

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

М. И. ЭТИНГОФ

НИИИзмерения, Москва, Россия, e-mail: etingof@glasnet.ru

Дан обзор различных оптоэлектронных приборов для линейных измерений. Рассмотрены их конструкция и метрологические характеристики.

Ключевые слова: *шкала, растр, фотодиод, цифровой отсчет.*

A review of various optoelectronic gages for linear measurements is given. Their design and metrological characteristics are discussed.

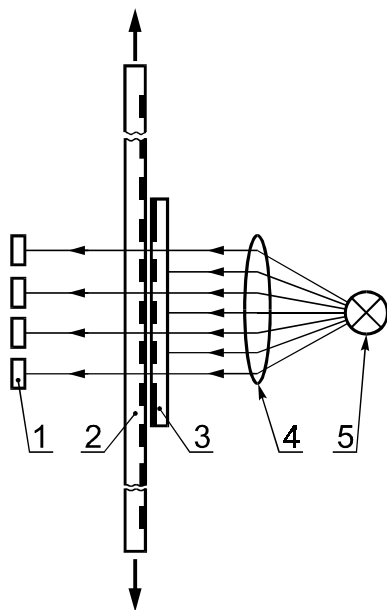
Key words: *scale, raster, photodiode, digital readout.*

Оптико-механические средства измерений всегда привлекали внимание конструкторов приборов для линейных измерений. Были разработаны и выпускались несколько вполне удачных типов таких приборов с хорошими метрологическими характеристиками: оптиметр, контактный интерферометр Уверского, оптикатор, которые широко использовали в цехах и лабораториях машиностроительных заводов. Недостатком этих приборов был небольшой диапазон измерений и очень неудобный и трудоемкий процесс измерений, требующий высокой квалификации оператора. Для отсчета показаний оптиметра и интерферометра требовалось смотреть в окуляр, отсчитывать доли деления шкалы или интерференционной полосы и т. п. Все указанные приборы применялись только для относительных измерений, потому что имели небольшой диапазон измерений. В настоящее время их не выпускают. Одновременно с этими приборами в течение многих лет создавали и применяли фотоэлектрические растровые преобразователи. Однако вследствие несовершенства технологии данные преобразователи были сложны в изготовлении и имели дополнительные погрешности измерений.

Прогресс в области электроники привел к появлению опто-электронных приборов (ОП) с инкрементными (дискретными, суммирующими) фотоэлектрическими преобразователями. Эти приборы имеют очень высокие метрологические характеристики, большие диапазоны измерений и цифровой отсчет. Внедрение ОП – самое серьезное достижение современной техники линейных измерений. По метрологическим характеристикам они сравнимы с бесконтактным лазерным интерферометром и удовлетворяют потребностям современного машиностроения [1].

В состав ОП входят измерительная головка с инкрементным растровым фотоэлектрическим преобразователем и микропроцессорный блок с цифровым отсчетом (устройством цифровой индикации). Иногда в комплект прибора включают стойку с массивным, как правило, камен-

ным основанием, на которой располагается измерительная головка, и получают небольшой высотомер с коротким и жестким измерительным контуром. Основа ОП – измерительная головка с инкрементным фотоэлектрическим преобразователем, которая имеет очень простую и эффективную конструкцию (рисунок). В жестком корпусе на направляющей из насыпных шаров установлен длинный стержень (шток), на котором закреплена шкала 2, перемещающаяся вместе со стержнем. В корпусе неподвижно зафиксировано считывающее устройство, относительно которого перемещается шкала, содержащее индикаторную пластину 3, конденсор 4, осветитель 5 и четыре фотодиода 1.



Конструкция измерительной головки ОП с инкрементным фотоэлектрическим преобразователем:

- 1 – фотодиоды; 2 – шкала;
3 – индикаторная пластина;
4 – конденсор; 5 – осветитель

Принцип действия инкрементных растровых фотоэлектрических преобразователей широко известен [2]. У преобразователей, работающих на просвет, на стеклянной шкале и индикаторной пластине нанесены

растровые решетки. Они представляют совокупность штрихов и просветов между ними в виде периодической структуры, образующей единое целое для падающего на них потока излучения от осветителя. Штрихи и просветы имеют строго одинаковые размеры. При перемещении шкалы относительно индикаторной пластины, на которые падает поток света, штрихи последовательно совпадают или перекрывают просветы. Таким образом на фотодиодах образуется синусоидальный токовый сигнал. Причем фотодиоды смещены на $\frac{1}{4}$ шага шкалы, и на выходе преобразователя образуются два сдвинутых ортогонально инкрементных синусоидальных сигнала с малым шагом (до 2 мкм) – токовые, напряжения или прямоугольные импульсные. Эти сигналы поступают в микропроцессорный блок, где интерполируются для получения заданной дискретности отсчета, выполняется счет шагов раstra и их долей, соответствующий перемещению стержня головки со шкалой, и полученный результат выводится на цифровой дисплей.

