

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 528.022.2 : 621.383.4

Н. Л. ЦЕСЮЛЬ  
(Новосибирск)

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ УГЛОВ СКРУЧИВАНИЯ

Измерение углов скручивания при взаимном развороте разнесенных в пространстве объектов — одна из актуальных задач высокоточного геодезического контроля геометрии инженерных сооружений.

Перспективным является дифференциальное поляризационное устройство для измерения скручивания, работа которого основана на применении излучающего диода, модулированного по напряжению питания, и двухканального фотоприемника [1]. Однако такое устройство имеет низкую точность измерений из-за нестабильности коэффициентов преобразования фотоприемников.

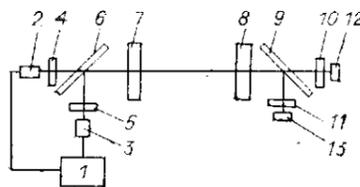
На рисунке приведена схема поляризационного преобразователя углов скручивания, который лишен указанного недостатка [2].

Преобразователь содержит источник питания 1, источники излучения 2 и 3, поляризаторы 4 и 5, светоделитель 6, объектив 7, конструктивно входящие в блок коллиматора, который жестко крепится с базовым объектом, и объектив 8, светоделитель 9, анализаторы 10 и 11, фотоприемники 12 и 13, входящие в блок фотоприемников, который жестко крепится с объектом измерения.

Источники излучения 2 и 3 представляют собой установленные в фокальной плоскости объектива 7 светодиоды, попеременно подключаемые к источнику питания 1. Оси пропускания анализаторов 10, 11 составляют угол  $45^\circ$  с осями поляризаторов 4, 5, ось пропускания поляризатора 4 — угол  $90^\circ$  с осью поляризатора 5, ось пропускания анализатора 10 — угол  $90^\circ$  с осью пропускания анализатора 11. Фотоприемники 12 и 13 расположены в фокальной плоскости объектива 8. Поляризаторы и анализаторы могут быть выполнены в виде поляризационных призм или пленочных поляризаторов. В качестве фотоприемников возможно использование фотодиодов. Светоделителями могут служить стеклянные плоскопараллельные пластинки с полупрозрачным покрытием.

Преобразователь работает следующим образом. Свет, излучаемый источниками 2 и 3, поляризуется, проходя через скрещенные поляризаторы 4 и 5. Светоделитель 6 производит совмещение в пространстве поляризованных пучков света от источников 2 и 3 и направляет их на объектив 7.

Параллельный после объектива 7 пучок лучей, содержащий составляющие попеременно включаемые пучки со взаимно перпендикулярными плоскостями поляри-



заци, от источников 2 и 3 направляется на блок фотоприемников, установленный на объекте, затем проходит объектив 8 и светоделителем 9 направляется на фотоприемники 12 и 13 через скрещенные анализаторы 10 и 11. В отсутствие угла скручивания световые потоки, попадающие на каждый фотоприемник, не содержат переменной составляющей, как и напряжения на выходах фотоприемников, следовательно, и разность напряжений на выходах фотоприемников не содержит переменной составляющей. Эта разность является выходным сигналом преобразователя

$$z = (U_{11} - U_{12}) - (U_{21} - U_{22}), \quad (1)$$

где  $U_{11}$ ,  $U_{12}$  — напряжения на выходе первого фотоприемника во время работы первого и второго источников излучения соответственно;  $U_{21}$ ,  $U_{22}$  — напряжения на выходе второго фотоприемника во время работы первого и второго источников излучения;  $z$  — выходной сигнал устройства.

Появление угла скручивания вызывает возникновение переменной составляющей в световых потоках, падающих на каждый фотоприемник и, следовательно, в разности напряжений. Амплитуда переменной составляющей  $z$  разности напряжений пропорциональна углу скручивания  $\varphi$ , фаза показывает направление скручивания.

Известно [1], что если  $\varphi_{\max} \leq 10^{-3}$  рад, то

$$\begin{aligned} U_{11} &= K_1 P_1 (1 + \varphi); \\ U_{12} &= K_1 P_2 (1 - \varphi); \\ U_{21} &= K_2 P_1 (1 - \varphi); \\ U_{22} &= K_2 P_2 (1 + \varphi), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $K_{1,2}$  — коэффициенты преобразования светового потока в напряжение первым и вторым фотоприемниками (В/Вт);  $P_{1,2}$  — световые мощности первого и второго источников излучения (Вт);  $\varphi$  — угол скручивания (рад).

