕСКОНТАКТНЫЙ ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ ДАТЧИК ПОЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ВИБРАЦИЙ

© 2006 Н.И. Лиманова

Самарский государственный аэрокосмический университет

На показатели надежности и долговечности ГТД большое влияние оказывают значения уровней вибраций роторов, агрегатов, лопаток, дисков, возникающих при работе двигателя. При контроле параметров вибраций с помощью серийно выпускаемых датчиков открытым остается вопрос бесконтактной установки и поддержания чувствительных элементов преобразователей на фиксированном расстоянии относительно контролируемых вращающихся элементов конструкций двигателей в течение всего времени измерений в условиях дестабилизирующих факторов, таких как электрические и магнитные помехи, загрязненность окружающей среды, износ, изменения питающих напряжений, воздействие высоких температур и т.д. Кроме того, влияющие факторы могут изменяться во времени случайным образом. Решить указанную задачу позволяет двухканальный оптоэлектронный датчик положения с модулированным излучением, который дает возможность поддерживать точность позиционирования 0,1 мкм в условиях воздействия на него вышеперечисленных мешающих факторов.

На показатели надежности и долговечности ГТД большое влияние оказывают значения уровней вибраций корпуса, роторов, агрегатов, лопаток, дисков, возникающих при работе двигателя. Однако при контроле параметров вибраций с помощью серийно выпускаемых датчиков открытым остается вопрос бесконтактной установки и поддержания чувствительных элементов (ЧЭ) преобразователей на фиксированном расстоянии относительно контролируемых неподвижных или вращающихся элементов конструкций двигателей в течение всего времени измерений. Особенно актуальным является решение проблемы точной бесконтактной установки (с погрешностью (0,05 – 0,1%) ЧЭ датчиков при контроле вибраций вращающихся деталей: роторов, лопаток и дисков. Задача усложняется еще и тем, что измерения приходится проводить в условиях дестабилизирующих факторов, таких как электрические и магнитные помехи, запыленность и загрязненность окружающей среды, износ, изменения питающих напряжений, воздействие высоких температур и т.д. Кроме того, влияющие факторы могут изменяться во времени случайным образом. Решить указанную задачу позволяет двухканальный оптоэлектронный датчик положения (ОДП) с модулированным излучением, который дает возможность поддерживать точность позиционирования 0,1 мкм в условиях воздействия на него вышеперечисленных мешающих факторов.

Структурная схема ОДП приведена на рис. 1. На рисунке обозначено: 1 — лазер, 2 — жгут излучающих световодов, 3, 4 — приемные жгуты световодов, 5, 6 — фотодиоды, 7 — преобразователь тока фотодиода в напряжение, 8 — усилитель переменного тока, 9 — фильтр верхних частот, 10 — синхронный детектор, 11 — генератор импульсов, 12 — фильтр нижних частот, 13 — регистратор. Излучающий световод 2, первый и второй приемные жгуты световодов 3 и 4, соответственно, располагают вблизи от поверхности контролируемого объекта.

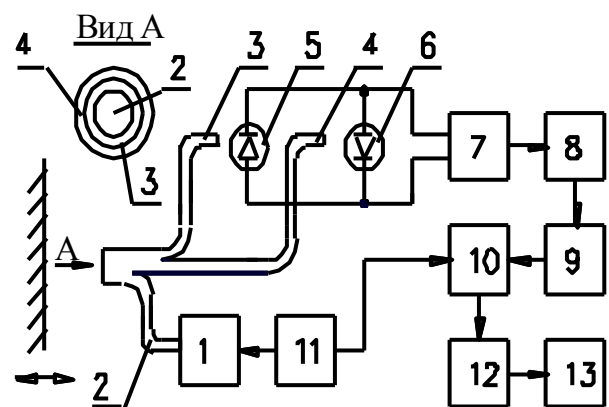


Рис. 1. Помехоустойчивый бесконтактный
двухканальный ОДП

С помощью излучающего жгута 2 световодов и источника излучения 1 освещают поверхность контролируемого объекта. Отраженный свет попадает в жгуты 3 и 4, что приводит к появлению разностного сигнала S_1 на выходе преобразователя 7 тока фото-

