

Рис.3. Зависимости ЭДС линейного перемещения цепи измерения ΔE_l от линейного перемещения x (1) и угла поворота цепи измерения ΔE_y от угла перемещения β (2)

Магнитопроводы датчика изготовлены из сплошной конструкционной стали Ст. 45, изготовление магнитопроводов из сплошной конструкци-

онной стали позволяет создать датчик с улучшенными технико-экономическими показателями.

Разработанный датчик применялся в информационно-измерительных системах АСУ для электрического копирования на фрезерном станке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бринзли К. Измерительные преобразователи. Справочное пособие. // Пер. с англ. под. ред. Е. И. Сычева. — М.: Энергоиздат, 1991.
2. А. с. 842388 СССР. Преобразователь угловых перемещений / Т. М. Алиев, Ф. И. Мамедов, М. А. Набиев и др. // Бюл. — 1981. — № 24.
3. Мамедов Ф. И., Рагимов И. Н. Двухмерный датчик для систем управления станками // Баку: Проблемы энергетики. — 2004. — № 2. — С. 64—67.
4. Мамедов Ф. И., Дадашева Р. Б., Аскерова А. О. Принципы создания двухмерных электромагнитных датчиков с частотными выходами // Измерительная техника. — 2007. — № 1.

Рагимли Ильхам Назим оглы — зав. лабораторией кафедры “Электротермические установки и техника высоких напряжений” Азербайджанской Государственной Нефтяной Академии.

☎ + 99412-493-51-53

E-mail: ilhamra@mail.ru

□

УДК 681.586.5

К содержанию

МНОГОКАНАЛЬНАЯ ОПТОВОЛОКОННАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ

С. И. Любинский, В. А. Яцеев, Е. П. Силаева, А. М. Зотов, П. И. Трофимов

Описана оптоволоконная многоканальная система измерения деформации с малым уровнем нелинейных искажений за счет использования в конструкции системы полупрозрачного зеркала.

Ключевые слова: оптоволоконная многоканальная система, интерферометр Фабри-Перо, нелинейные искажения, полупрозрачное зеркало, датчик деформации.

Приводится описание оптоволоконной многоканальной системы измерения деформации, основанной на принципе спектрального кодирования информации, с чувствительным элементом — миниатюрным интерферометром Фабри-Перо, работающим в режиме отражения.

В сравнении с известными аналогами [1—5] достоинствами системы являются:

— малый уровень нелинейных искажений, что достигается благодаря применению в системе

полупрозрачного зеркала вместо фокусирующей линзы;

— реализованная за счет пространственного разделения сигналов многоканальность, что позволяет производить обработку сигналов со всех датчиков одновременно в режиме реального времени;

— простота юстировки.

Структурная схема системы представлена на рис. 1. Система содержит одинаковые оптоэлектронные каналы измерения $1...N$ и единый для них

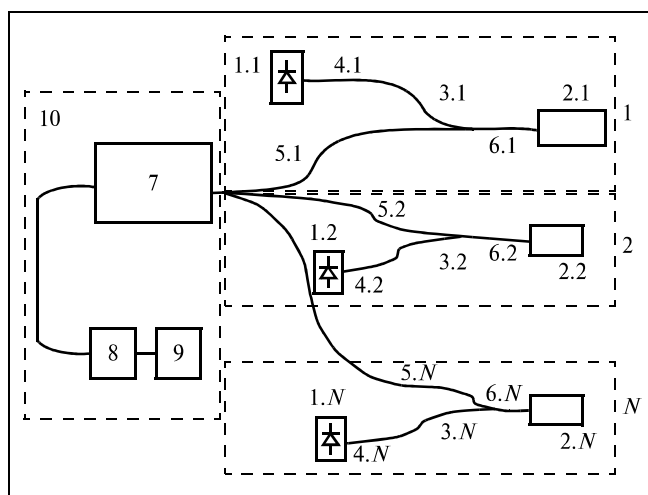


Рис. 1. Структурная схема системы

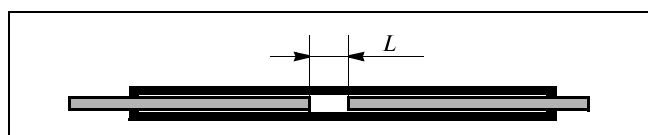


Рис. 2. Оптоволоконный сенсор

блок обработки сигналов 10. В качестве источника излучения 1.1...1.N в каждом канале используется светоизлучающий диод с торцевым выходом излучения, работающий в области длин волн ~850 нм и имеющий ширину спектра около 30 нм. В состав каждого канала также входит оптоволоконный сенсор 2.1...2.N — интерферометр Фабри-Перо (рис. 2), являющийся чувствительным элементом, и Y-образный оптический разветвитель 3.1...3.N.