Преобразуя (1) с учетом (2), получим

$$\begin{aligned} z &= (K_1 - K_2)(P_1 - P_2) + \varphi(K_1 + K_2)(P_1 + P_2) = \\ &= \left( \varphi + \frac{K_1 - K_2}{K_1 + K_2} \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} \right) (K_1 + K_2)(P_1 + P_2). \end{aligned} \quad (3)$$

Уравнение (3) представляет собой уравнение прямой линии в декартовых координатах  $z$  и  $\varphi$ , при этом слагаемое  $\frac{K_1 - K_2}{K_1 + K_2} \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2}$  определяет координату точки пересечения данной прямой с осью  $\varphi$ , а множитель  $(K_1 + K_2)(P_1 + P_2)$  — наклон прямой к оси  $\varphi$ .

Слагаемое  $\frac{K_1 - K_2}{K_1 + K_2} \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2}$  характеризует аддитивную составляющую погрешности преобразования угла скручивания в электрический сигнал в данном устройстве, а множитель  $(K_1 + K_2)(P_1 + P_2)$  — мультипликативную составляющую этой погрешности.

Аналогичная выражению (3) зависимость для [1] имеет вид

$$z = \left( \varphi + \frac{K_1 - K_2}{K_1 + K_2} \right) (K_1 + K_2) P_1. \quad (4)$$

Точный расчет суммарной погрешности  $\sigma_z$  преобразования угла скручивания  $\varphi$  в выходной сигнал устройства  $z$  весьма громоздок, поэтому

целесообразно, используя некоторые допущения, провести более быстрый и достаточно точный упрощенный анализ выражения (3).

Допустим, что предварительной настройкой мы добились равенства коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$ , а также мощностей  $P_1$  и  $P_2$ :

$$K_1 = K_2 = K, P_1 = P_2 = P.$$

Тогда выражение (3) примет вид  $z_1 = \varphi 4KP$ .

Абсолютная величина множителя  $4KP$  должна быть равна 1, при этом выходной сигнал преобразователя будет численно равен углу скручивания.

Предположим, что через некоторое время коэффициент  $K_1$  и мощность первого источника  $P_1$  испытают относительное изменение, равное  $10^{-3}$ , что типично для современного состояния технологии производства фото- и светодиодов [3] при перепаде температур  $\pm 5$  К. При этом слагаемое  $\frac{K_1 - K_2}{K_1 + K_2} \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2}$  изменится от нуля до величины  $10^{-6}/4,004$ , а сомножитель  $(K_1 + K_2)(P_1 + P_2)$  — от 4 до  $4,004KP$ . Тогда  $z_2 = 4,004KP\varphi + 10^{-6}KP$ .

Изменение показаний  $\Delta z = z_2 - z_1$  будет равно  $\Delta z = 0,004KP\varphi + 10^{-6}KP$ . Подставив сюда значение  $KP = 1/4$ ,

$$\Delta z = 0,001\varphi + 0,25 \cdot 10^{-6}.$$

Первое слагаемое в правой части характеризует мультипликативную составляющую изменения показаний ( $\Delta z$ ) устройства, а второе слагаемое — аддитивную составляющую, равную 0,05 угл. с. Мультипликативная составляющая максимальна на краю диапазона измерений. При  $\varphi_{\max} = 10^{-3}$  рад

$$\Delta z_{\max} = 10^{-6} + 0,25 \cdot 10^{-6} = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ рад} = 0,26 \text{ угл. с.} \quad (5)$$

Проведя для выражения (4) вышеуказанный анализ, получим

$$\Delta z = 1,0015\varphi + 0,5 \cdot 10^{-3};$$

$$\Delta z_{\max} = 10^{-3} + 0,5 \cdot 10^{-3} = 1,5 \cdot 10^{-3} = 309 \text{ угл. с.} \quad (6)$$

Из сравнения (5) и (6) получаем, что описываемый преобразователь имеет полную погрешность, обусловленную взаимной нестабильностью мощностей источников света и чувствительностей приемников света, меньше чем в устройстве [1], почти на 3 порядка в равных условиях.