диода в напряжение:

$$S_1 = U_1 - U_2,$$

где $U_1=f_1(z)$ и $U_2=f_2(z)$ — сигналы с фотоприемников первого и второго измерительных каналов. Как следует из рис. 2, на котором изображена зависимость $S_1(z)$, при $z < z_0$ величина $S_1 < 0$, а при $z > z_0$ $S_1 > 0$, где z_0 — абсцисса точки пересечения зависимостей $U_1=f_1(z)$ и $U_2=f_2(z)$. Позиционирование датчика производят при установочном зазоре $z = z_0$, для чего при $S_1 < 0$ зазор увеличивают, а при $S_1 > 0$ зазор уменьшают до получения равенства $S_{1cp} = 0$, где S_{1cp} — постоянная составляющая сигнала S_1 . Знак сигнала S_1 позволяет судить о направлении изменения z . Принципиально важным является то, что при изменении мощности источника света или при изменении коэффициента отражения света от поверхности происходит одинаковое "растяжение" или "сжатие" зависимостей $U_1=f_1(z)$ и $U_2=f_2(z)$, но при этом абсцисса z_0 их точки пересечения не изменяется.

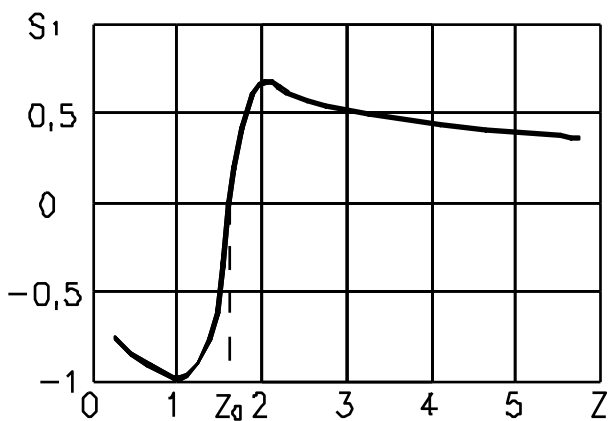


Рис. 2. Зависимость разностного сигнала S_1 от измеряемого расстояния z

В рассматриваемом ОДП формирование разностного сигнала производится путем вычитания токов фотодиодов; поверхность контролируемого объекта освещается модулированным светом с помощью полупроводникового лазера. В данном устройстве использовался полупроводниковый лазер ИЛПН - 301 - 1.

Погрешность установки чувствительного элемента преобразователя обусловлена изменениями напряжений смещения, а также коэффициентов передачи фотоприемников и влиянием внешней засветки. Для устранения

погрешности установки в разработанном датчике положения:

1. формирование сигнала S_1 производится путем вычитания самих токов фотодиодов;
2. поверхность контролируемого объекта освещается модулированным светом с помощью полупроводникового лазера;
3. длительность импульса лазера выбирается кратной $1/50\text{Гц}=20\text{мс}$.

В рассматриваемом устройстве вычитание токов фотодиодов происходит до их преобразования в напряжение, поэтому точность формирования разностного сигнала не зависит от изменений коэффициента передачи преобразователя тока фотодиода в напряжение. В двухканальном ОДП поверхность контролируемого объекта освещается модулированным светом с помощью полупроводникового лазера, что позволяет отказаться от измерения постоянной составляющей сигналов фотодиодов 5 и 6. Таким образом, влияние изменения напряжения смещения преобразователя 7 тока фотодиода в напряжение, изменений напряжений смещения усилителей сигналов на результат измерений ОДП устранено.

Функционирование электрической схемы датчика поясняют эпюры, изображенные на рис. 3. На эпюре 7 изображен усиленный разностный сигнал фотоприемников, где наличие наводок отражено в виде синусоиды на фоне меандра. Чем больше отклонение датчика от рабочей точки, тем больше амплитуда меандра на выходе усилителя. На выходе схемы триггера Шмитта, которая входит в состав генератора импульсов, формируется прямоугольный сигнал (эпюра 6) с частотой, кратной сети ($\cong 50\text{Гц}$), а на выходах счетчика-дешифратора, счетный вход которого подсоединен к выходу триггера Шмитта — импульсы длительностью $1/50\text{Гц} = 20\text{мс}$ (эпюра 1). В течение действия 2, 3, 4 импульсов (номера импульсов приведены на эпюре 6) на выходе трехходового логического элемента ИЛИ, входами подключенного к 1, 2, 3 выходам счетчика - дешифратора формируется импульс отрицательной полярности (эпюра 2), а в течение действия 1 и