Световое излучение с выхода каждого широкополосного источника попадает на один из двух входов 4.1...4.N каждого Y-образного оптического разветвителя, с выхода которого 6.1...6.N попадает на интерферометр Фабри-Перо, отражаясь от которого проходит обратно через каждый Y-образный оптический разветвитель, выходит через второй вход 5.1...5.N и попадает в спектрометр 7.

При механическом воздействии на чувствительный элемент оптоволоконного сенсора, например 2.1, происходит изменение базы L интерферометра Фабри-Перо, и, следовательно, спектральных характеристик отраженного от интерферометра сигнала. Он передается через второй вход оптического разветвителя 3.1 в спектрометр 7, где осуществляется спектральное разложение модулированного сигнала. Аналоговый сигнал со спектрометра поступает в аналого-цифровой преобразователь (АЦП) 8, где преобразуется в

цифровой. Микропроцессорное устройство 9 осуществляет дальнейшую обработку сигнала.

В настоящее время системы с волоконно-оптическими датчиками (ВОД), в основном, являются одноканальными, т. е. позволяют получать информацию только с одного датчика. Существуют и многоканальные системы, но в которых многоканальность реализуется за счет временного переключения между датчиками. Это не позволяет получать информацию от всех датчиков одновременно, и, соответственно, ведет к потере части данных. Описываемый в статье блок обработки сигналов является многоканальным за счет пространственного разделения спектров сигналов от датчиков, он осуществляет обработку информации со всех датчиков одновременно в режиме реального времени.

Для осуществления одновременного ввода в спектрометр сигналов от всех датчиков была разработана специальная конструкция ввода сигналов (СКВС), позволяющая пространственно разделять сигналы от датчиков. Дальнейшее одновременное разложение сигналов от всех датчиков в спектры возможно благодаря геометрическим формам элементов, входящих в состав спектрометра — прямоугольной матрицы и квадратной дифракционной решетки.

Рис. 3 иллюстрирует использованную в системе схему разложения спектров излучения от датчиков на матрице с помощью диспергирующего элемента — дифракционной решетки 4. Излучение от каждого датчика через СКВС 1 попадает на полупрозрачное зеркало 2, расположенное под углом 45° к оси волокна, пройдя через которое поступает далее на сферическую собирающую линзу 3, расстояние от которой до СКВС равно фокусному расстоянию линзы. Поэтому волновой фронт после прохождения линзы — плоский. Плоская волна падает на дифракционную решетку 4, штрихи которой направлены вертикально.

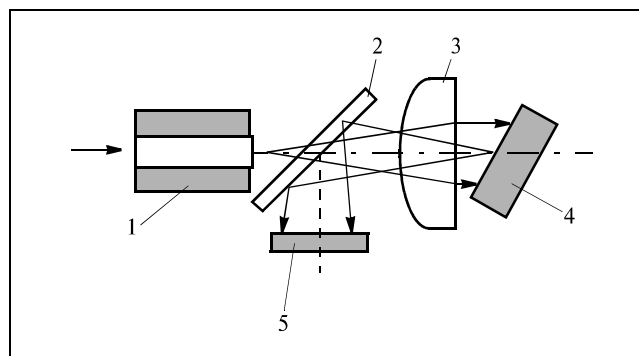


Рис. 3. Схема спектрометра, входящего в состав блока обработки сигналов

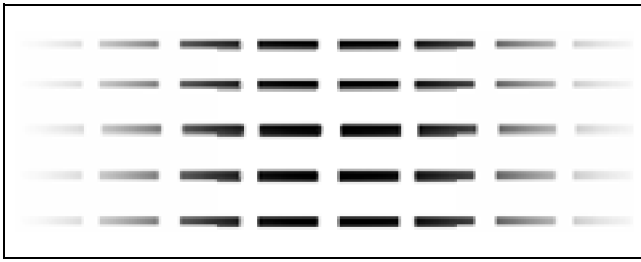


Рис. 4. Пространственное разделение спектров от датчиков на матрице

При освещении интерферометра Фабри-Перо широкополосным излучением с гладким спектром, спектр отраженного сигнала приобретает вид периодической последовательности максимумов и минимумов, положение которых однозначно определяется величиной базы L каждого датчика.

