

Цифровой фотоэлектрический длинномер

В. Н. ЯНУШКИН, Ю. Б. КОЛЯДА, Н. Т. КРУШНЯК

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия,
e-mail: yura_kolyada@mail.ru

Показана возможность построения приборов с большим диапазоном линейных и угловых измерений с дискретностью отсчета 0,1—0,01 мкм на базе преобразователя перемещений с высоким индексом интерполяции.

Ключевые слова: линейные измерения, индекс интерполяции, диапазон измерения, растровые преобразователи перемещений, компенсационное преобразование.

The possibility to design the instruments with large measurement range for linear and angular measurements with reading discretization 0,1—0,01 mkm based on displacements transducer with high interpolation index is shown.

Key words: linear measurements, interpolation index, measurement range, raster displacement transducers, compensating transformation.

Для измерений линейных размеров в настоящее время в эксплуатации находятся универсальные приборы нескольких модификаций под общим названием оптические длинномеры, к которым относятся вертикальные окулярные ИЗВ-1, ИЗВ-2, ИЗВ-21, экранный ИЗВ-3, автоматизированный с цифровым отсчетом показаний ИЗВ-5, горизонтальный экранный ИКУ-2 и горизонтальный автоматизированный с цифровым отсчетом показаний ИЗГ-5 [1, 2].

В основу работы окулярных длинномеров положены интерполяционные устройства следующих типов: спирального окулярного микроскопа (ОМС), оптического микрометра с плоскопараллельной пластиной, а также оптического микрометра с клиновым компенсатором для отсчета долей периода штриховой меры. Использование таких интерполяторов совместно с экранными отсчетными устройствами позволяет уменьшить утомляемость оператора и повысить точность измерения. Однако присутствие в них мощных осветителей с малым сроком службы нивелировали эти достоинства и экранные длинномеры не нашли широкого применения. Кроме того, во всех перечисленных длинномерах применяется многоступенчатая система отсчета численного значения измеряемой величины. Сначала считываются периоды многозначной рабочей меры, затем десятые, сотые и тысячные доли периода и, наконец, «на глаз» десятитысячные доли миллиметра. Опытный наблюдатель при благоприятных условиях может достаточно уверенно отсчитывать до двадцатой доли интервала шкалы самого точного разряда. Оценка десятых долей интервала «на глаз» достигается достаточно легко [2].

Измерительные системы новейших автоматизированных длинномеров с цифровым отсчетом строятся на использовании мер в виде периодических структур: дифракционных решеток, растровых шкал или интерференционных полей, световой поток от которых воспринимается фотоприемниками и затем анализируется с помощью электронных систем. Интерполяторами в них служат амплитудные, фазовые или экстремальные преобразователи для отсчета доли периода меры. Уменьшение дискретности отсчета достигается уменьшением периода исходной меры или увеличением индекса интерполяции.

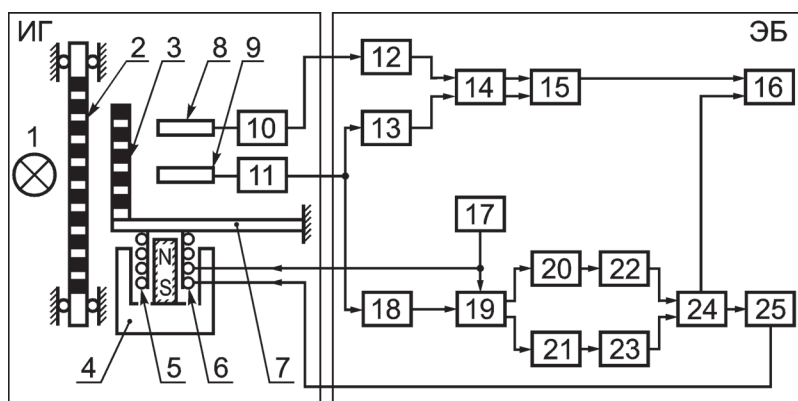
Дифракционные решетки в настоящее время изготавливают с минимальным периодом 1 мкм. Амплитудные ин-