Необходимо отметить, что описываемый преобразователь не содержит подвижных механических соединений, и это дает возможность использовать его при произвольной ориентации в пространстве.

Макет описываемого преобразователя имеет следующие параметры: мощность светодиодов АЛ119 40 мВт, в качестве фотоприемников используются фотодиоды ФД-11К, усиление сигналов с выхода фотоприемников производится с помощью операционного усилителя КР544УД1А.

Коллиматор устанавливается неподвижно, а блок фотоприемников — на экзаменаторе с ценой деления 1 угл. с (ГОСТ 13012—67). С помощью экзаменатора блоку фотоприемников задаются развороты относительно оптической оси коллиматора, расстояние между ними 2 м.

Разность усиленных сигналов с выходов фотоприемников формируется схемой вычитания на операционном усилителе КР544УД1А, к выходу которой подключен АЦП типа Ф4880. Управление работой устройства осуществляется с помощью микроЭВМ ДЗ-28.

Экспериментальное значение погрешности преобразования углов скручивания устройством в диапазоне  $\pm 3$  угл. мин не превышает 3 угл. с.

Автор благодарит д-ра физ.-мат. наук Н. А. Мещерякова за полезные замечания, высказанные им при обсуждении материалов этой статьи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коротяев В. В. и др. Дифференциальное поляризационное устройство для измерения углов скручивания // Изв. вузов. Приборостроение.— 1977.— XX, № 8.
2. А. с. 1259108 СССР. Устройство для измерения угла скручивания/Н. Л. Цескель.— Оpubл. 23.09.86. Бюл. № 35.
3. Ковыков В. В., Федосеева О. П., Чаннин В. А. Стабилизация излучения светодиодов // Измерит. техника.— 1983.— № 6.

Поступило в редакцию 28 марта 1988 г.

ЗДК 681.325 : 681.787

**В. А. АЛЕШИН**

(Фрязино Московской обл.)

#### АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС НА БАЗЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ЛАЗЕРНЫХ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ-ДЕФОРМОГРАФОВ И МИКРОЭВМ

**Введение.** В геофизических исследованиях, наряду с деформографами механического типа [1], в последние годы применяются лазерные интерферометры-деформографы [2], которые позволяют получать ценную информацию о внутреннем строении Земли, а также используются при проведении работ по поиску предвестников землетрясений. Использование лазерных интерферометров существенно, на 1–2 порядка, повышает чувствительность деформографических измерений и расширяет полосу частот регистрируемого сигнала [2, 3]. Одновременно с расширением динамического и частотного диапазонов возрастает и объем поступающей от интерферометра информации, для эффективной обработки которой требуется ЭВМ.

В [4] сообщается о разработке автоматизированного комплекса на базе лазерных интерферометров и микроЭВМ, предназначенного для геофизических и сейсмических измерений. Там же описаны структурная схема комплекса, основные технические характеристики лазерных деформографов и некоторые предварительные результаты проведенных исследований.

В данной работе структурная схема приводится с теми изменениями, которые были внесены в процессе модернизации комплекса [4] с целью расширения его функциональных возможностей; подробно описываются алгоритмы его работы в режимах сбора и обработки данных; демонстрируются результаты применения комплекса для изучения спектрально-временных характеристик сигналов лазерных деформографов.

**Структура и технические характеристики комплекса.** В состав автоматизированного комплекса входят два лазерных деформографа с базами 500 и 10 м и лабораторный вычислительный комплекс МERA 60 на основе микроЭВМ «Электроника 60», оснащенный стандартными внешними устройствами ввода-вывода (накопитель на гибких магнитных дисках НГМД, алфавитно-цифровое печатающее устройство — АЦПУ) и аппаратурой КАМАК (рис. 1). Связь интерферометров с ЭВМ осуществляется по кабельной линии через КАМАК.

Интерферометр с базой 500 м снабжен системой регистрации гетеродинного типа [5], в которой используется модуляция интерференционной картины по пилообразному закону. Вариации длины плеча интерферометра регистрируются путем измерения разности фаз опорного и информационного сигналов, а в качестве фазометра используется ревер-