При воздействии на чувствительный элемент оптоволоконного сенсора происходит изменение базы L интерферометра, и, следовательно, спектральных характеристик отраженного от интерферометра сигнала. В результате дифракции на решетке лучи, соответствующие разным длинам волн, отражаются под разными углами. Отраженное излучение вновь проходит через линзу и, отражаясь от полупрозрачного зеркала, попадает на матрицу 5. Суммарное расстояние от линзы до матрицы, которое проходит луч, с учетом отражения от зеркала равно фокусному расстоянию линзы, так что излучение, отраженное от дифракционной решетки, фокусируется линзой на матрице — разные длины волн на разные участки матрицы.

На рис. 4 представлено схематичное изображение результата пространственного разделения спектров от разных датчиков на матрице, (каждому датчику соответствует своя горизонтальная линия), которое позволяет осуществлять многоканальность спектрометрического блока.

Угол поворота дифракционной решетки по отношению к плоскости линзы выбирается таким, чтобы отраженное излучение, как и падающее, распространялось вдоль оси линзы; это необходимо для того чтобы излучение попадало на ПЗС (прибор с зарядовой связью) матрицу.

По формуле для дифракции на решетке:

$$d(\sin\alpha + \sin\beta) = m\lambda, \quad (1)$$

где α — угол падения, β — угол отражения от решетки, d — период решетки, m — порядок дифракции, λ — длина волны излучения.

Пусть λ_0 — длина волны, соответствующая центральной частоте диапазона излучения светодиода. В соответствии с конструкцией спектромет-

ра, углы α и β равны для λ_0 , так что формула (1) принимает вид $2d\sin\alpha = \lambda_0$.

Для $\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda$ из диапазона излучения: $\operatorname{tg}\beta = \operatorname{tg}\{\arcsin(\lambda\eta - \sin\alpha)\}$, где $\eta = 1/d$.

Первая производная:

$$\begin{aligned} d(\operatorname{tg}\beta)/d\lambda = & 1/\cos^2\{\arcsin\lambda_0\eta/2(1 + 2\Delta\lambda/\lambda_0)\}\eta \times \\ & \times [1 - (\lambda_0\eta/2)^2(1 + 2\Delta\lambda/\lambda_0)^2]^{-1/2}. \end{aligned}$$

Из данной формулы следует, что $d(\operatorname{tg}\beta)/d\lambda = \operatorname{const}$ при $\Delta\lambda = 0$ (т. е. пространственное разложение спектра линейно) и $d(\operatorname{tg}\beta)/d\lambda \approx \operatorname{const}$ при $\Delta\lambda \ll \lambda_0$.

Использование полупрозрачного зеркала в конструкции спектрометра позволяет сохранить указанное свойство линейности и, таким образом, снизить уровень нелинейности, присущий обычным спектрометрам с двумя фокусирующими линзами, и также значительно уменьшить размер спектрометра. Такая конструкция проста в сборке и требует юстировки только одного узла — дифракционной решетки.

Аналоговый сигнал с матрицы ПЗС-фотоприемника поступает в аналого-цифровой преобразователь (АЦП) 8, где преобразуется в цифровой, и далее обрабатывается методами компьютерной интерферометрии. Целью обработки спектра является определение размера базы L путем нахождения зависимости фазы отраженного от интерферометра излучения от размера базы сразу для всего спектра [2, 6, 7]. Последнее достигается обработкой сигналов в пространстве их Фурье-образов.

Для оценки точности метода и алгоритма обработки информации система измерения деформации проверялась на калибровочной установке с целью определения погрешности измерения. В ходе эксперимента было проведено сравнение показания эталонного микрометра и датчика деформации.