терполяторы не находят широкого применения из-за малого индекса интерполяции. Фазовые интерполяторы считаются достаточно перспективными, но конструктивно сложны, что также не позволяет получить индексы интерполяции более 200. Кроме того, такие интерполяторы требуют высококвалифицированного обслуживания. Применение дифракционных решеток ограничено их достаточно высокой себестоимостью, малым диапазоном измерения до 300 мм, сложностью настройки и обслуживания первичного преобразователя, низкой надежностью и ремонтпригодностью. Поэтому их выпускали небольшими партиями, в основном для метрологических институтов и лабораторий [3].

Более перспективными представляются растровые экстремальные интерполяторы. В МГТУ им. Н. Э. Баумана разработана экстремальная счетно-интерполяционная измерительная система, с использованием которой было построено и исследовано несколько моделей цифровых фотоэлектрических длинномеров, измерительных головок с разным диапазоном измерения от 1 до 200 мм, дискретностью отсчета 0,01 — 0,1 мкм и измерительной силой 0,01—1 Н [4].

Принципиальное отличие этой измерительной системы заключается в соединении накопительной грубой ступени с позиционным интерполятором, все звенья которого охвачены обратной связью, причем один из фотоприемников является общим для точной и грубой ступеней, что снимает проблему согласования отсчетов. Использование компенсационного преобразования существенно уменьшает аддитивную составляющую погрешности интерполятора, включающую дрейф параметров источника и приемника излучения, формирователя муаровых полос и элементов прямой ветви измерительного тракта. В программном пространстве электронного блока измерительной системы можно обеспечить коррекцию систематической погрешности шкалы, контроль работы интерполятора и его калибровку в автоматическом режиме, предустановку на нуль и любое другое значение [5].

Функциональная схема цифрового растрового фотоэлектрического длинномера с экстремальной счетно-интерполяционной системой измерения перемещений представлена на рисунке. Она состоит из блока формирования измерительного сигнала — измерительной головки ИГ — и блока обработки измерительного сигнала — электронного блока ЭБ.



Функциональная схема цифрового растрового фотоэлектрического длинномера:

1 — осветитель; 2, 3 — измерительный и индикаторный растры; 4 — магнитная система; 5, 6 — катушки; 7 — ярлык; 8, 9 — фотоприемники; 10, 11 — предусилители; 12, 13, 18 — усилители; 14 — формирователь импульсов; 15, 24 — реверсивные счетчики; 16 — цифровой индикатор; 17 — генератор переменного напряжения; 19 — демодулятор; 20, 21 — нуль-органы; 22, 23 — генераторы счетных импульсов; 25 — цифроаналоговый преобразователь

Измерительная головка содержит осветитель 1, формирователь муаровых полос, состоящий из измерительного 2 и индикаторного 3 растров, обратный преобразователь, включающий магнитную систему 4, в кольцевой зазор которой помещены катушки 5, 6, ярлык 7, фотоприемники 8, 9, предусилители 10, 11. На ярлыке 7 закреплены каркас катушек 5, 6 и индикаторный растр 3. Обратный преобразователь совмещает функции модулятора, компенсатора и интерполятора и представляет собой магнитоэлектрический преобразователь ток — перемещение. Катушка 5, сообщающая ярлыку колебательное движение, соединена с генератором синусоидального напряжения 17, а катушка 6, смещающая центр колебания ярлыка, связана с выходом цифроаналогового преобразователя (ЦАП) 25. Электронный блок включает в себя канал счета целого числа полос, содержащий усилители переменного тока 12, 13, формирователь счетных импульсов 14, реверсивный счетчик 15 и канал определения дробной доли полосы, состоящий из усилителя переменного тока 18, демодулятора 19, нуль-органов 20, 21, генераторов счетных импульсов 22, 23, реверсивного счетчика 24 и ЦАП 25. В электронном блоке также размещены цифровой индикатор 16 и генератор синусоидального напряжения 17.