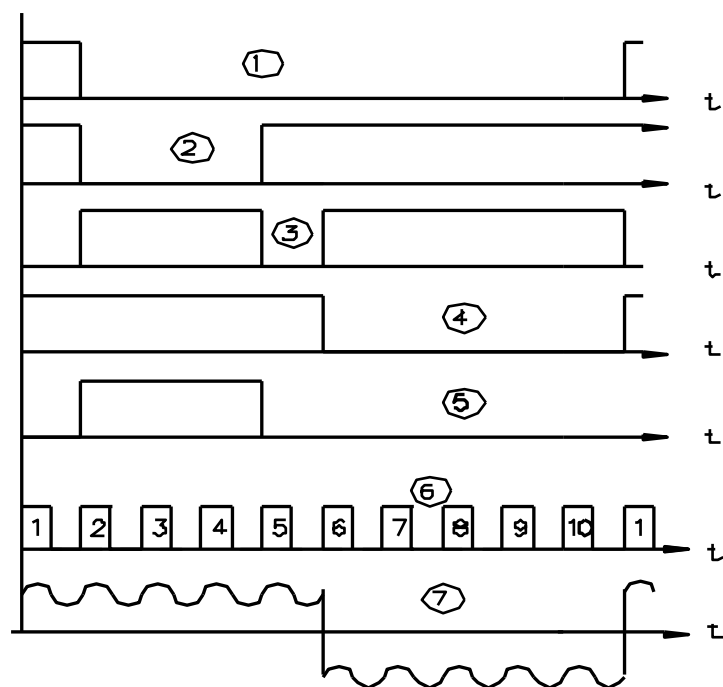


Рис. 3. Эюры, поясняющие функционирование помехоустойчивого бесконтактного двухканального ОДП

5 импульсов импульс отрицательной полярности формируется на выходе другого логического элемента ИЛИ, входами подсоединенного к 0 и 4 выходам счетчика-дешифратора (эюра 3). Импульсы с выходов описанных логических элементов объединяются элементом И, на выходе которого появляется импульс (эюра 4) с длительностью, равной 5 импульсам триггера Шмитта, который включает источник света – полупроводниковый лазер ИЛПН - 301 – 1. В течение первых пяти импульсов на выходе счетчика лазер включен — эюра 4. С целью исключения краевых эффектов для измерения отклонения от рабочей точки используется не все время включения полупроводникового лазера, а только время, соответствующее 2, 3 и 4 импульсам на выходе счетчика — эюра 2 (соответствует сигналу на выходе первого логического элемента ИЛИ). С целью получения разнополярного сигнала при отклонении торца волоконно-оптического преобразователя в разные стороны от рабочей точки, применяется синхронное детектирование, выполненное на электронном ключе и фильтре нижних частот. За счет того, что время включения ключа кратно 20 мс (см. эюру 5), несмотря на наличие наводок, их влияние исключено. Чувствительность датчика определяется ко-

эффициентом преобразования преобразователя тока фотодиода в напряжение и коэффициентами усиления усилителей переменного тока. Номиналы резисторов в цепях данных элементов выбраны такими, что на выходе устройства в целом обеспечивается чрезвычайно высокая чувствительность – 36 мВ/мкм. Учитывая, что на точность позиционирования в данном случае влияет только изменение смещений оконечного усилителя переменного тока и операционного усилителя, входящего в состав фильтра нижних частот, которое для операционного усилителя 140УД17 не превышает 2 мкВ/К, в диапазоне рабочих температур 0 – 50°C долговременная погрешность позиционирования (в течение нескольких часов) заведомо не превышает 0,1 мкм. Напряжение смещения других операционных усилителей не влияет на точность позиционирования, так как они усиливают только переменную составляющую сигнала фотоприемников. Трехзвенный фильтр нижних частот, имеющий частоту среза 0,3 Гц, практически полностью подавляет шумы операционных усилителей. Для исключения воздействия температуры на фотоприемники они помещены в единый алюминиевый блок, что обеспечивает их одинаковую температуру, и, кроме этого, температура этого блока поддерживается

равной 65°C за счет нагревания его мощным транзистором.