В последних моделях преобразователей шкалы изготавливают из оптического стекла или прозрачной стеклокерамики, на которые специально разработанным методом фотолитографии наносят высококачественные тонкие и твердые штрихи (например, из хрома) в форме прямоугольных выступов с резко очерченными краями. Современная технология позволяет соблюдать строго одинаковую ширину штрихов и просветов на всей длине шкалы и индикаторной пластины. Это обеспечивает получение высококачественного выходного сигнала и невысокую погрешность в пределах одного шага (не более 1 % длины шага в любой точке шкалы). С учетом того, что шаг составляет единицы микрометров, погрешность в пределах одного шага – доли единицы микрометров. Разработаны и другие методы нанесения штрихов, позволяющие получить очень точные шкалы. В зависимости от требуемой точности прибора используют шкалы с шагом штрихов 20, 10 или 4 мкм.

В считывающей головке современных преобразователей вместо четырех фотодиодов (см. рисунок) применяют фотодатчик с матрицей из множества фотодиодов. Такая конструкция считывающей головки увеличивает качество выходного сигнала даже при загрязнениях шкалы. Микропроцессорный блок прибора снабжен программой линеаризации, позволяющей при необходимости уменьшить систематические погрешности ОП в диапазоне измерений.

Головки с инкрементным преобразователем обладают тремя метрологическими достоинствами:

соблюдение принципа Аббе – измерительный стержень и инкрементная шкала находятся на линии измерения, что исключает дополнительные погрешности и повышает точность измерения;

инкрементный преобразователь имеет материальный носитель размера – физическую меру длины в виде стеклянной штриховой шкалы с малым шагом штрихов 4 – 20 мкм. Такие шкалы устойчивы к изменению внешних условий, а ОП не требуют частой калибровки, так как шаг штрихов не меняется со временем;

приборы с инкрементным преобразователем позволяют проводить прямые абсолютные и относительные измерения в диапазоне до 100 мм, что повышает точность измерений, уменьшает количество настроечных мер или позволяет обходиться вообще без этих мер, и, таким образом, существенно упрощает процесс измерения.

Фирмы-производители – Heidenhain (Германия), СКБ ИС (Россия) и другие, выпускают несколько моделей ОП, отличающихся диапазоном измерения, разрешающей способностью, точностью, выходными сигналами и другими характеристиками.

В настоящее время производят ОП с диапазонами измерений от 0 до 12; 25; 30; 60; 100 мм с дискретностью цифрового отсчета 1,0; 0,1; 0,05; 0,01 мкм. Эти приборы имеют чрезвычайно высокую точность, сравнимую только с точностью бесконтактного лазерного интерферометра. В диапазонах до 12 и 30 мм предельно допустимая погрешность измерения составляет $\pm 0,1$ мкм на всем диапазоне без компенсации линейности. С компенсацией линейности инкрементного преобразователя предельно допустимая погрешность измерения составляет $\pm (0,03...0,05)$ мкм на всем диапазоне, это обеспечивается при температуре 19 – 21 °С. При этом интерферометр – дорогой и сложный прибор, которым может пользоваться только опытный и хорошо подготовленный оператор, в отличие от ОП.

Достоинством ОП является возможность сложения выходных сигналов инкрементных преобразователей, что делает его универсальным прибором и позволяет использовать для дифференциальных измерений, измерений сложных деталей, в автоматическом производстве и т. п. Они практически незаменимы и очень удобны при калибровке различных шкальных приборов – индикаторов часового типа, индуктивных приборов, приборов активного контроля и др.

Таким образом, в настоящее время ОП – наиболее точные и удобные средства линейных измерений из всех универсальных (штангенциркулей, микрометров, механических и электронных индикаторов, индуктивных приборов) и специальных приборов, в диапазоне измерений до 100 мм.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Этингوف М. И.** Технические измерения, взаимозаменяемость и нанометрология // Измерительная техника. 2011. № 6. С. 19–21; **Etingof M. I.** Technical measurements, interchangeability and nanometrology// Measurement Techniques. 2011. V.54. N 6. P. 633–635.
2. **Соболев М. П., Этингوف М. И.** Автоматический размерный контроль на металлорежущих станках. Смоленск: Изд-во Ойкумена, 2005.

Дата принятия 25.03.2013 г.