Канал счета целого числа полос работает следующим образом. При перемещении измерительного растра 2 относительно индикаторного растра 3 на выходе фотоприемников 8, 9 формируются периодические сигналы, сдвинутые по фазе на 90° относительно друг друга. Эти сигналы промодулированы с частотой напряжения, подводимого к катушке 5 обратного преобразователя от генератора 17. Модуляция обеспечивается колебательным движением индикаторного растра 3, жестко связанного с ярлыком 7 обратного преобразователя. Фотоприемники 8, 9 через предусилители 10, 11, усилители переменного тока 12, 13 связаны с блоком формирования счетных импульсов 14 и реверсивным счетчиком 15, с которого выходной код, соответствующий целому числу пройденных периодов, поступает на цифровой индикатор 16.

Канал определения дробной доли периода функционирует следующим образом. Вследствие колебания индикаторного растра 3 на выходе усилителя переменного тока 18 появляется сигнал, который содержит в общем случае гармонические составляющие, кратные частоте сканирования. Первая гармоническая составляющая отсутствует в сигнале при совпадении центра колебаний прозрачных участков индикаторного растра с центром прозрачных участков измерительного растра. Сигнал, однозначно связанный с амплитудой и фазой первой гармоники, вырабатывается демодулятором 19, на один вход которого поступает сигнал с усилителя 18, а на другой — опорное напряжение от генератора 17. При совпадении центра колебания прозрачных участков индикаторного растра 3 с центром прозрачных участков измерительного растра 2 напряжение на выходе демодулятора 19 близко к нулю. При взаимном смещении растров 2, 3 в том или ином направлении на выходе демодулятора 19 появляется напряжение соответствующего знака, что фиксируется нуль-органами 20, 21. Напряжение на выходе соответствующего нуль-органа 20 или 21 возбуждает один из генераторов 22 или 23, импульсы с выхода которых поступают на вход суммирования или вычитания реверсивного счетчика 24. Изменение состояния счетчика 24 приводит к изменению напряжения на выходе ЦАП 25, которое подается в катушку 6 обратного преобразователя. В результате этого индикаторный растр 3 перемещается в положение, соответствующее совпадению центра колебания прозрачных участков индикаторного 3 и измерительного 2 растров. Разрядность реверсивного счетчика 24 определяется требуемой дискретностью отсчета. Коэффициент преобразования ЦАП 25 устанавливается таким, чтобы максимальное смещение индикаторного растра 3 с погрешностью, не превышающей дискретности, было равно шагу измерительного растра 2. При этом код в счетчике 24, однозначно соответствующий дробной доле периода, подается на цифровой индикатор 16.

Исследования таких систем показали, что их дискретность может составлять 0,0001 периода меры, чему соответствует индекс интерполяции 10 000.

Литература

1. Марков Н. Н., Ганевский Г. М. Конструкция, расчет и эксплуатация контрольно-измерительных инструментов и приборов. М.: Машиностроение, 1993.
2. Крупн Н. Я. Оптико-механические измерительные приборы. М.: Машгиз, 1962.
3. Преснухин Л. Н., Шаньгин В. Ф., Шаталов Ю. А. Фотоэлектрические преобразователи информации. М.: Машиностроение, 1974.
4. Янушкин В. Н. Разработка и исследование сканирующих компенсационных интерполяторов для точного измерения перемещений: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. М., 1975.
5. А. с. 142 2002 СССР. Устройство для измерения перемещений / А. В. Мироненко и др. // Изобретения. 1988. № 33.
6. Коляда Ю. Б., Янушкин В. Н. Исследование и разработка способов коррекции погрешностей преобразователей с совмещенными функциями // Измерительная техника. 2001. № 3. С. 29—31; Kolyada Yu. B., Yanushkin V. N. Investigation and Development of Methods of Correcting the Errors of Converters with Joint Functions // Measurement Techniques. 2001. V. 44. N 3. P. 265—269.

Дата принятия 25.06.2013 г.