ОДП функционирует следующим образом. При желании зафиксировать положение датчика вибрации относительно контролируемого объекта оператор включает автоматическую систему управления положением жгута световодов ОДП, которая изменяет его расположение относительно объекта до тех пор, пока на выходе датчика не появится нулевой сигнал, после чего положение торца жгута световодов фиксируется. Отклонение сигнала с выхода преобразователя от нуля в сторону отрицательных значений указывает на необходимость увеличения рабочего зазора, а отклонение в сторону положительных значений требует уменьшения расстояния между чувствительным элементом преобразователя и контролируемым объектом до появления нулевого сигнала на выходе ОДП. В отличие от интерферометрических датчиков ОДП имеет только одно положение, при котором на его выходе имеется нулевой сигнал.

ОДП конструктивно совмещен с датчиками вибрации и используется в подсистемах контроля уровня вибраций ГТД как вспомогательное средство для установки и точного позиционирования серийно выпускаемых датчиков вибрации относительно вращающихся поверхностей, а также в составе специально разработанных оптоэлектронных датчиков вибрации [1,2,3]. И в том, и в другом случае достигалась высокая точность установки ОДП относительно контролируемых поверхностей (долговременная погрешность позиционирования не превышала 0,1%) в условиях электрических и маг-

нитных помех, запыленности и загрязненности окружающей среды и объекта контроля, износа, изменений питающих напряжений, воздействия высоких температур и изменения указанных влияющих факторов во времени случайным образом. Использование модулированного излучения для питания датчика позволяет также устранить влияние вариаций напряжения смещения преобразователя тока в напряжение, изменение напряжений смещения усилителей сигналов на результат измерений ОДП.

Список литературы

1. Лиманова Н.И. Многоканальный волоконно-оптический датчик, инвариантный к воздействию дестабилизирующих факторов, для измерения вибраций элементов конструкций ГТД // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. Акад. С.П.Королева. Серия: Проблемы и перспективы развития двигателестроения. Сб. науч. тр. - Самара: СГАУ, 2000. Вып. 4, часть 1. - с. 142 - 146.

2. Лиманова Н.И. Оригинальный волоконно-оптический датчик для контроля вибраций конструкций ГТД // Доклады Междунар. научно-техн. конф., посвященной памяти Генерального конструктора аэрокосмической техники академика Н.Д.Кузнецова, 21-22 июня 2001 г. - Самара: СНЦ РАН, 2001. Ч.2. - с. 63 - 69.

3. Лиманова Н.И. Оптоэлектронные датчики с совмещенными каналами измерения, инвариантные к дестабилизирующим факторам // Авиакосмическое приборостроение. - М., 2005, N 6. - с. 12 - 16.

INDEPENDENT FROM DESTABILIZING FACTORS INFLUENCE CONTACTLESS OPTIC SENSOR FOR POSITION AND VIBRATION MEASUREMENTS IN AUTOMATIC SYSTEMS

©2006 N.I. Limanova

Samara State Aerospace University

During contactless vibration measurements of disks, blades and other rotation construction elements of engine it is necessary to inspect of the operation gap between research object surface and the sensor with high precision (0.05 % – 0.1 %) in the conditions of such destabilizing factors influence, as strong electromagnetic and electrostatic fields, environment pollution, wear of construction elements of engine, high temperatures, feeding sources voltages variations, research surface reflecting coefficient changes and so on. Moreover the influence factors are changing accidentally. In order to solve this problem the two-channel optic sensor with modulated emission for precision positioning was elaborated. In this sensor the positioning accuracy is achieved by subtraction of the photodiodes currents, research object surface is illuminated by modulated emission with the help of semiconductor laser, and laser pulses duration is chosen divisible to 1/50 Hz. The long-time positioning error (during a few hours) at the output of the device doesn't exceed 0,1 micrometer in the conditions of enumerated destabilizing factors influence.