Оптоволоконный датчик был установлен на микрометрический столик, перемещение которого измерялось с помощью поверенного микрометра, имеющего точность показания ± 1 мкм. При перемещении с шагом 10 мкм снимались показания системы измерения деформации. Полный диапазон перемещения составлял чуть более 200 мкм. Был проведен один полный цикл измерения от 10 до 200 мкм и обратно, показавший, что погрешность измерения составляет менее 1 % от полной шкалы (рис. 5 и 6).

Описанная оптоволоконная многоканальная система измерения деформации прошла испытания на объектах ОАО «Газпром», ОАО «ЭКОС». Основные результаты разработки системы и ее испытаний докладывались на конференциях [8, 9].



Рис. 6. Приведенная погрешность показаний датчика



Рис. 6. Приведенная погрешность показаний датчика

Используемая в рамках разработки интеллектуальная собственность защищена Российскими патентами [10, 11].

Отметим также, что разработка многоканального блока обработки сигналов позволяет уменьшить стоимость разработки и изготовления аппаратуры для одного канала измерения. А это, в свою очередь, увеличивает конкурентоспособность оптоволоконных датчиков на рынке измерительных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров С. А., Еришов Ю. А., Лихачев И. Г., Мамаев А. Н. Волоконно-оптические датчики со спектральным кодированием на основе интерферометра Фабри-Перо // Письма в ЖТФ. — 1992. — Т. 18. Вып. 22. — С. 18—21.

2. Дедушенко К. Б., Егоров С. А., Еришов Ю. А., Лихачев И. Г. Интерферометрическая волоконно-оптическая измерительная система “Дозор” // Приборы. — 2002. — № 7(25). — С. 23—27.

3. Ветров А. А., Комиссаров С. С., Сергушичев А. Н. Волоконно-оптический торцевой интерферометр — универсальный элемент построения датчиков смещения // Оптический журнал. — 2008. — Т. 75, № 1. — С. 3—6.

4. Pat. № 5392117 US, G01D5/26D. Fabry-Perot optical sensing device for measuring a physical value / Belleville C., Duplain G.

5. Pat. № 7043102 US, G01D5/26D. Optical fiber interferosensor, signal-processing system for optical fiber interferosensor and recording medium / Okamoto Koji, Hirose Koji.

6. Васильев В. Н., Гуров И. П. Компьютерная обработка сигналов в приложении к интерферометрическим системам. — СПб.: БХВ — Санкт-Петербург, 1998.

7. Гужов В. И., Ильиных С. П. Компьютерная интерферометрия. — Новосибирск: НГТУ, 2004.

8. Любинский С. И., Яцеев В. А., Соколов А. Н., Наний О. Е. Многоканальный оптоволоконный датчик деформации на основе интерферометра Фабри-Перо // Тез. Второго семинара по волоконным лазерам. — Саратов, 2008.

9. Любинский С. И. “Многоканальный оптоволоконный датчик деформации на основе интерферометра Фабри-Перо” // Матер XV Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых “Ломоносов”. <http://www.lomonosovmsu.ru/archive/Lomonosov_2008/index.htm>

10. Пат. № 2334965 РФ, МПК G01L11/02. Волоконно-оптическая измерительная система (варианты) / В. А. Яцеев // Бюл. — 2008. — № 27.

11. Пат. № 81574 РФ, МПК G01D5/26. Волоконно-оптическая измерительная система (варианты) / В. А. Яцеев, А. Н. Соколов // Бюл. — 2009. — № 8.

Работа выполнена в инновационно-коммерческой фирме ООО “Оптические измерительные системы”.

☎ (495) 930-80-53

www.optiz.ru

E-mail: box@optiz.ru

Сергей Ильич Любинский — руководитель проекта;

E-mail: selubinsky@gmail.com

Василий Артурович Яцеев — технический директор;

E-mail: yatzeev@gmail.com

Алексей Михайлович Зотов — канд. физ.-мат наук, инженер-исследователь;

E-mail: azotov@gmail.com

Елена Петровна Силаева — инженер-исследователь;

E-mail: elena.silaeva@gmail.com

Петр Иванович Трофимов — директор по развитию.

E-mail: pitrofimov@gmail.com □